



TESIS - SF 142502

FABRIKASI PANDU GELOMBANG X CROSS DENGAN FILM SnO₂ NANO SEBAGAI PEMBAGI DAYA

LUCKY PUTRI RAHAYU
1114201020

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN FISIKA OPTOELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF 142502

**FABRICATION X CROSS WAVEGUIDE WITH FILM
NANO SnO₂ FOR POWER DEVIDER**

LUCKY PUTRI RAHAYU
1114201020

Supervisor
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

MAGISTER PROGRAMME
STUDY ON OPTOELECTRONICA
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Lucky Putri Rahayu

NRP. 1114201020

Tanggal Ujian : 27 Juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :

1. **Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.**

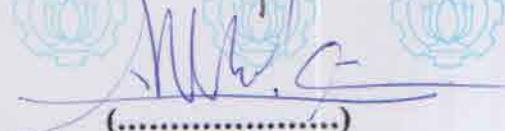
NIP: 196909904 199203 1 003

(Pembimbing) (.....)



2. **Prof. Mahmud Zaki, M.Sc.**

(Penguji) (.....)



3. **Dr.rer.nat Eko Minarto.**

NIP: 19750205 199903 1 004

(Penguji) (.....)



Direktur Program Pascasarjana



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D.

NIP. 19601202 198701 1 001



FABRIKASI PANDU GELOMBANG X CROSS DENGAN FILM SnO₂ NANO SEBAGAI PEMBAGI DAYA

Nama mahasiswa : Lucky Putri Rahayu
NRP : 1114201020
Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

ABSTRAK

Salah satu aplikasi pandu gelombang slab yaitu sebagai pembagi daya. Struktur pandu gelombang *X cross* memiliki empat port dimana satu port sebagai *input* dan tiga port lainnya sebagai *output*. Fabrikasi pandu gelombang *Straight* dan *X Cross* yang telah dilakukan pada penelitian ini terdiri dari substrat akrilik, *film* SnO₂ dan *cover* MMA. Pola *Straight* dan *X Cross* dibuat menggunakan software *Corel draw X6* dan kemudian di grafir diatas substrat akrilik dengan variasi panjang 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm pada *Straight* dan sudut percabangan pada *X Cross* yaitu 15°, 30°, 45° dan 60°. Setelah itu dilakukan variasi tegangan pada pandu gelombang *X Cross* yaitu 5,4 volt, 6,4 volt dan 7,4 volt. Analisa distribusi intensitas diperoleh dari gambar *cross section* yang kemudian diolah menggunakan software *ImageJ*. Dari hasil didapatkan nilai *propagation loss* pada pandu gelombang *Straight* dengan panjang 1 cm yaitu 2,784 %, 1,5 cm yaitu 7,927 % dan 2 cm yaitu 18,352 %. Pada Pandu gelombang *X Cross* sudut 15° didapatkan *output* tertinggi terletak pada port yang segaris sehingga jumlah daya yang terpandu menjadi lebih besar. Pada Pandu gelombang *X Cross* sudut 30°, 45° dan 60° terjadi pembelokan cahaya, hal tersebut dapat diindikasikan karena sifat kenon-linieritas dari bahan SnO₂. Dari hasil karakterisasi pandu gelombang *X Cross* dengan variasi tegangan tiap sudut didapatkan perubahan prosentase terhadap *input* untuk tiap-tiap port, hal tersebut juga dapat dikarenakan sifat non linieritas dari bahan SnO₂

Kata Kunci: Pandu Gelombang, *X Cross*, *Straight*, Pembagi Daya, SnO₂ Nano

FABRICATION X CROSS WAVEGUIDE WITH FILM NANO SnO₂ FOR POWER DIVIDER

Name : Lucky Putri Rahayu
Student Identity Number : 1114201020
Supervisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

Abstract

One application of slab waveguide is power divider. X cross waveguide structure there are four ports where one input port and three possible outputs. Straight and X Cross waveguide fabrication that has been done in this study consisted of acrylic substrates, SnO₂ as film and cover MMA. Straight and X Cross pattern created using Corel Draw X6 software and then engraved on the substrate of acrylic with a variation length of 1 cm, 1.5 cm and 2 cm on the Straight and angle branching on the X Cross are 15 °, 30 °, 45 ° and 60 °. Once it is done on X Cross waveguide voltage variation are 5.4 volts, 6.4 volts and 7.4 volts. Analysis distribution of intensity obtained from cross-section images and then process used *ImageJ* software. From the results obtained value loss on Straight waveguide length 1 cm is 2.784 %, 1.5 cm is 7.927 % and 2 cm is 18.352 %. In X Cross waveguides of angle 15° obtained the highest output is located on the port of slightly so that the amount of power is guided to be larger. In X Cross waveguides of angle 30°, 45° and 60° is occurred deflection of lights and it is indicated of characteristic non linearity materials SnO₂. From the results of the characterization of waveguides X Cross with voltage variation change of the input obtained for each port, it can also indicated of characteristic non linearity materials SnO₂.

Keywords: Waveguide, X Cross, Straight, Power Divider, Nano SnO₂

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Moda Terpandu pada Gelombang Slab	5
2.2 Persamaan Helmholtz untuk Pandu Gelombang Slab Step Index Modus TE	9
2.3 Relasi Dispersi Pandu Gelombang Slab untuk Modus TE	11
2.4 Struktur Pandu Gelombang X <i>Cross</i>	14
2.5 <i>Tin Dioxide</i> (SnO ₂)	15
2.6 <i>Polymethyl Methacrylate</i> (PMMA)	16
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Peralatan dan Bahan	19
3.2 Diagram Alir penelitian	19
3.3 Prosedur Kerja	21
3.3.1 Preparasi Substrat Akrilik.....	21
3.3.2 Pembuatan Larutan SnO ₂	22
3.3.3 Fabrikasi Pandu Gelombang <i>Straight</i> dan X <i>Cross</i> dengan <i>Film</i> SnO ₂ dan <i>Cover</i> MMA	23

3.3.3.1 Fabrikasi Pandu Gelombang <i>Straight</i>	23
3.3.3.2 Fabrikasi Pandu Gelombang <i>X Cross</i>	24
3.3.4 Pengujian Transmittansi SnO ₂	25
3.3.5 Pengukuran <i>Output</i> pada Masing-masing <i>Port</i> dari Pandu Gelombang <i>Straight</i> dan <i>X Cross</i>	25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Fabrikasi Pandu Gelombang <i>Straight</i> dan <i>X Cross</i>	27
4.2 Transmittansi SnO ₂	30
4.3 Karakterisasi Pandu Gelombang <i>Straight</i> dan <i>X Cross</i>	32
4.3.1 Karakterisasi Pandu Gelombang <i>Straight</i>	33
4.3.2 Karakterisasi Pandu Gelombang <i>X Cross</i>	37
4.3.3 Karakterisasi Pandu Gelombang <i>X Cross</i> dengan Variasi Tegangan.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN 1	49
LAMPIRAN 2	53
LAMPIRAN 3	61
LAMPIRAN 4	77
BIODATA PENULIS	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik SnO ₂	16
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan <i>Propagation Loss</i> Pola <i>Straight</i>	35
Tabel 4.2	Prosentase terhadap Input pada Pandu Gelombang <i>X Cross</i>	39
Tabel 4.3	Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang <i>X Cross</i> dengan Sudut 15°	40
Tabel 4.4	Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang <i>X Cross</i> dengan Sudut 30°	40
Tabel 4.5	Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang <i>X Cross</i> dengan Sudut 45°	41
Tabel 4.6	Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang <i>X Cross</i> dengan Sudut 60°	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Pandu Gelombang Slab	5
Gambar 2.2	Profil indeks bias step indeks	9
Gambar 2.3	Diagram blok pandu gelombang <i>crossing</i>	14
Gambar 2.4	Nilai <i>loss</i> untuk rentang sudut <i>crossing</i> θ	15
Gambar 2.5	(a) Serbuk SnO ₂ (b). Stuktur kristal SnO ₂	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2	Desain pola (a) <i>Straight</i> (b) <i>X cross</i>	21
Gambar 3.3	Preparasi substrat akrilik	22
Gambar 3.4	Proses pemanasan pandu gelombang <i>Straight</i>	23
Gambar 3.5	Proses pemanasan pandu gelombang <i>X cross</i>	24
Gambar 3.6	<i>Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis</i>	25
Gambar 3.7	Set up pengukuran <i>output</i> pada masing-masing <i>port</i> dari pandu gelombang <i>Straight</i>	26
Gambar 3.8	Set up pengukuran <i>output</i> pada pandu gelombang <i>X cross</i>	26
Gambar 4.1	Struktur pandu gelombang	27
Gambar 4.2	Hasil fabrikasi pandu gelombang dengan pola (a) <i>Straight</i> (b) <i>X cross</i>	30
Gambar 4.3	Hasil Uji Transmittansi SnO ₂	32
Gambar 4.4	Propagasi laser HeNe Hasil fabrikasi pandu gelombang <i>Straight</i> pada <i>Cross section</i>	33
Gambar 4.5	Pola <i>Straight</i> dengan panjang 2 cm (a) <i>Input</i> (b) <i>Output</i> (c) Plot RGB <i>input</i> (d) Plot RGB <i>output</i>	34
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara nilai <i>propagation loss</i> dengan variasi panjang pandu gelombang <i>Straight</i>	36
Gambar 4.7	Pandu gelombang <i>X cross</i>	36
Gambar 4.8	Pola <i>X cross</i> dengan sudut percabangan 30° dengan port A1 sebagai <i>Input</i> (a) port A2 dan B2 (b) Plot RGB port A2 dan B2 (c) Port B1 (d) Plot RGB port B1	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pandu Gelombang <i>Straight</i> Sumber Laser He-Ne.....	49
Lampiran 2	Pandu Gelombang X <i>Cross</i> Sumber Laser He-Ne	53
Lampiran 3	Pandu Gelombang X <i>Cross</i> Variasi Tegangan dengan Sumber Laser Dioda	61
Lampiran 4	Data Ketebalan PMMA	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pandu Gelombang Slab merupakan tinjauan sederhana untuk memahami dasar pemanduan gelombang (Pigeon, 2001). Salah satu aplikasi pandu gelombang slab yaitu sebagai pembagi daya (*power divider*). Pembagi daya merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pemrosesan sinyal optik dan sistem komunikasi serat optik. Pada pemrosesan sinyal optik seperti dalam interferometer *Mach-Zehnder* dibutuhkan pembagi daya optik yang memiliki faktor keseimbangan daya yang baik (Noguchi, 1998).

Terdapat beberapa jenis pembagi daya antara lain *Y-branch*, *Directional coupler*, *X cross* maupun *multimode interference* (MMI). Struktur pandu gelombang *X cross* memiliki empat port dimana satu port sebagai *input* dan tiga port lainnya sebagai *output* (Xie dkk., 2011).

Bahan-bahan berbasis oksida logam merupakan kelompok bahan yang sangat banyak diteliti dan diaplikasikan pada berbagai bidang. Bahan-bahan oksida logam ini memiliki sifat-sifat fisis dan kimia yang khas sehingga memiliki potensi aplikasi yang sangat luas. Diantara bahan oksida logam yang sangat banyak diteliti adalah TiO_2 , ZnO , SnO_2 dan sebagainya. SnO_2 merupakan bahan yang berstruktur tetragonal (Rahal dkk., 2015). Selain itu SnO_2 merupakan bahan yang berpotensi dalam mikrofabrikasi pandu gelombang karena memiliki indeks bias yang cukup tinggi dan transparansi yang baik dari daerah panjang gelombang *infrared* hingga daerah panjang gelombang cahaya tampak (Marikkannan dkk., 2015).

Pandu Gelombang Slab dapat difabrikasi dengan menggunakan beberapa metode yaitu sol gel (Marikkannan dkk., 2015), *Chemical Spray Pyrolysis* (Yadav dkk., 2015); (Gordillo dkk., 1994), *Chemical Bath Deposition* (CBD) (Khallaf dkk., 2012), *Chemical Vapor Deposition* (CVD) (Nagano, 1984), *Spin coating* (Uysal dan Arter, 2015); (Daniyati, 2015) (Sahodo,2013); (Rofianingrum, 2013); (Hidayati, 2013); (Rinawati, 2009). Fabrikasi dengan menggunakan metode *Spin*

Coating dapat menghasilkan ketebalan lapisan minimal $0,5 \mu\text{m}$ (Harris, 1995). Metode *Spin coating* ini digunakan karena sifatnya yang relatif mudah namun pada umumnya telah mampu menghasilkan pandu gelombang. Berikut ini beberapa hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan metode spin coating.

Pada penelitian (Rinawati, 2009) fabrikasi yang telah dilakukan menggunakan variasi bahan pelapis yaitu Polystyrene (PS) dan PMMA. Pada *Polystyrene* digunakan pelarut *toluene* dengan substrat yang digunakan akrilik serta pada PMMA digunakan pelarut kloroform dengan menggunakan substrat kaca. Hasil penelitian didapatkan bahwa ketebalan terkecil untuk PS adalah $7,40 \mu\text{m}$ dihasilkan pada kecepatan putar 1500 rpm dengan waktu putar 90s, sedangkan untuk PMMA $4,84 \mu\text{m}$ dihasilkan pada kecepatan 2500 rpm selama 90s.

Pada penelitian (Sahodo, 2009) fabrikasi dilakukan menggunakan bahan pelapis PMMA dan substrat akrilik. Pada proses *Spin coating* menggunakan kecepatan putaran 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm dengan waktu putaran 60 detik dan menghasilkan ketebalan rata-rata $50 \mu\text{m}$.

Pada penelitian (Hidayati, 2009) dan (Rofianingrum, 2013) fabrikasi dilakukan menggunakan bahan pelapis PMMA dan substrat akrilik. Pada proses *Spin coating* menggunakan kecepatan putaran 1000 rpm dan 2000 rpm dengan waktu putaran 60 detik. Hasil penelitian (Hidayati, 2009) didapatkan ketebalan $9 \mu\text{m}$ dan pandu gelombang hasil fabrikasi digunakan sebagai sensor temperatur. Serta pada penelitian (Rofianingrum, 2013) menghasilkan ketebalan $12,2 \mu\text{m}$ serta pandu gelombang hasil fabrikasi digunakan sebagai sensor alat ukur massa.

Pada penelitian (Daniyati, 2015) fabrikasi yang dilakukan dengan pembuatan *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* dengan core TiO_2 , *cladding* MMA, dan substrat kaca. Desain dan fabrikasi *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* menggunakan metode *spin-coating* dan lithography. Didapatkan nilai loss penjarangan pada *channel Y-branch* yaitu 43,46 % dan pada *ridge* yaitu 55,36 %.

Pada penelitian ini penumbuhan film tipis SnO_2 sebagai *film* dilakukan dengan memasukkan larutan SnO_2 ke dalam akrilik yang sudah dibuat pola berupa *Straight* dan *X Cross* dengan berbagai variasi. Larutan SnO_2 dibuat menggunakan pelarut isopropanol. Larutan isopropanol digunakan karena memiliki titik leleh

yang rendah yaitu $82,2^{\circ}\text{C}$ dibawah titik leleh dari akrilik serta dari penelitian sebelumnya (Marikanna dkk, 2015) diketahui bahwa pada hasil XRD puncak difraksi yang sesuai pada bahan SnO_2 yaitu menggunakan pelarut isopropanol dan *Grain size* pada bahan SnO_2 menggunakan pelarut isopropanol adalah 62 nm hasil ini lebih rendah daripada menggunakan pelarut etanol (74 nm) dan metanol (94 nm). *Grain size* yang lebih rendah dapat menyebabkan *scattering* yang lebih sedikit sehingga diharapkan dapat meminimalkan *propagation loss*. Proses selanjutnya yaitu pelapisan PMMA sebagai *cover*. PMMA merupakan hasil polimerisasi larutan MMA. Pemilihan tersebut disebabkan material MMA merupakan material optik yang dapat menstrasmisikan dengan baik pada panjang gelombang *visible* dimana indeks bias MMA adalah 1,4914 pada suhu 70° ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memfabrikasi pandu gelombang *Straight* dan *X cross* dengan menggunakan SnO_2 sebagai *film*, MMA (*Methyl Methacrylat*) sebagai *cover* dan akrilik sebagai *substrat*,
2. Bagaimana perbandingan *output* pada masing-masing *port* dari pandu gelombang *X cross* dan *propagation loss* pada pandu gelombang *Straight*.
3. Bagaimana perbandingan *output* pada masing-masing *port* dari pandu gelombang *X cross* yang divariasi tegangan.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup penelitian ini, maka perlu diberikan batasan masalah agar tidak menyimpang dari tujuan dan perumusan masalahnya. Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Substrat yang digunakan berupa akrilik dengan indeks bias antara 1,490-1,492, *film* SnO_2 dengan indeks bias 1,993 dan 2,008, serta *cover* MAA berindeks bias 1,4908.

2. Sumber Input yang digunakan adalah Laser HeNe untuk pandu gelombang *Straight* dan *X Cross*, serta laser dioda untuk variasi tegangan pandu gelombang *X Cross*.
3. Besarnya daya input dan output di lakukan dengan mengamati pola distribusi intensitas dari sumber input yang dilewatkan pada pandu gelombang *Straight* dan *X cross* yang diolah menggunakan *software ImageJ*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah memfabrikasi pandu gelombang *Straight* dan *X cross* dengan menggunakan *substrat* akrilik, *film SnO₂* dan *MMA* sebagai *cover* dan mendapatkan nilai loss pada pandu gelombang *Stright* serta mendapatkan perbandingan *output* pada masing-masing *port* dari pandu gelombang *X cross*.

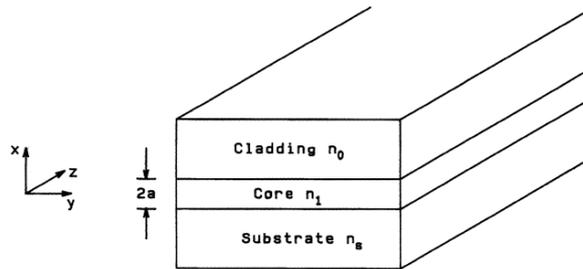
Hasil akhir penelitian ini berupa pandu gelombang *Straight* dan *X cross* dengan loss yang rendah dan memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem komunikasi optika terpadu.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Moda Terpandu pada Pandu Gelombang Slab

Pandu gelombang optik tersusun atas tiga lapisan yaitu *cladding*, *film* dan substrat yang diperlihatkan pada Gambar 2.1. Ketiga lapisan tersebut memiliki indeks bias, dimana indeks bias *cladding* adalah n_0 , indeks bias film adalah n_1 serta indeks bias substrat adalah n_s . Syarat gelombang elektromagnetik dapat terpandu yaitu terjadi pemantulan dalam total (*total internal reflection*) dimana $n_f > n_1 \geq n_0$ dan ukuran film lebih besar dari ukuran kritis. Gambar 2.1 menunjukkan adanya pandu gelombang planar tiga lapis dengan panjang pandu gelombang ke arah sumbu y lebih besar dibandingkan lebar media ke arah sumbu x dan sumbu z .



Gambar 2.1 Struktur pandu gelombang slab (Okamoto, 2006).

Dasar dari proses pemanduan gelombang pada *device optik* adalah menggunakan persamaan perambatan gelombang elektromagnetik yaitu persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell di dalam medium dielektrik homogen terdiri dari medan listrik \vec{E} dan medan magnet \vec{H} sebagai berikut:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.1a)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.1b)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.1c)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.1d)$$

Dengan ∇ adalah operator del, yang dalam koordinat kartesian di definisikan

$$\nabla = \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}.$$

Hubungan antara \vec{E} dengan \vec{D} dan \vec{H} dengan \vec{B} adalah

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.1e)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.1f)$$

Dengan:

ϵ = permittivitas bahan

μ = permeabilitas magnetik

ϵ_0 = permittivitas dalam vakum

μ_0 = permeabilitas magnetik dalam vakum

$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$ = besaran polarisasi, χ_e = susseptibilitas listrik

$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ = besaran magnetisasi, χ_m = susseptibilitas magnet

Persamaan (2.1e) dan (2.1f) dikenal sebagai persamaan bahan yang menggambarkan interaksi gelombang EM dengan medium yang dilaluinya. Persamaan Maxwell merupakan hasil penggabungan dari eksperimen sebelumnya, untuk persamaan (2.1c) berasal dari percobaan Coulomb. Pada persamaan (2.1a) walaupun secara terbatas dapat diturunkan dari hubungan sebelumnya tetapi pada dasarnya berasal dari percobaan Faraday.

Persamaan (2.3d) berasal dari hukum Bio Savart yang bermula dari percobaan Ampere dan Persamaan (2.3b) adalah perluasan dari hukum Faraday dengan menggunakan postulat Maxwell. Namun demikian, hasil percobaan Ampere itu sendiri dapat diturunkan dari hukum Coulomb dengan menggunakan teori relativitas. Persamaan maxwell merupakan persamaan pokok (fundamental) dan sangat penting dalam teori medan elektromagnetik, terutama pada penurunan persamaan gelombang elektromagnetik baik di dalam ruang hampa maupun di dalam bahan (Yariv, 1983).

Hubungan antara permittivitas (ϵ) dan permeabilitas medium (μ) dengan permittivitas (ϵ_0) dan permeabilitas (μ_0) pada ruang hampa adalah

$$\epsilon = \epsilon_0 n^2 \quad (2.2a)$$

$$\mu = \mu_0 \quad (2.2b)$$

dengan $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ dan n adalah indeks bias. Dari persamaan (2.2a) dan (2.2b) disubsitusikan ke persamaan (2.1a) dan (2.1b) menghasilkan

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.3a)$$

$$\nabla \times \vec{H} = -\epsilon_0 n^2 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.3b)$$

Jika propagasi gelombang didalam bidang dituliskan dengan persamaan

$$\vec{E} = E(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (2.4a)$$

dan

$$\vec{H} = H(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (2.4b)$$

dimana ω adalah frekuensi sudut dan β adalah konstanta propagasi. Dari persamaan (2.4a) dan (2.4b) disubsitusikan ke persamaan (2.3a) dan (2.3b) menghasilkan persamaan untuk komponen medan elektromagnetik sebagai berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial E_z}{\partial y} + j\beta E_y = -j\omega\mu_0 H_x \\ -j\beta E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -j\omega\mu_0 H_y \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -j\omega\mu_0 H_z \end{array} \right. \quad (2.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial H_z}{\partial y} + j\beta H_y = -j\omega\epsilon_0 n^2 E_x \\ -j\beta H_x - \frac{\partial H_z}{\partial x} = -j\omega\epsilon_0 n^2 E_y \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = -j\omega\epsilon_0 n^2 E_z \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Di dalam pandu gelombang slab yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 di atas, medan elektromagnetik \vec{E} dan \vec{H} tidak memiliki ketergantungan pada sumbu y sehingga $\frac{\partial \vec{E}}{\partial y} = 0$ dan $\frac{\partial \vec{H}}{\partial y} = 0$. Persamaan (2.5) dan (2.6) merupakan moda elektromagnetik bebas yang dapat diperoleh ditandai dengan moda TE dan moda TM. Moda TE mengikuti persamaan gelombang sebagai berikut:

$$\frac{d^2 E_y}{dx^2} + (k^2 n^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (2.7a)$$

dimana

$$H_x = -\frac{\beta}{\omega \mu_0} E_y \quad (2.7b)$$

$$H_z = \frac{j}{\omega \mu_0} \frac{dE_y}{dx} \quad (2.7c)$$

dan

$$E_x = E_z = H_y = 0 \quad (2.7d)$$

Komponen tangensial pada E_y dan H_z akan kontinu pada batas-batas dua media yang berbeda. Seperti diperlihatkan pada persaan (2.7d) komponen medan listrik sepanjang sumbu z adalah nol ($E_z=0$). Ketika medan listrik tegak lurus pada bidang di sumbu z , distribusi medan elektromagnetik disebut dengan moda TE (*Transverse Electric*).

Pada moda TM mengikuti persamaan gelombang sebagai berikut:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{n^2} \frac{dH_y}{dx} \right) + \left(k^2 - \frac{\beta^2}{n^2} \right) H_y = 0 \quad (2.8a)$$

dimana

$$E_x = \frac{\beta}{\omega \epsilon_0 n^2} H_y \quad (2.8b)$$

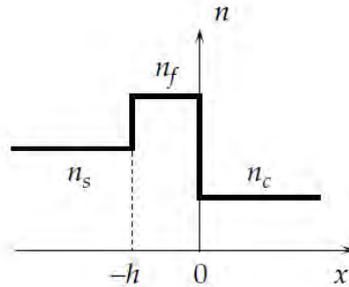
$$E_z = -\frac{j}{\omega \epsilon_0 n^2} \frac{dH_y}{dx} \quad (2.8c)$$

dan

$$E_y = H_x = H_z = 0 \quad (2.8d)$$

Seperti terlihat pada persamaan (2.8d) komponen medan magnet disepanjang sumbu z adalah nol ($H_z=0$). Ketika medan magnet tegak lurus pada bidang di sumbu z, distribusi medan elektromagnetik disebut dengan moda TM (*Transverse Magnetic*) (Okamoto, 2006).

Pada penelitian ini, bila ditinjau dari profil indeks bias lapisan penyusunannya merupakan pandu gelombang tipe step indeks dimana nilai indeks bias kover, film dan substrat masing-masing serbasama dan membentuk susunan tangga (step). Profil indeks bias pandu gelombang slab step indeks diperlihatkan pada Gambar 2.2 dibawah ini



Gambar 2.2 Profil indeks bias step indeks

2.2 Persamaan Helmholtz untuk Pandu Gelombang Slab Step Indeks Modus TE

Bila merujuk pada ekspresi medan separasi modus TE, tidak adanya cahaya yang hilang ke daerah substrat dan kover selama proses penyaluran cahaya di dalam pandu gelombang slab, hanya terjadi bila osilasi medan listrik terpandu $E_y(x)$ membentuk gelombang berdiri (gelombang *stasioner*). Sehingga dapat dituliskan ke dalam bentuk persamaan gelombang berdiri, yaitu: (Rubiyanto dan Ali, 2003)

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + k_{jx}^2 E_y = 0 \quad (2.9)$$

dengan k_{jx} adalah bilangan gelombang berdiri yang terdefinisi sebagai :

$$k_{jx} = \sqrt{k_0^2 n_j^2 - \beta^2} \quad (2.10)$$

Subscript j diganti dengan k, f dan s berturut – turut untuk daerah kover, film dan substrat. Pada penulisan bilangan gelombang berdiri ini, penggantian lambang $n^2(x)$ dengan n_j^2 dikarenakan masing–masing lapisan bersifat *step–indeks*.

Nilai bilangan gelombang k_{jx} dapat bernilai riil dan imajiner. Hal ini merupakan konsekuensi dari adanya medan yang menembus daerah substrat dan kover yang disebut sebagai medan *evanescent*. Bilangan gelombang berdiri untuk daerah yang beresilasi di daerah film bernilai riil, sedangkan untuk yang ter-*evanescent* bernilai imajiner. Oleh karena $n_f > N$ yang bersesuaian dengan $k_0^2 n_f^2 > \beta^2$, maka bilangan gelombang riil untuk daerah film dipenuhi oleh :

$$k_{fx} = \kappa_f = \sqrt{k_0^2 n_f^2 - \beta^2} \quad (2.11)$$

Dimana N adalah indeks bias efektif yang merupakan hasil bagi komponen tetapan propagasi efektif sinar yang mewakili moda gelombang optik terpandu terhadap bilangan gelombang dalam ruang hampa $N = \frac{\beta}{k_0}$, moda gelombang optik terpandu jika $n_s < N < n_f$, dan β adalah tetapan propagasi efektif

Sebaliknya karena $n_s < N$ sehingga $k_0^2 n_s^2 < \beta^2$, maka bilangan gelombang medan listrik yang ter-*evanescent* ke daerah substrat dan kover bernilai imajiner dan dipenuhi masing – masing oleh :

$$\gamma_s = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_s^2} \quad (2.12a)$$

$$\gamma_k = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_k^2} \quad (2.12b)$$

Secara fisis kuantitas κ_f adalah komponen transversal dari tetapan propagasi medan listrik di daerah film, sedangkan γ_s dan γ_k masing – masing adalah tetapan peluruhan medan listrik yang ter-*evanescent* ke daerah substrat dan kover. Persamaan gelombang berdiri untuk medan listrik di daerah kover, film dan substrat berturut – turut adalah :

$$\frac{\partial^2 E_{ys}}{\partial x^2} - \gamma_s^2 E_{ys} = 0 \quad \text{untuk } x \leq h/2 \quad (2.13a)$$

$$\frac{\partial^2 E_{yf}}{\partial x^2} + \kappa_f^2 E_{yf} = 0 \quad \text{untuk } -h/2 \leq x \leq h/2 \quad (2.13b)$$

$$\frac{\partial^2 E_{yk}}{\partial x^2} - \gamma_k^2 E_{yk} = 0 \quad \text{untuk } x \geq h/2 \quad (2.13c)$$

Pada pandu gelombang slab, medan listrik yang ter-*evanescent* ke daerah substrat meluruh mulai dari perbatasan film–substrat hingga ke jauh tak berhingga. Hal yang sama juga berlaku untuk daerah kover. Adapun bentuk penyelesaian fisis yang sesuai untuk menyatakan osilasi listrik di daerah film adalah kombinasi fungsi sinus cosinus. Dengan menerapkan syarat kontinuitas pada bidang batas dan gejala fisis yang terjadi, baik untuk E maupun H, maka didapatkan ekspresi medan listrik untuk cahaya terpandu modus TE yang tersebar mulai dari substrat hingga daerah kover adalah : (Rubiyanto dan Ali, 2003)

$$E_{ys}(x) = E_s e^{\gamma_s(x+h/2)} \quad \text{untuk } x \leq -h/2 \quad (2.14a)$$

$$E_{yf}(x) = (-1)^m E_f \cos[\kappa_f(x+h/2) - \phi_s] \quad \text{untuk } -h/2 \leq x \leq h/2 \quad (2.14b)$$

$$E_{yk}(x) = E_k e^{-\gamma_k(x-h/2)} \quad \text{untuk } x \geq h/2 \quad (2.14c)$$

2.3 Relasi Dispersi Pandu Gelombang Slab untuk Modus TE

Suatu konsekuensi mendasar dapat dihasilkan oleh pemberian faktor pengali $(-1)^m$ pada salah satu ekspresi medan listrik daerah film. Dengan menggunakan identitas trigonometri :

$$(-1)^m \cos(\alpha) = \cos(\alpha - m\pi) \quad (2.15)$$

maka medan listrik E_{yf} dapat dituliskan dalam bentuk :

$$E_{yf} = \cos[\kappa_f(x+h/2) - \phi_s - m\pi] \quad (2.16)$$

dan setelah menyamakan kedua medan E_{yf} (dengan dan tanpa faktor pengali) dalam Pers. (2.14b) didapatkan hubungan :

$$\kappa_f h - \phi_s - \phi_k = m\pi \quad (2.17)$$

Bila kedua ruas dalam Pers. (2.17) dikalikan dengan 2 maka akan diperoleh bentuk persamaan relasi dispersi moda terpandu untuk modus TE : (Rubiyanto dkk, 2003)

$$2\kappa_f h - 2\phi_s - 2\phi_k = 2m\pi \quad (2.18)$$

dengan $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ adalah orde moda.

Persamaan relasi dispersi merupakan persamaan yang mengandung hubungan mendasar antara tebal pandu gelombang (h), panjang gelombang tersalur, serta peristiwa pemantulan sempurna yang terjadi pada bidang batas bahan penyusun pandu gelombang. Pers. (2.18) menyatakan pergeseran fase total gelombang optik terpandu pada pandu gelombang dengan tebal lapisan film h , yang terdistribusi atas pergeseran fase gelombang sepanjang satu lintasan zig – zag $2k_f h$, pergeseran fase ketika terpantul pada bidang batas film–substrat ($-2\Phi_s$), pergeseran fase ketika terpantul pada bidang batas film–kover ($-2\Phi_k$). Φ_s dan Φ_k masing – masing dinyatakan dalam persamaan :

$$\phi_s = \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_s}{k_f}\right) \quad \text{dan} \quad \phi_k = \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_k}{k_f}\right) \quad (2.19)$$

bila Pers. (2.19) disubstitusikan ke dalam Pers. (2.18) diperoleh :

$$k_f h - \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_s}{k_f}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_k}{k_f}\right) = m\pi \quad (2.20)$$

Agar persamaan relasi dispersi tidak bergantung parameter pandu gelombang dan panjang gelombang yang disalurkan, maka digunakan langkah normalisasi. Normalisasi dilakukan dengan memperkenalkan tiga parameter ternormalisasi yaitu frekuensi ternormalisasi V , indeks bias efektif ternormalisasi b , dan faktor ketaksimetrian indeks bias substrat kover a . Masing – masing besaran tersebut didefinisikan sebagai :

$$V = k_o h \sqrt{n_f^2 - n_s^2} \quad (2.21a)$$

$$a = \frac{n_s^2 - n_k^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (2.21b)$$

$$b = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (2.21c)$$

dengan $N = \beta/k_o$ adalah nilai indeks bias efektif yang nilainya berada pada rentang $n_c \leq n_s < N < n_f$.

Untuk menghitung nilai β yang terdapat di dalam γ_k , k_f , dan γ_s pada Pers. (2.18), terlebih dahulu dinyatakan dalam besaran ternormalisasi (besaran tanpa dimensi) : (Tamir,1990)

$$V\sqrt{1-b} - \tan^{-1} \sqrt{\frac{b}{1-b}} - \tan^{-1} \sqrt{\frac{a+b}{1+b}} = m\pi \quad (2.22)$$

Pers. (2.22) memperlihatkan bahwa persamaan relasi dispersi pandu gelombang slab *step-indeks* membentuk persamaan tak linier, karena itu dibutuhkan metode numerik yang sesuai untuk menyelesaikannya.

Dari Pers. (2.22) dapat ditentukan nilai b. Jika nilai b didapatkan, maka dapat digunakan untuk mencari nilai β moda gelombang yang merambat pada pandu gelombang slab melalui :

$$\beta = k_0 \sqrt{b(n_f^2 - n_s^2) + n_s^2} \quad (2.23)$$

Dari Pers (2.22), dengan memberikan harga $b=0$, yaitu kondisi *cut off*, pada moda dasar ($m=0$) maka didapatkan frekuensi *cut off* moda dasar V_0 adalah :

$$V_0 = \tan^{-1} \sqrt{a} \quad (2.24)$$

Pada pandu gelombang slab simetri ($a = 0$) untuk moda dasar ($m = 0$) diperoleh frekuensi *cut off* $V_0 = 0$. Jadi sekecil apapun frekuensi ternormalisasi (V) asalkan lebih dari 0, maka moda dasar masih dapat terpandu. Dari pers (2.22) dengan memberikan nilai $b = 0$, juga bisa diperoleh frekuensi *cut off* moda ke- m (V_m) yaitu :

$$Vm = \tan^{-1} \sqrt{a} + m\pi \quad \text{atau} \quad Vm = V_0 + m\pi \quad (2.25)$$

Pada Pers (2.25), untuk pandu gelombang slab simetri ($a = 0$) maka harga ($V_0 = 0$, dan menggunakan $V = k_0 h \sqrt{n_f^2 - n_s^2}$ dan $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ maka diperoleh ekspresi jumlah moda yang merambat pada pandu gelombang slab m yaitu :

$$m = \frac{2h\sqrt{n_f^2 - n_s^2}}{\lambda} \quad (2.26)$$

Sedangkan tebal maksimum lapisan filmnya dinyatakan dengan : (Kogelnik,1990)

$$h_{\max} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n_f^2 - n_s^2}} \quad (2.27)$$

2.4 Struktur Pandu Gelombang X Cross

Struktur pandu gelombang X *cross* memiliki empat port dimana satu port sebagai *input* dan tiga port lainnya sebagai *output* yang diperlihatkan pada Gambar 2.3, dimana ϕ adalah sudut persilangan antara satu port dengan port lainnya yang berdekatan dan P_1 adalah *input* daya optik serta port *Out 1*, *Out 2*, dan *Out 3* adalah keluaran. Persamaan daya keluaran adalah :

$$P_{01} = L_c \times P_1 \quad (2.28)$$

$$P_{02} = K_1 \times P_1 \quad (2.29)$$

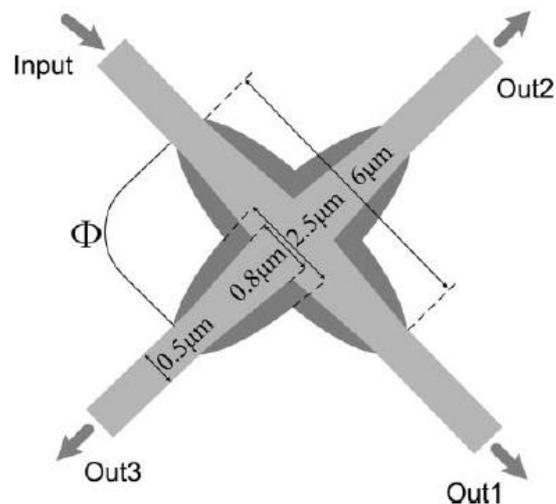
$$P_{03} = K_2 \times P_1 \quad (2.30)$$

Dimana:

L_c : rugi transmisi per persilangan

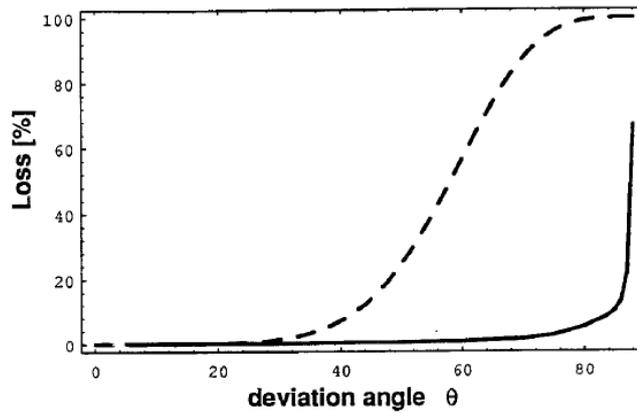
P_{01}, P_{02}, P_{03} : Daya keluaran di *Out 1*, *Out 2*, dan *Out 3*

$K_i, i \in \{1,2\}$: koefisien *crosstalk* per persilangan



Gambar 2.3 Diagram blok pandu gelombang *crossing* (Xie dkk., 2011).

Loss pada Gambar 2.4 terjadi pada sudut *crossing* $\phi = \frac{\pi}{2} - \theta$ untuk sudut dibawah 10° . Akan tetapi ketika $\theta \rightarrow 90^\circ$ atau saat $\phi = 0^\circ$, loss yang terjadi yaitu *crosstalk*. Permulaan sederhana untuk *crosstalk* mengikuti dari asumsi bahwa *coupling* antara dua port dapat terjadi hanya jika konstanta propagasi berada di dalam rentang batas moda propagasi.

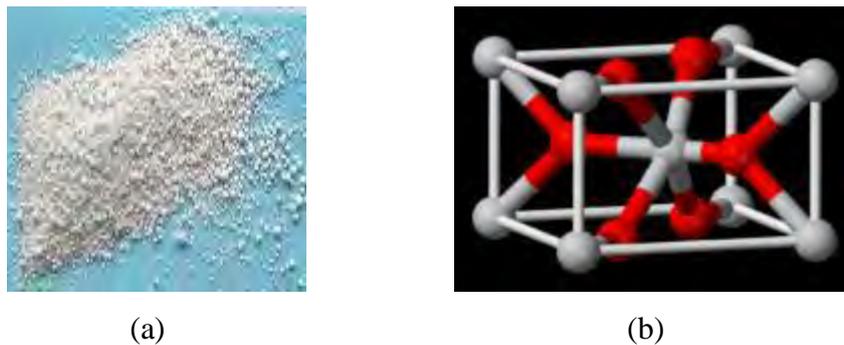


Gambar 2.4 Nilai *loss* untuk rentang sudut *crossing* θ

(Ladouceur dan Love, 1992)

2.5 Tin Dioxide (SnO_2)

SnO_2 merupakan suatu senyawa ionik, yang non-stoikiometri, karena adanya cacat titik berupa kelebihan atom logam Sn (Stannic). SnO_2 banyak dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi karena stabil terhadap perlakuan panas, biaya pendeposisiannya yang relatif murah. Serbuk dan struktur kristal material SnO_2 diperlihatkan pada Gambar 2.5 dan Karakteristik SnO_2 diperlihatkan pada Tabel 2.1. Material Oksida SnO_2 disebut juga keramik. SnO_2 merupakan paduan dua unsur yaitu logam dan non logam yang berikatan ionik dan atau ikatan kovalen.



Gambar 2.5 (a) Serbuk SnO₂ (b). Struktur kristal SnO₂ (Sumber : wikipedia.org)

Tabel 2.1 Karakteristik SnO₂ (Lide, 2004)

Properties	
Nama IUPAC	Tin (IV) Oxide
Molekul Formula	SnO ₂
Molar massa	150,709 g mol ⁻¹
Tampilan	Serbuk berwarna putih atau abu-abu terang
Densitas	6,85 g/cm ³
Titik leleh	1.630 °C
Titik Didih	1.800 – 1900 °C
Sucsepsibilitas magnetik (χ)	-4,1 x 10 ⁻⁵ cm ³ /mol
Indeks Bias	1,993 ; 2,008 (pada panjang gelombang 589 nm)

2.6 *Polymethyl Methacrylate (PMMA)*

Polymethyl Methacrylate (PMMA) merupakan hasil polimerisasi monomer *Methyl Methacrylate* (MMA) (Kassim, 2008). Polimerisasi mudah terjadi di bawah pengaruh cahaya ataupun keberadaan pemicu seperti radikal bebas peroksida. Polimerisasi suspensi digunakan untuk polimer yang akan dicetak sedangkan untuk lembaran atau batangan diperoleh melalui polimerisasi dalam bejana yang bentuknya sesuai dengan yang dikehendaki. *Polymethyl Methacrylate* merupakan polimer transparan, bahan yang keras, kaku dan bening. *Polymethyl Methacrylate* ini memiliki sifat tembus cahaya dan tidak berwarna,

sehingga memungkinkan polimer ini digunakan dalam aplikasi transmisi cahaya (Surdia, 1995).

Saat MMA dalam fase larutan, nilai indeks biasnya 1,48904. Setelah diberi perlakuan panas maka terjadi kenaikan indeks bias yang bervariasi. Nilai indeks bias MMA yang dipolimerisasi menjadi PMMA menggunakan perlakuan panas masing-masing adalah 1,4908 pada suhu 70° C, 1,4910 pada suhu 80°C, dan 1,4914 pada suhu 90° C pada panjang gelombang laser He-Ne (Tanio dan Nakanishi, 2006).

Penggunaan *Polymethyl Methacrylate* sebagai bahan pandu gelombang mengacu pada karakteristiknya yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik *Polymethyl Methacrylate* (Muniroh, 2008).

<i>Polymethyl Methacrylate</i>	
Densitas	1,19-1,2 g/cm ³
Indeks Bias	1,48-1,53
Titik leleh	130°C-140°C

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Gelas Beker | 8. Fiber Optik <i>Single Mode</i> |
| 2. Pipet Tetes | 9. Laser HeNe |
| 3. Substrat Akrilik | 10. Laser dioda |
| 4. Cawan petri | 11. <i>Genesys 10S</i> |
| 5. Magnetik Stirer & Hotplat | <i>Spectrophotometer UV-Vis</i> |
| 6. Magnetik Bar | 12. Alumunium Foil |
| 7. Neraca Digital | |

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

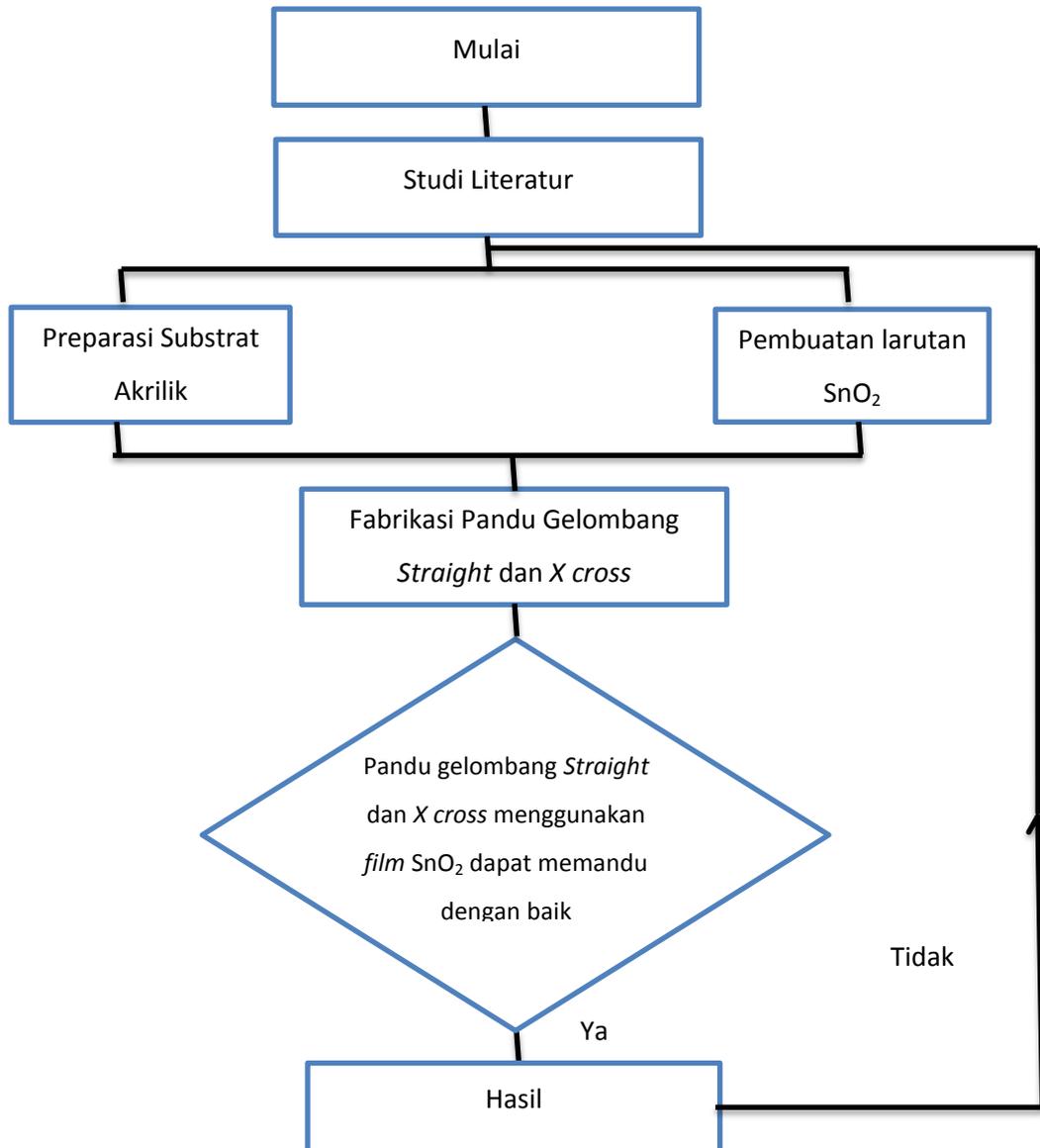
- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Aquades | 4. <i>Alkohol 96%</i> |
| 2. Serbuk SnO ₂ nano | 5. <i>Larutan Isopropanol</i> |
| 3. MMA (<i>Methyl Methacrylate</i>) | 6. <i>Serbuk Etyll Collulose</i> |

3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah- langkah utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Preparasi Substrat Akrilik
2. Pembuatan larutan SnO₂
3. Fabrikasi pandu gelombang *Straight* dan *X cross* dengan substrat akrilik, *film* SnO₂ dan *cover* MMA
4. Pengukuran *output* pada masing-masing *port* pada pandu gelombang *Straight* dan *X cross*.

penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 :

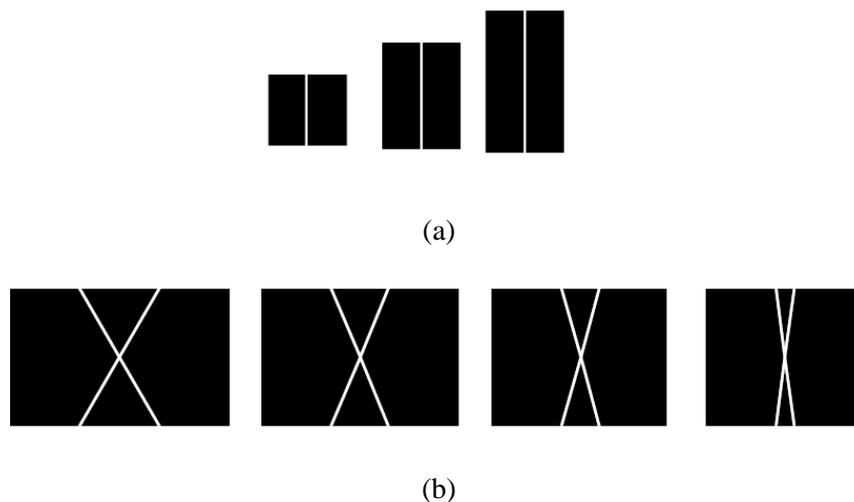


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Substrat Akrilik

Tahap persiapan meliputi desain pola *Straight* dan *X cross* menggunakan software *Corel draw X6* dengan beberapa variasi dan pembuatan substrat akrilik. Desain pola *Straight* dan *X cross* diperlihatkan pada Gambar 3.2. Pada pola *Straight* variasi yang digunakan yaitu panjang dengan ukuran 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm diperlihatkan pada Gambar 3.2 (a). Sedangkan pada pola *X cross* variasi yang digunakan yaitu sudut percabangan dengan sudut 15°, 30°, 45° dan 60° diperlihatkan pada Gambar 3.2 (b).

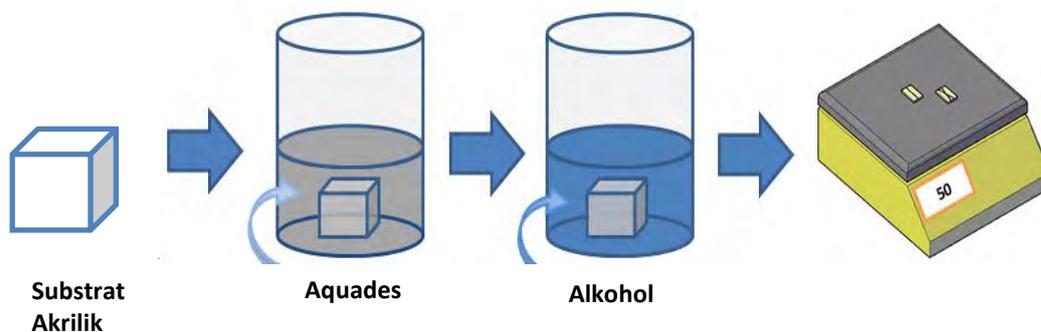


Gambar 3.2 Desain pola (a) *Straight* (b) *X cross*

Pada pembuatan substrat akrilik untuk pola *Straight*, akrilik dipotong dengan ketebalan 2 mm dan digrafir dengan pola ukuran sesuai desain. Sedangkan pada pembuatan substrat untuk pola *X cross*, akrilik dipotong dengan ketebalan 2 mm dan digrafir dengan pola ukuran sesuai desain, kemudian dibuat lagi akrilik dengan ketebalan 2 mm yang sudah dipotong pada tiap bagian. Potongan tiap bagian tersebut kemudian digabungkan di atas akrilik yang sudah digrafir menggunakan perekat, sehingga bagian pola *X cross* menjadi lubang setebal 2 mm dengan lebar ± 1 pt (0,35 mm).

Akrilik yang telah dipotong di haluskan pada bagian-bagian pinggir bekas potongan menggunakan ampelas dengan tingkat kehalusan 1200, 2000 dan 5000 mess. Proses penghalusan dilakukan sampai bagian akrilik yang dipotong terlihat rata dan halus. Setelah bagian pinggir akrilik halus, akrilik dibersihkan menggunakan air sabun dan dicuci menggunakan aquades.

Akrilik yang sudah dibersihkan menggunakan aquades kemudian dimasukkan pada gelas beker yang telah berisi alkohol 96% sebanyak 50 ml direndam selama 30 menit dan di keringkan menggunakan *hotplate* dengan suhu 50 C selama 10 menit. Pembuatan substrat di ilustrasikan pada Gambar 3.3. Pembersihan substrat akrilik dimaksudkan agar akrilik terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Bersih tidaknya substrat kaca mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan.



Gambar 3.3 Preparasi substrat akrilik

3.3.2 Pembuatan larutan SnO₂

Pembuatan larutan SnO₂ mula-mula dibuat larutan dari pencampuran antara pelarut dan binder SnO₂, dimana ethyl cellulose ($[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{OC}_2\text{H}_5)_x]_n$) berperan sebagai binder dan isopropanol ($(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{OH})$) sebagai pelarut dari SnO₂ (Uysal dan Arier, 2015). Pembuatan larutan ini dibuat dengan melarutkan 0,13 gr ethyl cellulose dan 3 ml isopropanol. Kemudian dilakukan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer hotplat* selama 1,5 jam dengan suhu pemanasan 50°C. Lamanya waktu pengadukan diindikasikan dengan larutan tercampur sempurna tanpa ada gumpalan-gumpalan kecil pada larutan yang dibuat. Pemberian suhu pemanasan dilakukan agar larutan lebih mudah tercampur,

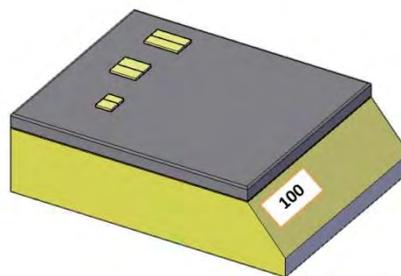
dengan catatan suhu yang digunakan dibawah titik lebur ethyl cellulose (160°C - 210°C) dan isopropanol ($82,2^{\circ}\text{C}$).

Setelah pembuatan larutan dari pencampuran antara pelarut dan binder SnO_2 tercampur sempurna, untuk selanjutnya ditambahkan serbuk SnO_2 nano 0,25 gram. Kemudian dilakukan pengadukan selama 2 jam dengan suhu pemanasan 50°C menggunakan *magnetic stirrer*. Lamanya waktu pengadukan diindikasikan dengan larutan yang mulai berbentuk *gel*.

3.3.3 Fabrikasi Pandu Gelombang *Straight* dan *X Cross* dengan *Film SnO₂* dan *Cover MMA*

3.3.3.1 Fabrikasi Pandu Gelombang *Straight*

Proses pertama yang dilakukan adalah pelapisan larutan SnO_2 ke atas substrat akrilik yang telah di fabrikasi sebelumnya dengan meleletkan larutan SnO_2 yang sudah menjadi gel kedalam lubang pada channel akrilik. Setelah terlapisi, lapisan dipanaskan dengan suhu 100°C diatas pemanas selama 1 jam, yang diperlihatkan pada Gambar 3.4. Hal ini dimaksudkan agar menghilangkan pelarut (isopropanol) yang digunakan pada larutan SnO_2 , dimana titik lebur untuk isopropanol yaitu $82,2^{\circ}\text{C}$.



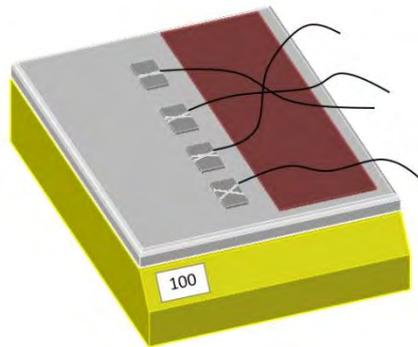
Gambar 3.4 Proses pemanasan pandu gelombang *Straight*

Film SnO₂ yang sudah terbentuk, untuk selanjutnya dilapisi dengan lapisan MMA. Pelapisan MMA berfungsi sebagai *cover* pada pandu gelombang SnO_2 . Pelapisan MMA menggunakan metode *spin coating*, larutan PMMA di teteskan ke atas film SnO_2 pada perangkat *spin coating* dengan menggunakan kecepatan putar 2000 rpm selama 60 detik. Selanjutnya proses pemanasan pada suhu 70°C selama 15 menit. Suhu pemanasan dijaga agar tidak melebihi titik didih dari

MMA (100 °C). Pemanasan pada suhu 70 °C dilakukan untuk polimerisasi MMA menjadi PMAA.

3.3.3.2 Fabrikasi Pandu Gelombang X Cross

Proses pertama yang dilakukan adalah pelapisan larutan SnO₂ ke atas substrat akrilik yang telah di fabrikasi sebelumnya dengan meletakkan larutan SnO₂ yang sudah menjadi *gel* kedalam pola x yang lubang pada akrilik. Pada salah satu ujung pola x dimasukkan fiber optik. Setelah terlapisi, lapisan dipanaskan dengan suhu 100 °C diatas pemanas selama 1 jam, yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses pemanasan pandu gelombang X cross

Film SnO₂ yang sudah terbentuk, untuk selanjutnya dilapisi dengan lapisan MMA. Pelapisan MMA berfungsi sebagai *cover* pada pandu gelombang SnO₂. Selanjutnya proses pemanasan pada suhu 70 °C selama 15 menit. Suhu pemanasan dijaga agar tidak melebihi titik didih dari MMA (100 °C). Pemanasan pada suhu 70 °C dilakukan untuk polimerisasi MMA menjadi PMAA.

3.3.4 Pengujian Transmittansi SnO₂

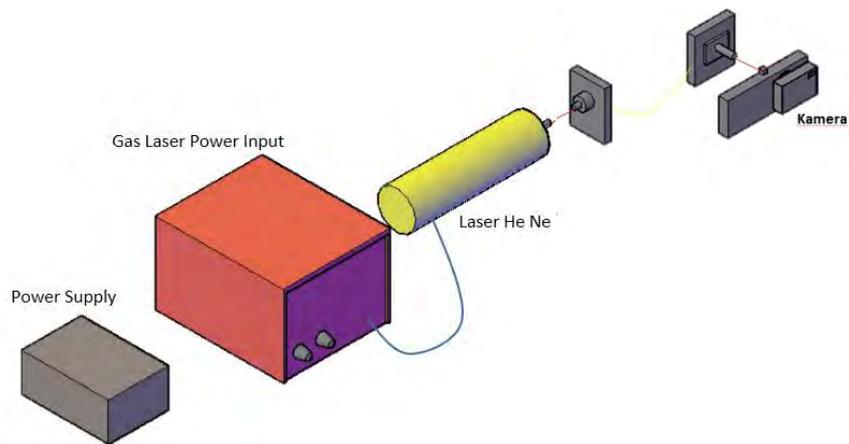
Pengujian transmittansi dari bahan SnO₂ nano dilakukan menggunakan *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.6. Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui rentang panjang gelombang yang sesuai agar cahaya dapat ditransmisikan ke dalam *film* SnO₂ dengan baik.



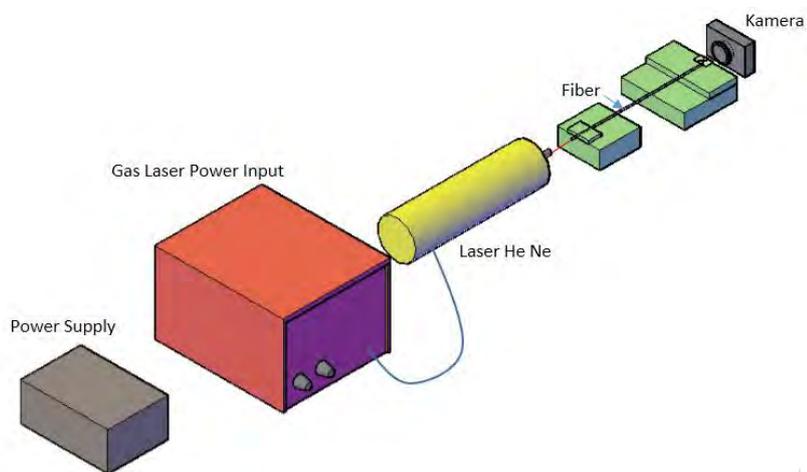
Gambar 3.6 *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis*

3.3.5 Pengukuran *Output* pada Masing-masing *Port* dari Pandu gelombang *Straight* dan *X Cross*.

Pengukuran *Output* dari Pandu gelombang *Straight* dan *X Cross* dilakukan pada ruang gelap. Pengukuran *Output* dari Pandu gelombang *Straight* diperlihatkan pada Gambar 3.7, dimana laser HeNe dimasukkan ke dalam fiber optik *singlemode* untuk selanjutnya dimasukkan kedalam pandu gelombang *Straight* dan kemudian diamati menggunakan *camera*. Pengukuran *Output* dari Pandu gelombang *X Cross* diperlihatkan pada Gambar 3.8, dimana laser HeNe dimasukkan ke dalam fiber optik *multimode* pada hasil fabrikasi pandu gelombang *X Cross* dan kemudian diamati menggunakan *camera*. Proses selanjutnya yaitu analisa gambar, dilakukan menggunakan software *ImageJ* sehingga diperoleh pola distribusi intensitasnya. Pengukuran selanjutnya yaitu memvariasi tegangan masuk dengan menggunakan sumber input laser dioda. Variasi dilakukan menggunakan potensiometer dengan variasi tegangan 5,4 V, 6,4 V dan 7,4 V.



Gambar 3.7. Set up pengukuran *output* pada masing-masing *port* dari pandu gelombang *Straight*.



Gambar 3.8. Set up pengukuran *output* pada pandu gelombang X *cross*

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Pandu Gelombang *Straight* dan *X Cross*

Struktur pandu gelombang *Straight* dan *X Cross* pada penelitian ini terdiri dari substrat akrilik, *film* SnO₂ dan *cover* MMA, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Struktur pandu gelombang

Pemilihan kombinasi antara substrat, film dan cover yang digunakan dengan mempertimbangkan syarat gelombang elektromagnetik dapat terpandu yaitu terjadi pemantulan dalam total (*total internal reflection*) dimana $n_f > n_s \geq n_k$ (Rubiyanto dkk., 2006), dimana indeks bias *film* SnO₂ yaitu 1,993 dan 2,008 pada panjang gelombang 589 nm serta indeks bias substrat akrilik antara 1,490-1,492 serta indeks bias serta *cover* MAA berindeks bias 1,4908 (pemanasan pada suhu 70 °C). Penggunaan substrat akrilik dalam proses fabrikasi bertujuan agar pandu gelombang berstruktur simetri, yaitu pandu gelombang dengan indeks bias substrat dan *cover* yang sama. Substrat akrilik merupakan bahan polimer dalam bentuk padat yang sebagian besar komposisinya terdiri dari PMMA. Pada *cover* digunakan MMA yang dipolimerisasi melalui pemanasan dengan suhu 70 °C menjadi PMMA yang memiliki indeks bias hampir sama dengan akrilik sehingga memungkinkan dapat membentuk struktur pandu gelombang yang simetri.

Pemantulan dalam total yang dialami sinar ketika menumbuk bidang batas, hanya terjadi bila sudut sinar melebihi sudut datang kritis. Sinar yang datang pada sudut kritis $\theta_i = \theta_{ck}$ menuju bidang batas film-kover dan sinar yang datang dengan sudut kritis $\theta_i = \theta_{cs}$ menuju bidang batas film-substrat dibiaskan sejajar atau berimpit disepanjang masing-masing bidang batasnya. Sehingga sudut biasanya $\theta_{tk} = \theta_{ts} = 90^\circ$, maka diperoleh sudut kritis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\theta_{ck} &= \sin^{-1}\left(\frac{n_k}{n_f}\right) \\ \theta_{ck} &= \sin^{-1}\left(\frac{1,4908}{1,993}\right) \\ \theta_{ck} &= 48,419^\circ\end{aligned}\tag{4.1a}$$

$$\begin{aligned}\theta_{ck} &= \sin^{-1}\left(\frac{1,4908}{2,008}\right) \\ \theta_{ck} &= 47,9389^\circ\end{aligned}\tag{4.1b}$$

Sehingga apabila sudut datang sinar lebih besar dari sudut kritis dan kurang dari 90° maka sinar yang terpantul sempurna saat menumbuk bidang batas, terkurung dan menjalar di sepanjang daerah film menurut lintasan zig-zag.

Proses fabrikasi pandu gelombang *Straight* dan *X Cross* diawali dengan mendesain pola *Straight* dan *X cross* menggunakan software *Corel draw X6* dengan beberapa variasi. Pada pola *Straight* variasi yang digunakan yaitu panjang lintasan dengan ukuran 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm. Pada pola *X cross* variasi yang digunakan yaitu sudut percabangan dengan sudut 15° , 30° , 45° dan 60° . Variasi ini dimaksudkan agar nantinya dapat mengetahui perbedaan *output* dan rugi daya yang dihasilkan tiap pola.

Proses selanjutnya yaitu pembuatan substrat dimana akrilik dipotong dengan ketebalan 2 mm dan digrafir dengan pola ukuran sesuai desain yang kemudian dilanjutkan dengan pembersihan substrat. Pembersihan substrat bertujuan untuk menghilangkan pengotor pada permukaan substrat yang akan nantinya dilapisi *film* SnO_2 . Pembersihan substrat menggunakan air sabun bertujuan untuk menghilangkan komponen minyak yang terdapat pada substrat. Setelah menggunakan air sabun, substrat dibersihkan menggunakan aquades untuk menghilangkan debu yang masih menempel pada substrat. Proses selanjutnya,

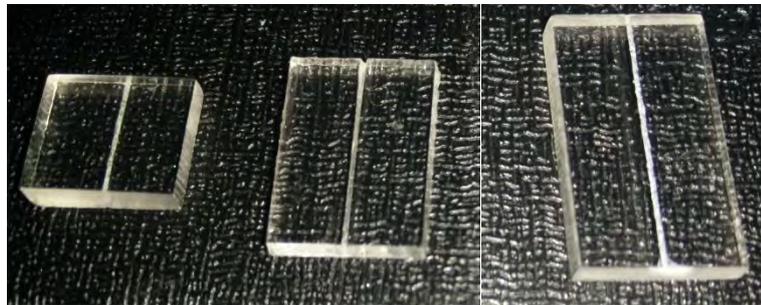
substrat di rendam menggunakan alkohol agar substrat terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan aquades saja. Proses ini perlu untuk dilakukan dikarenakan apabila pada permukaan substrat masih terdapat pengotor maka lapisan *film* dan *cover* tidak dapat melekat dengan sempurna pada permukaan substrat akrilik serta pengotor dapat bercampur dengan *film* sehingga dapat mempengaruhi impuritan dari *film* SnO₂.

Proses yang dilakukan selanjutnya yaitu pembuatan larutan SnO₂ sebagai *film*. SnO₂ digunakan sebagai *film* karena merupakan salah satu material oksida konduktif transparan yang memiliki resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang cahaya tampak (Rahal dkk., 2015). Pembuatan larutan SnO₂ mula-mula dibuat larutan dari pencampuran antara pelarut dan binder SnO₂, dimana ethyl cellulose ($[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OC_2H_5)_x]_n$) berperan sebagai binder dan isopropanol (CH₃)₂CH(OH) sebagai pelarut dari SnO₂ (Uysal dan Arier, 2015) dan setelah tercampur sempurna ditambahkan serbuk SnO₂ nano. Pemilihan isopropanol sebagai pelarut dikarenakan titik didih isopropanol (82,2 °C) yang rendah dan dibawah titik lebur dari substrat akrilik (160 °C) sehingga pada saat proses penghilangan pelarut (isopropanol) dengan pemanasan 100 °C akrilik tidak leleh. Pada pembuatan larutan SnO₂ didapatkan larutan yang berbentuk gel, hal ini dimaksudkan agar pada saat pelapisan kedalam pola pada akrilik dapat terisi sempurna.

Proses pelapisan larutan SnO₂ yang berbentuk gel dilakukan dengan meletakkan kedalam pola yang sudah tersedia pada akrilik dan selanjutnya dilakukan pemanasan dengan suhu 100 °C selama 1 jam. Hal ini dimaksudkan agar pelarut SnO₂ (isopropanol) hilang seluruhnya dan tersisa SnO₂ dan ethyl cellulose sebagai binder. Ethyl cellulose tetap tinggal pada lapisan dikarenakan fungsi ethyl cellulose sebagai binder (perekat) apabila binder dihilangkan maka lapisan SnO₂ akan mudah mengelupas.

Proses selanjutnya pelapisan *cover* menggunakan MMA yang dipolimerisasi menjadi PMMA melalui pemanasan dengan suhu 70 °C selama 15 menit. Proses pelapisan PMMA dilakukan dua kali agar PMMA benar-benar menutupi *film* SnO₂. Dari hasil perhitungan dan gambar yang diperlihatkan pada Lampiran 4 didapatkan tebal lapisan PMMA 225 µm. Hasil fabrikasi pelapisan larutan SnO₂

sebagai *film* dan PMMA sebagai *cover* dengan pola *Straight* diperlihatkan pada Gambar 4.2 (a) dan pola *X cross* diperlihatkan pada Gambar 4.2 (b).



(a)



(b)

Gambar 4.2 Hasil fabrikasi pandu gelombang dengan pola (a) *Straight* (b) *X cross*.

4.2 Transmittansi SnO₂

Hasil uji Transmittansi dilakukan menggunakan *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis* diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa rentang panjang gelombang yang dapat di transmisikan pada daerah panjang gelombang cahaya tampak $\pm 300 \text{ nm} - 1000 \text{ nm}$ dan mempunyai nilai rata-rata transmittansi yang cukup tinggi yaitu 84 %. Pada penelitian ini sumber laser yang digunakan yaitu laser HeNe dengan panjang gelombang 632 nm. Dari data hasil Uji Transmittansi SnO₂ pada panjang gelombang 632 nm berkisar antara 86,767 % – 86,859 %.

Perhitungan nilai reflektansi (R) pada bahan SnO₂ menggunakan persamaan 4.2 dibawah ini

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \quad (4.2)$$

Untuk indeks bias SnO₂ = 1,993 ($\lambda=589$ nm)

$$R = \left(\frac{1,993-1}{1,993+1}\right)^2$$

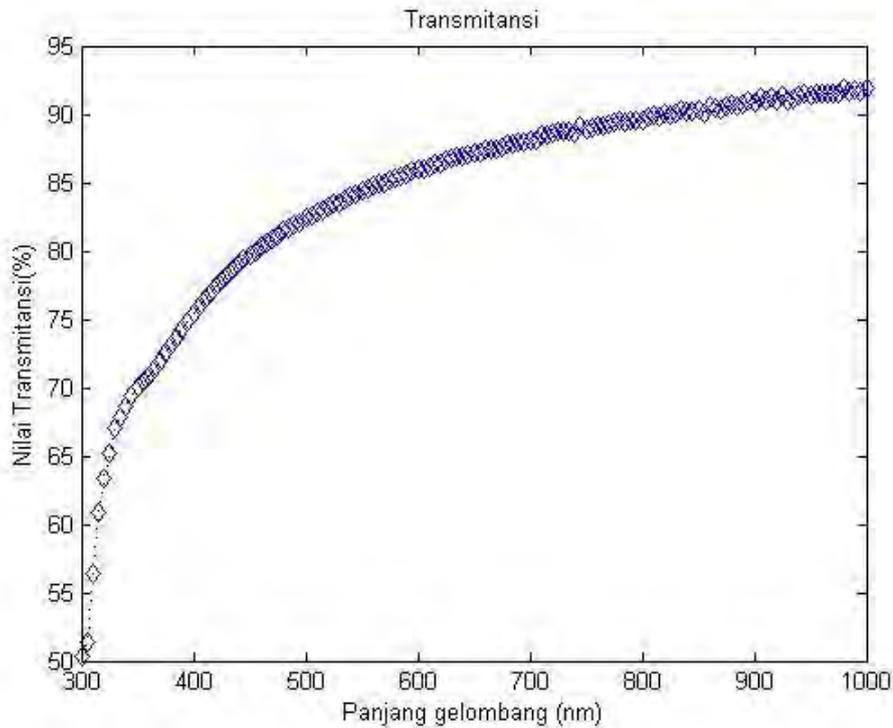
$$R = 0,11007 = 11 \%$$

Untuk indeks bias SnO₂ = 2,008 ($\lambda=589$ nm)

$$R = \left(\frac{2,008-1}{2,008+1}\right)^2$$

$$R = 0,11229 = 11,2 \%$$

Diketahui bahwa $R+T+A=1$, maka nilai Transmittansi yang diperlihatkan pada Gambar 4.3 untuk panjang gelombang 632 nm adalah 86,767 % dan nilai Reflektansi menurut perhitungan diatas adalah 11 % maka nilai Absorbansi (A) yaitu 2,233 % = 0,0223, dan untuk nilai Reflektasi 11,2 %, didapatkan nilai Absorbansi 2,033 % = 0,0203. Nilai absorbansi menjelaskan banyaknya cahaya yang terserap oleh bahan SnO₂ pada panjang gelombang 632 nm. Sehingga bisa dikatakan absorbansi menyebabkan *propagation loss*.



Gambar 4.3 Hasil uji transmitansi SnO₂

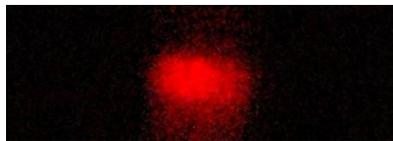
4.3 Karakterisasi Pandu Gelombang *Straight* dan *X Cross*

Proses karakterisasi pandu gelombang *Straight* dan *X Cross* dilakukan pada ruangan gelap, hal ini untuk meminimalkan pengaruh sinar lain selain sinar dari sumber yang digunakan. Hasil fabrikasi pandu gelombang *Straight* dikarakterisasi menggunakan sumber laser HeNe yang ditransmisikan menggunakan fiber optik *single mode* dengan *core* $\pm 12 \mu\text{m}$. Penggunaan fiber optik untuk mengurangi besar berkas yang dipancarkan oleh laser HeNe, karena pandu yang dibuat memiliki lebar $\pm 1 \text{ Pt}$ ($= 350 \mu\text{m}$) sehingga berkas yang keluar tidak menyebar dan diharapkan rugi daya keluaran kecil. Panjang gelombang laser HeNe termasuk dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak dengan keluaran cahaya berwarna merah sehingga pada penelitian ini lebih memudahkan peneliti untuk mengetahui pandu gelombang hasil fabrikasi sudah dapat memandu atau belum memandu.

Hasil fabrikasi pandu gelombang *X Cross* dikarakterisasi menggunakan sumber laser HeNe yang ditransmisikan menggunakan ujung dari fiber yang tidak ditanam, fiber yang digunakan adalah fiber optik *multimode* tipe FD-620-05 dengan diameter serat optik 0,5 mm.

4.3.1 Karakterisasi Pandu Gelombang *Straight*

Pada proses karakterisasi pandu gelombang *Straight* diperoleh gambar yang terlihat *cross section*. Gambar *cross section* diperlukan untuk mengetahui keluaran yang nantinya di proses menggunakan software *ImageJ* untuk mengetahui pola intensitasnya. Sebagian gambar *cross section* diperlihatkan pada Gambar 4.4, untuk selanjutnya diperlihatkan pada Lampiran 1.



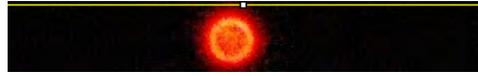
Gambar 4.4 Propagasi laser HeNe Hasil fabrikasi pandu gelombang *Straight* pada *Cross section*

Pada Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa hasil keluaran pada *cross section* pada pandu gelombang *Straight* hasil fabrikasi sudah dapat teramati dan hasil gambar tersebut di olah menggunakan software *ImageJ*. Pada tiap pengambilan data untuk pola *Straight* tiap variasi dilakukan pengambilan gambar *input* dari sumber laser HeNe, hal ini dimaksudkan untuk menghindari keluaran dari laser HeNe yang diakibatkan oleh pergeseran fiber optik.

Pandu gelombang *Straight* hasil fabrikasi sudah dapat memandu dengan baik, diketahui dengan keluaran *cross section* yang terlihat namun masih menyebar. Hal tersebut diakibatkan oleh kurang merata *film* SnO₂ yang diakibatkan oleh pelarut SnO₂ yang hilang, pergeseran fiber optik (jarak pisah antara ujung fiber dengan pandu) serta sudut masukan dari fiber optik ke pandu gelombang kurang pas (kemelesetan sudut masukan).

Salah satu hasil gambar *input* dan *output* dengan panjang 2 cm diperlihatkan pada Gambar 4.5 (a) dan (b) dan hasil pengolahan gambar *input* dan *output*

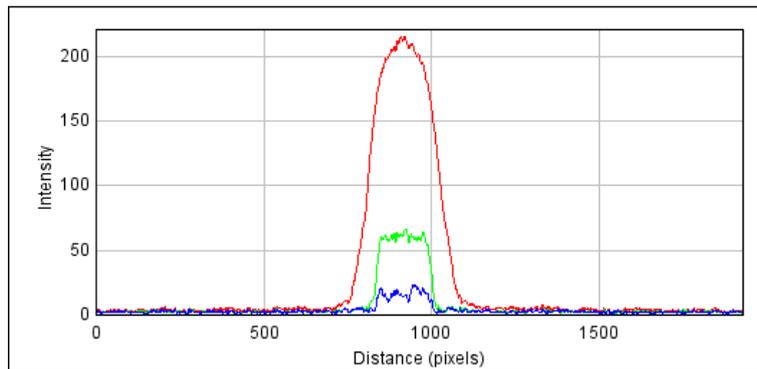
dengan panjang 2 cm menggunakan software ImageJ diperlihatkan pada Gambar 4.5 (c) dan (d).



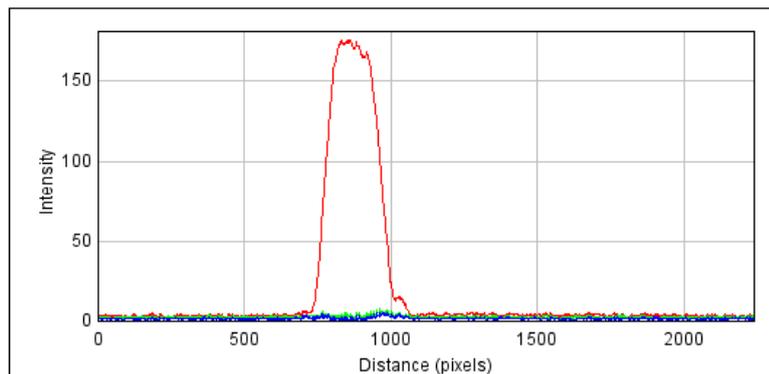
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.5 Pola *Straight* dengan panjang 2 cm (a) *Input* (b) *Output* (c) Plot RGB *input* (d) Plot RGB *output*

Dari hasil Plot RGB *Input* dan *Output* diambil data pada puncak tertinggi masing-masing yang merupakan nilai intensitas tertinggi dalam citra *RGB*. Untuk hasil

Plot Profile *Input* dan *Output* selanjutnya diperlihatkan pada Lampiran 1. Dari data nilai *Input* dan *Output* intensitas tertinggi tiap-tiap variasi *Straight* (1, 1,5 , 2 cm) dihitung nilai *propagation loss* menggunakan perhitungan seperti dibawah ini:

$$Propagation\ Loss = \frac{Input-Output}{Input} \times 100\% \quad (4.3)$$

Hasil perhitungan *propagation loss* pola *Straight* pada tiap-tiap variasi diperlihatkan pada Tabel 4.1 berikut ini:

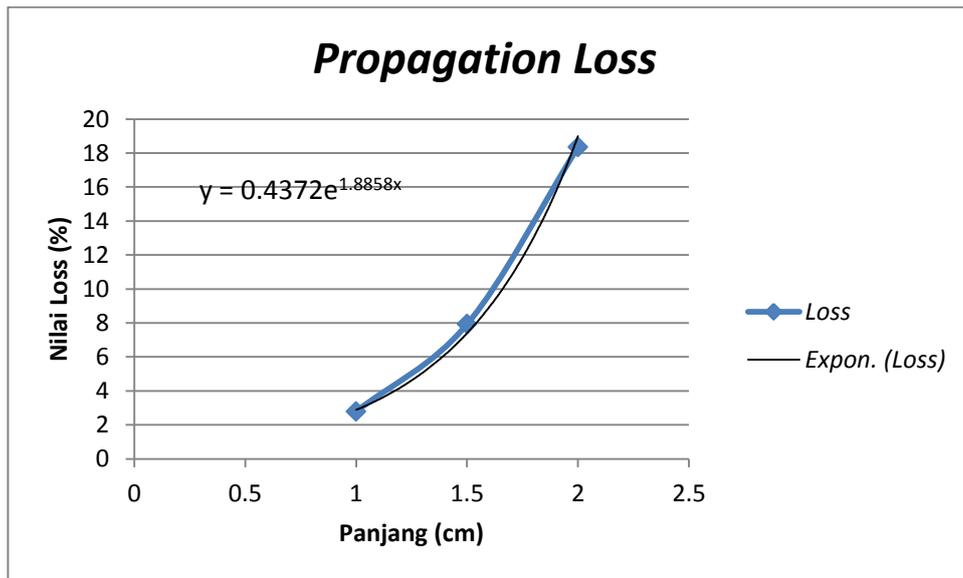
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan *Propagation Loss* Pola *Straight*

	Panjang 1 cm	Panjang 1,5 cm	Panjang 2 cm
<i>Input</i> (au)	152,7222	184,3392	215,7979
<i>Output</i> (au)	148,4707	169,7268	176,1943
<i>Loss</i> (%)	2,784	7,927	18,352

Dari Tabel 4.1 diperlihatkan bahwa *propagation loss* semakin besar dengan semakin panjang pandu gelombang. *Propagation loss* bisa disebabkan karena *absorption*, *bending loss*, serta *scattering* dari material (SnO₂). *Loss* juga dapat terjadi karena berkas cahaya menyebar dan hal ini terjadi pada *film* SnO₂ dimana *output* nya menyebar yang diperlihatkan pada pola distribusi intensitas di Gambar 4.5 (b). Berkas cahaya menyebar bisa diakibatkan oleh porusitas pada materialnya (SnO₂), namun penelitian ini belum dapat membuktikan bagaimana gambaran pori-pori dari material SnO₂.

Nilai *propagation loss* pada pandu gelombang *Straight* dapat digunakan sebagai acuan bahwa semakin panjang suatu pandu gelombang semakin besar *loss* serta material SnO₂ memiliki nilai *loss* yang lebih kecil dibandingkan material TiO₂ (> 43,46 %) dengan panjang 1 cm (Daniyati, 2015). *Loss* yang lebih kecil ini dapat diindikasikan karena pada penelitian ini larutan berbentuk *gel* sehingga morfologinya lebih rapat mengakibatkan proses *scattering* sulit terjadi.

Dari Tabel 4.1 dibuat suatu grafik hubungan antara panjang pola *Straight* dengan nilai *loss propagation* yang diperlihatkan pada Gambar 4.6 dibawah ini

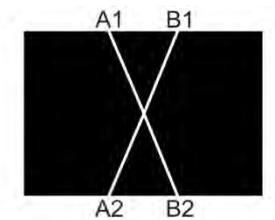


Gambar 4.6 Grafik hubungan antara nilai *propagation loss* dengan variasi panjang pandu gelombang *Straight*

Pada Gambar 4.6 memperlihatkan grafik membentuk fungsi eksponensial positif dimana sudah diketahui bahwa grafik intensitas merupakan fungsi eksponensial dan fungsi yang didapatkan yaitu $y = 0,4372 e^{1,8858 x}$.

4.3.2 Karakterisasi Pandu Gelombang *X Cross*

Pada proses karakterisasi pandu gelombang *X Cross* diperoleh gambar yang terlihat *cross section*. Ilustrasi pandu gelombang *X Cross* diperlihatkan pada Gambar 4.7. Apabila A_1 sebagai *input* maka A_2 , B_2 dan B_1 sebagai *output* begitupula dengan yang lainnya.



Gambar 4.7 Pandu gelombang *X cross*.

Pada port A1 sebagai *input* maka port A2, B2, dan B1 sebagai *output* dimana port B1 adalah yang disebelah A1 dan A2 dan B2 berseberangan dengan A1 disebut juga *cross section*, berikut adalah gambar *cross section* beserta *plot RGB* pada tiap port yang perlihatkan pada Gambar 4.7, dan yang lainnya diperlihatkan pada Lampiran 2.

Pada Gambar 4.7 (a) merupakan *cross section* dari port A1 sebagai input, yaitu port A2 dan B2 dimana sebelah kiri yaitu distribusi intensitas dari port A2 dan sebaliknya sebelah kanan merupakan distribusi intensitas dari port B2. Yang kemudian di olah menggunakan software ImageJ menghasilkan Gambar 4.7 (b). Dari Gambar 4.7 (b) memperlihatkan bahwa puncak port B2 lebih tinggi dibandingkan dengan port A2, hal tersebut dikarenakan penjalaran gelombang pada port B2 merupakan segaris dengan port A1 sehingga jumlah daya yang terpandu menjadi lebih besar dibandingkan dengan port A2 yang merupakan percabangan dengan sudut 30° .

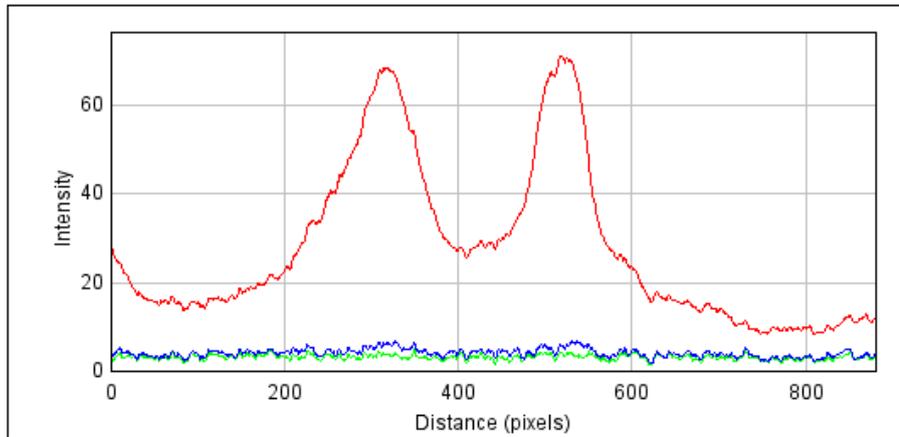
Pada Gambar 4.7 (c) merupakan *cross section* port B1, yang kemudian dari hasil gambar tersebut diolah dan disajikan pada Gambar 4.7 (d). Dari Gambar 4.7 (d) terlihat bahwa intensitas yang menuju ke port B1 lebih tinggi dibandingkan ke port A2 dan B2, hal tersebut dapat diindikasikan karena bahan SnO_2 adalah non linier.

Fenomena optik non linier yaitu cahaya berinteraksi tidak hanya dengan cahaya lain tetapi juga berinteraksi dengan medium yang dilaluinya. Tingkat kenonlinieran suatu bahan berbeda-beda tergantung jenisnya. Semakin tinggi nilai konstanta kenonlinieran akan menyebabkan respon medium semakin tinggi demikian pula sebaliknya. Jika dilewatkan gelombang elektromagnetik berupa sinar laser ke medium transparan (SnO_2), maka menimbulkan interaksi sehingga arah medan listrik sinar laser akan mengalami perubahan sudut polarisasi cahaya (Stywan, Rahmadi dkk. 2008).

Loss yang terjadi pada pandu gelombang *X cross* diakibatkan oleh kurang merata *film* SnO_2 yang diakibatkan oleh pelarut SnO_2 yang hilang, sudut masukan dari fiber optik ke pandu gelombang kurang pas (kemelesetan sudut masukan), serta pada pandu gelombang *X Cross* terdapat percabangan yang memungkinkan terjadinya *loss*.



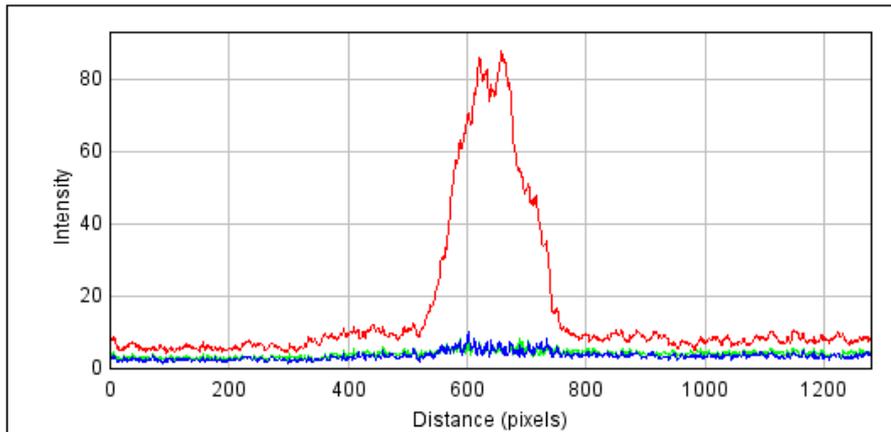
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.8 Pola *X cross* dengan sudut percabangan 30° dengan port A1 sebagai *Input* (a) port A2 dan B2 (b) Plot RGB port A2 dan B2 (c) Port B1 (d) Plot RGB port B1

Prosentase terhadap input dihitung melalui persamaan di bawah ini,

$$\text{Prosentase terhadap input} = \frac{\text{Output}}{\text{Total Output}} \times 100\% \quad (4.4)$$

Hasil nilai keluaran tiap port pada pandu gelombang *X Cross* dengan sudut 15°, 30°, 45° dan 60° dan prosentase terhadap *input* diperlihatkan pada Tabel 4.2,

Tabel 4.2 Prosentase terhadap Input pada Pandu Gelombang *X Cross*

SUDUT (°)	OUTPUT (a.u)				PROSENTASE TERHADAP INPUT (%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
15		179,51	131,33	187,98		35,986	26,33	37,69
30		68,486	87,91	71,261		30,083	38,62	31,3
45		32,004	47,747	36,557		27,517	41,05	31,43
60		90,154	53,553	62,696		43,68	25,95	30,375

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa prosentase terhadap *input* pada pandu gelombang *X cross* dengan sudut 15° untuk input A1 output tertinggi yaitu terletak pada B2, hal tersebut wajar terjadi dikarenakan penjalaran gelombang pada port B2 merupakan segaris dengan port A1 sehingga jumlah daya yang terpandu menjadi lebih besar. Perbedaan perbandingan prosentase terhadap *input* pada A2:B2(%) yakni 35,986: 37,69, perbedaan ini disebabkan ketidak rataan pada saat proses pelapisan dan moda merambat secara individu.

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa prosentase terhadap *input* pada pandu gelombang *X cross* dengan sudut 30° dan 45° untuk input A1 output tertinggi yaitu pada B1, dimana B1 adalah tidak segaris. Pada Pandu gelombang *X Cross* sudut 60° dengan input A1 output tertinggi terletak pada A2 dimana A2 tidak segaris dan merupakan port sebelah kanan dari input, sehingga pembelokan cahaya tersebut banyak terjadi pada percabangan. Pembelokan cahaya pada sinar laser tersebut dapat dikarenakan material film yang digunakan pada penelitian ini yaitu SnO₂ yang merupakan bahan non linier.

4.3.3 Karakterisasi Pandu Gelombang *X Cross* dengan Variasi Tegangan

Karakterisasi pandu gelombang *X Cross* hasil fabrikasi dengan variasi tegangan yang diberikan yaitu 5,4 V, 6,4 V dan 7,4 V. Pegubahan tegangan dengan cara memutar potensiometer dan di sambungkan ke voltmeter sehingga didapatkan nilai tegangan yang keluar dari sumber. Sumber laser yang digunakan yaitu laser dioda dengan panjang gelombang 650 nm. Sama halnya dengan sebelumnya, proses karakterisasi dilakukan dengan mengambil gambar *cross section* yang kemudian di plot RGB menggunakan software *ImageJ* dan di perlihatkan pada Lampiran 3.

Hasil nilai keluaran tiap port pada pandu gelombang *X Cross* dengan sudut 15° untuk variasi tegangan 5,4 V, 6,4 V dan 7, 4 V serta prosentase terhadap input diperlihatkan pada Tabel 4.3, untuk sudut 30° pada Tabel 4.4, pada sudut 45° pada Tabel 4.5 serta pada sudut 60° pada Tabel 4.6 dibawah ini

Tabel 4.3 Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang *X Cross* dengan Sudut 15°

Tegangan (Volt)	OUTPUT				PROSENTASE TERHADAP INPUT (%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
5,4		94,006	40,692	50,366		50,796	21,988	27,216
6,4		26,598	30,326	20,485		34,361	39,176	26,463
7,4		33,167	18,758	19,04		46,737	26,433	26,83

Tabel 4.4 Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang *X Cross* dengan Sudut 30°

Tegangan (Volt)	OUTPUT				PROSENTASE TERHADAP INPUT (%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
5,4		76,556	52,424	120,5		30,686	21,013	48,301
6,4		75,318	43,176	124,5		30,996	17,768	51,236
7,4		22,255	20,381	39,016		27,256	24,961	47,783

Tabel 4.5 Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang *X Cross* dengan Sudut 45°

Tegangan (Volt)	OUTPUT				PROSENTASE TERHADAP INPUT (%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
5,4		100,755	62,217	157,509		31,4386	19,414	49,148
6,4		46,8235	32,648	134,417		21,8916	15,264	62,844
7,4		28,4333	23,271	42,5167		30,1773	24,698	45,124

Tabel 4.6 Prosentase terhadap Input menggunakan Variasi Tegangan pada Pandu Gelombang *X Cross* dengan Sudut 60°

Tegangan (Volt)	OUTPUT				PROSENTASE TERHADAP INPUT (%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
5,4		19,157	31,516	26,2549		24,902	40,968	34,129
6,4		23,571	27,361	126,571		13,279	15,414	71,306
7,4		14,219	16,586	83,6228		12,426	14,495	73,079

Dari penelitian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan semakin kecil arus yang mengalir, hal ini dikarenakan saat potensiometer diputar maksimal (hambatannya maksimal) di dapatkan nilai tegangan 7,4 volt. Sehingga pada penelitian ini semakin tinggi tegangan nilai intensitas semakin kecil. Dari Tabel 4.3 untuk tegangan 5, 4 volt port prosentase terhadap input tertinggi pada A2 namun pada saat tegangan 6,4 volt menjadi berubah dimana port tertinggi terletak pada B1, kecenderungan perubahan tersebut terjadi pada tiap variasi sudut sehingga dapat diperlihatkan bahwa prosentase terhadap input untuk tiap-tiap port dengan variasi tegangan mengalami perubahan, hal tersebut dapat diindikasikan karena sifat kenon-linieritas dari bahan SnO₂.

Secara umum, ketidakmampuan dari dipol dalam medium optik untuk merespon secara linier dari medan listrik ataupun medan magnet mengakibatkan fenomena non linier. 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

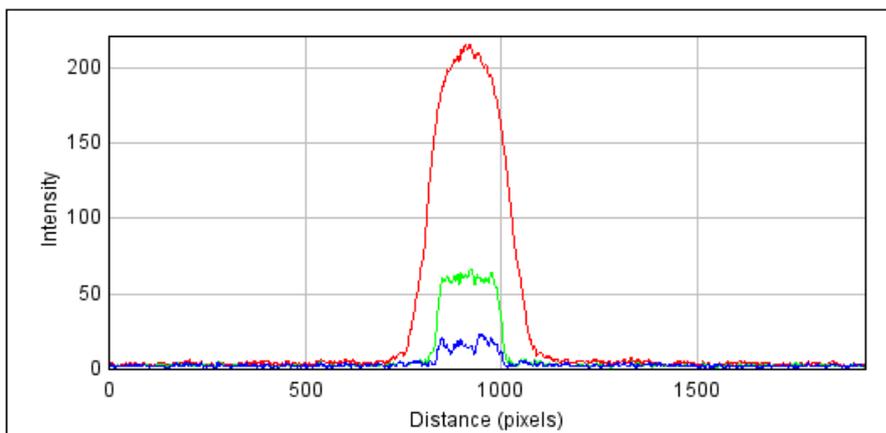
mengakibatkan fenomena ketaklinieran optik. Misalnya tingginya intensitas cahaya yang mengenai bahan atau adanya medan listrik atau medan magnet yang diberikan pada bahan. Nilai koefisien non linier bahan SnO₂ yaitu $1,7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{V}^2$ dengan respon panjang gelombang 1,60 μm (Handoko, dkk, 2006).

LAMPIRAN 1

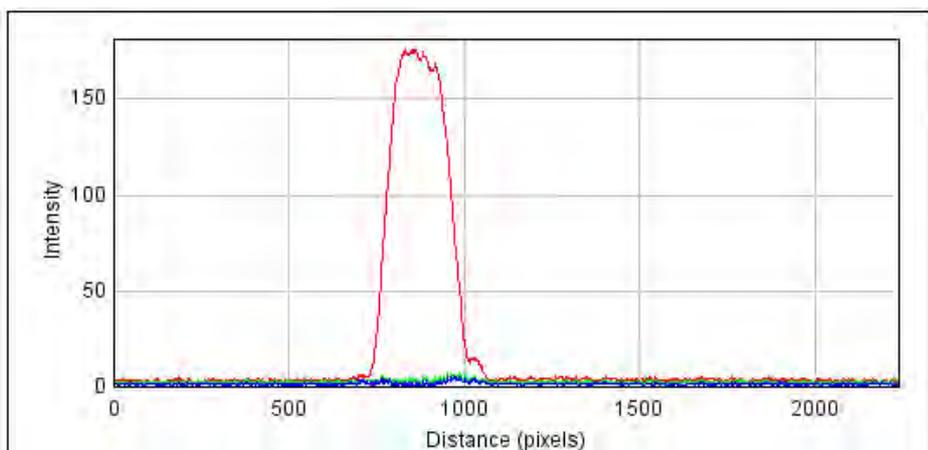
PANDU GELOMBANG *STRIGHT* SUMBER LASER HE-NE

1. Pandu Gelombang *Straight* dengan Panjang 2 cm

Input Straight

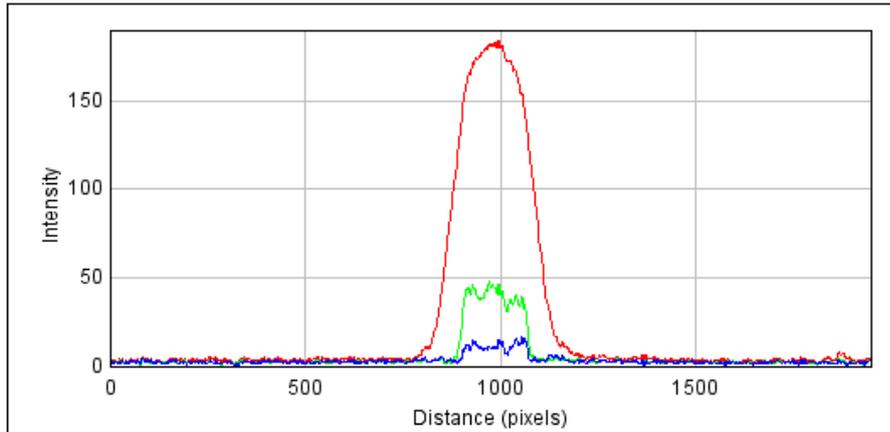


Output Straight

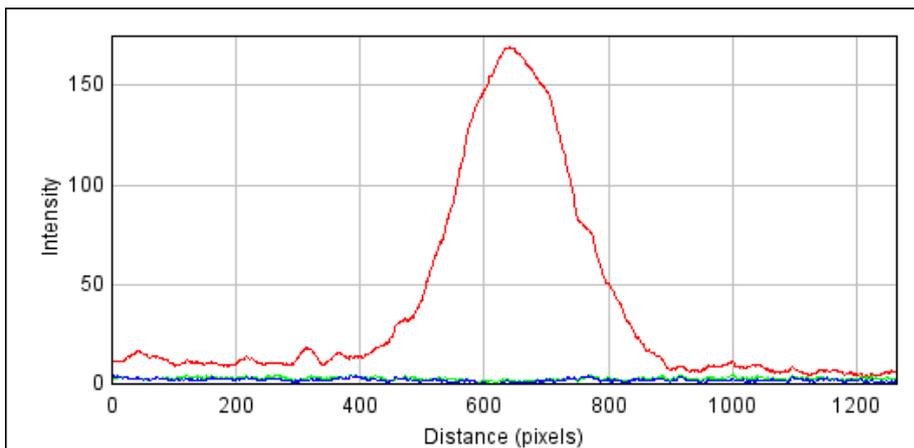


2. Pandu Gelombang *Straight* dengan Panjang 1,5 cm

Input Straight

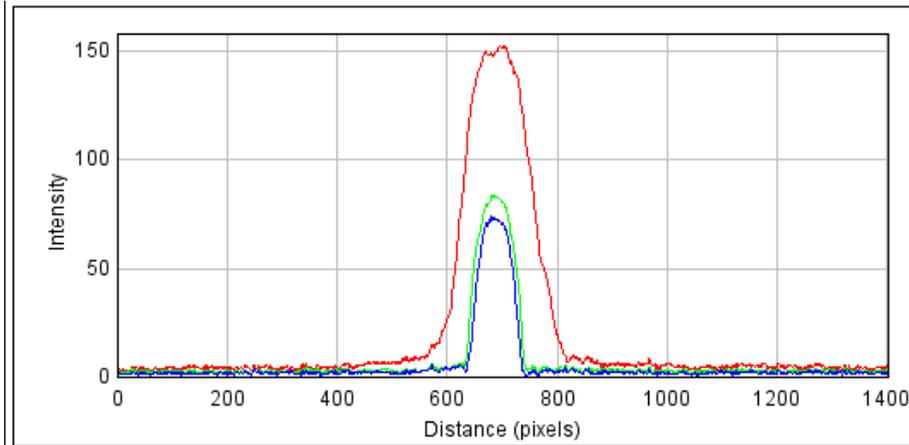


Output Straight

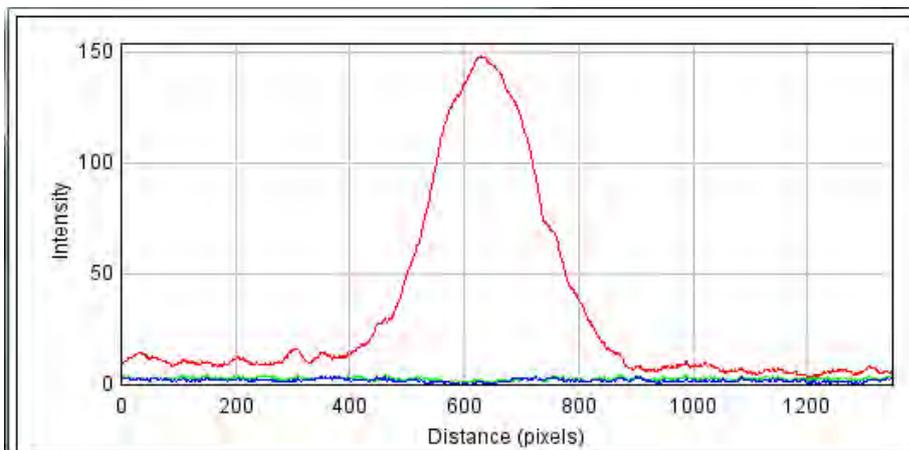


3. Pandu Gelombang *Straight* dengan Panjang 1 cm

Input Straight



Output Straight



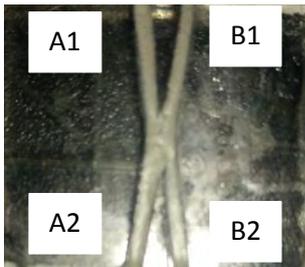
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN 2

PANDU GELOMBANG X CROSS SUMBER LASER HE-NE

1. Pandu Gelombang X *cross* dengan Sudut 15°

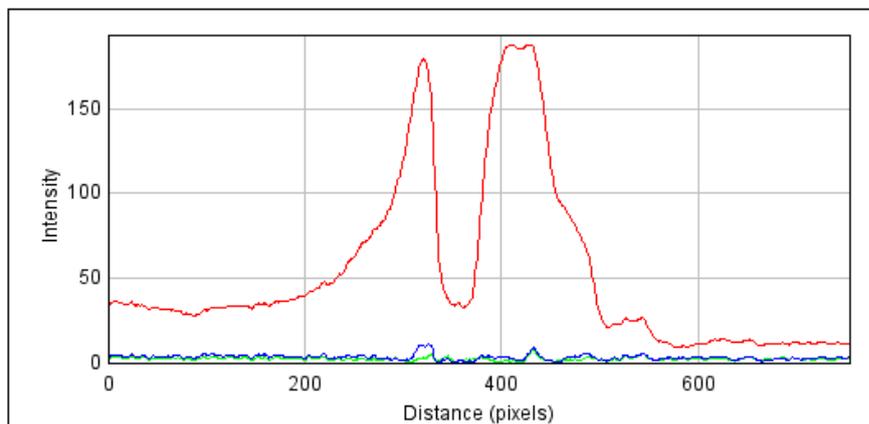
Penampang Atas (*Input* pada A1)

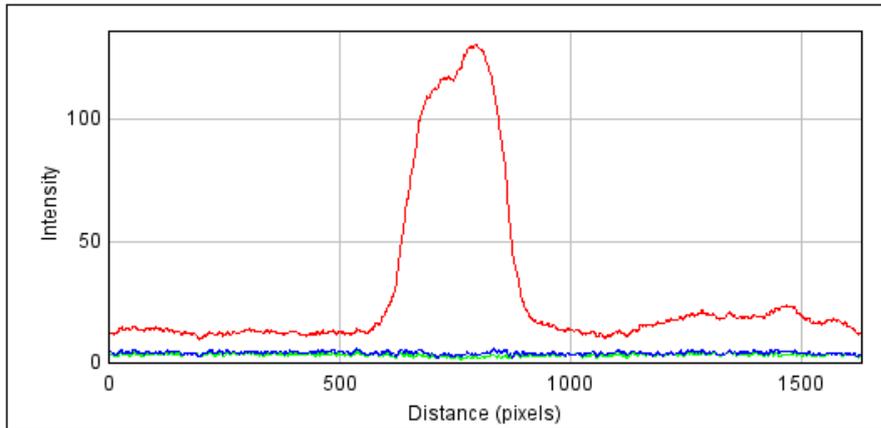


Output (A2 dan B2)



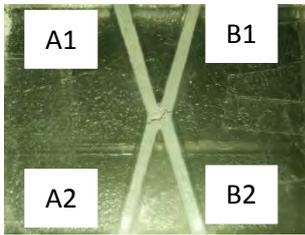
Plot RGB *Output* (A2 dan B2)



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

2. Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 30

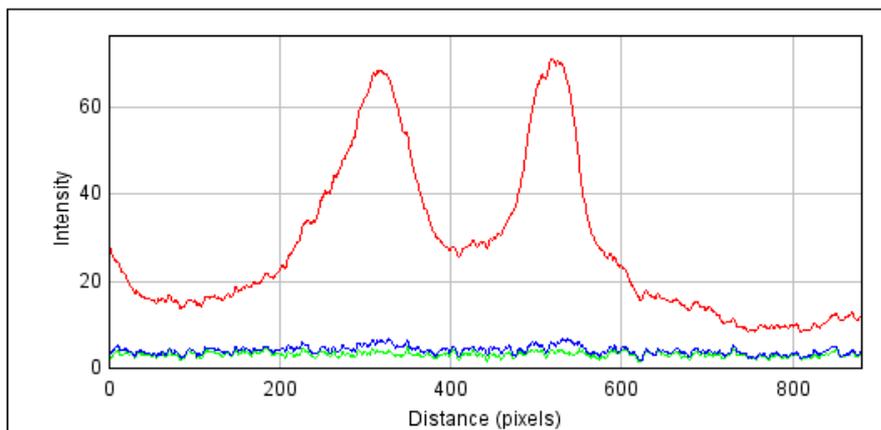
Penampang Atas (*Input pada A1*)

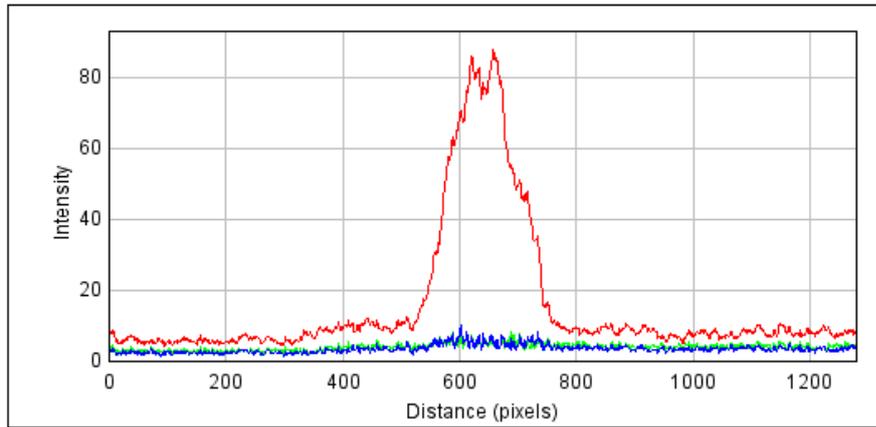


Output (A2 dan B2)



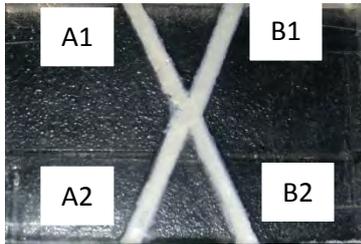
Plot RGB *Output (A2 dan B2)*



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

3. Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 45°

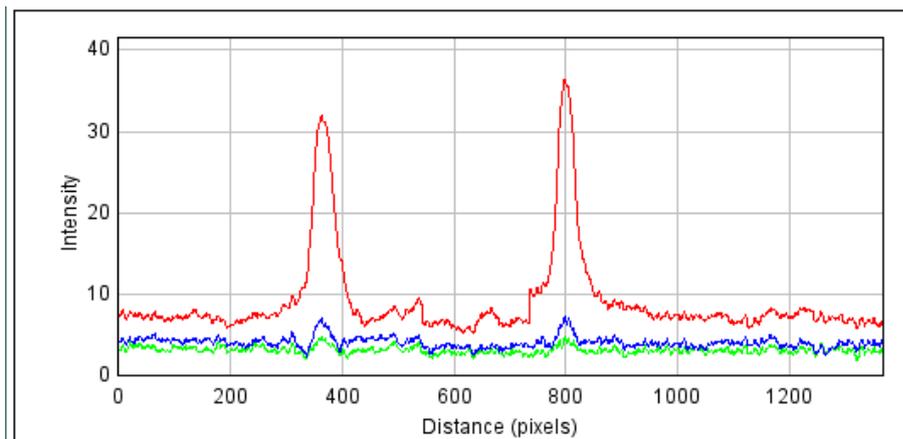
Penampang Atas (*Input* pada A1)

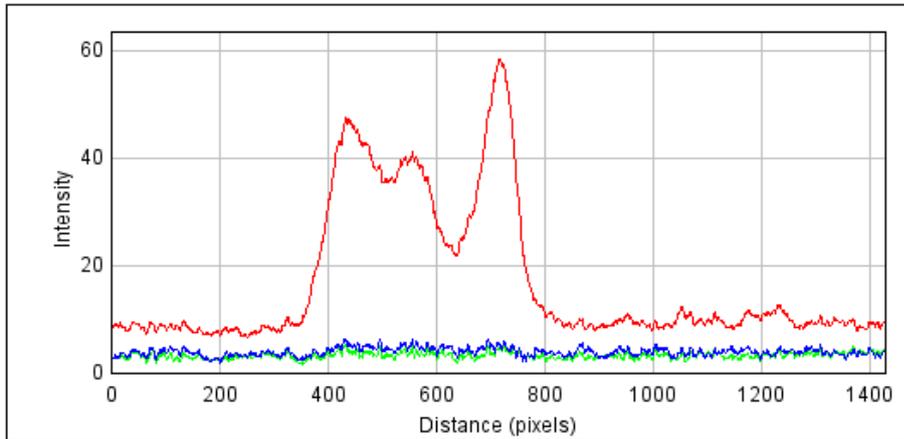


Output (A2 dan B2)



Plot RGB *Output* (A2 dan B2)

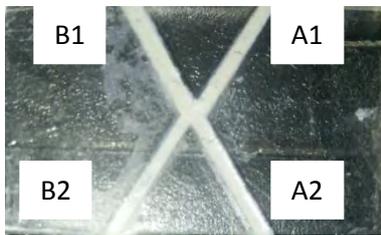


Output (B1)**Plot RGB Output (A1)**

puncak paling kanan yaitu nilai intensitas untuk *scattering* cahaya dari input dan yang tengah *scattering* cahaya dari akrilik sehingga untuk perhitungan hanya dilihat puncak yang sebelah kiri.

4. Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 60°

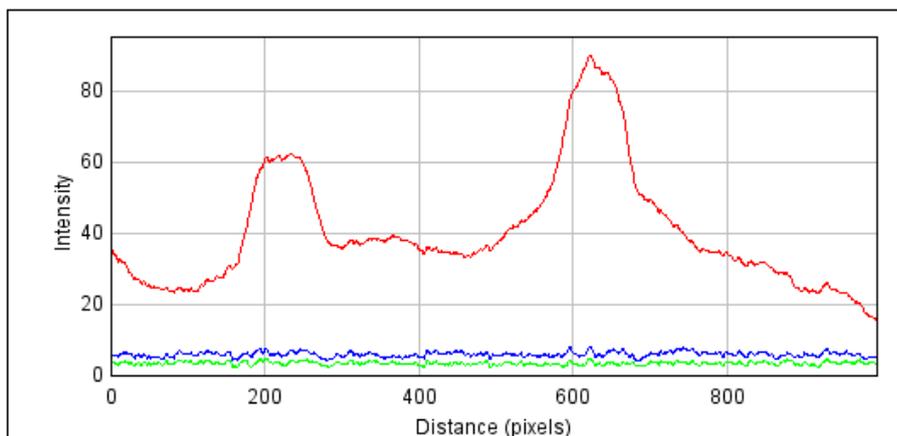
Penampang Atas (*Input pada A1*)

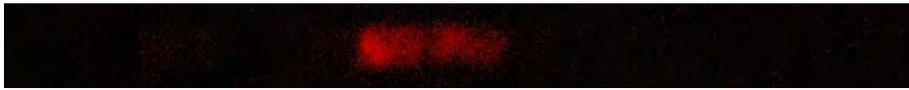
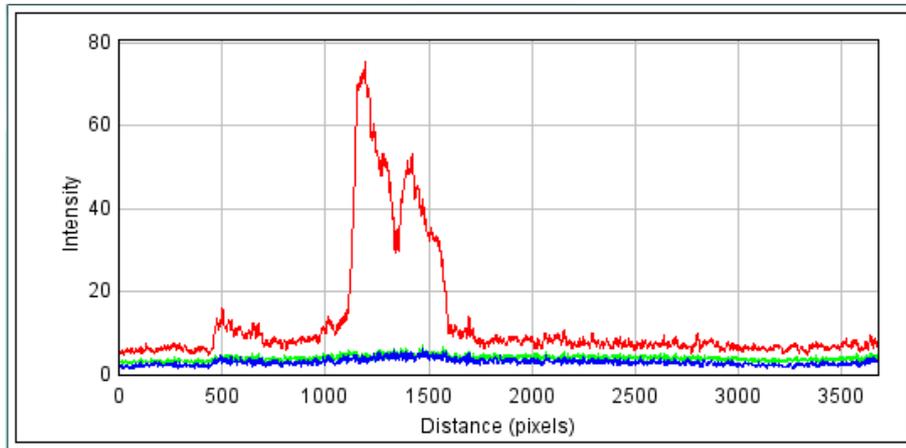


Output (A2 dan B2)



Plot RGB *Output (A2 dan B2)*



Output (B1)**Plot RGB Output (B1)**

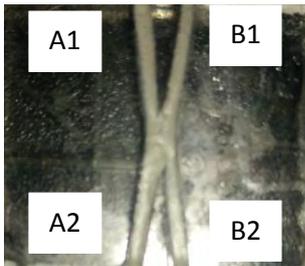
puncak paling kiri yaitu nilai intensitas untuk *scattering* cahaya dari input sehingga untuk perhitungan hanya dilihat puncak yang sebelah kanan.

LAMPIRAN 3

PANDU GELOMBANG X *CROSS* VARIASI TEGANGAN DENGAN SUMBER LASER DIODA

➤ Pandu Gelombang X *cross* dengan Sudut 15°

Penampang Atas (*Input* pada A1)

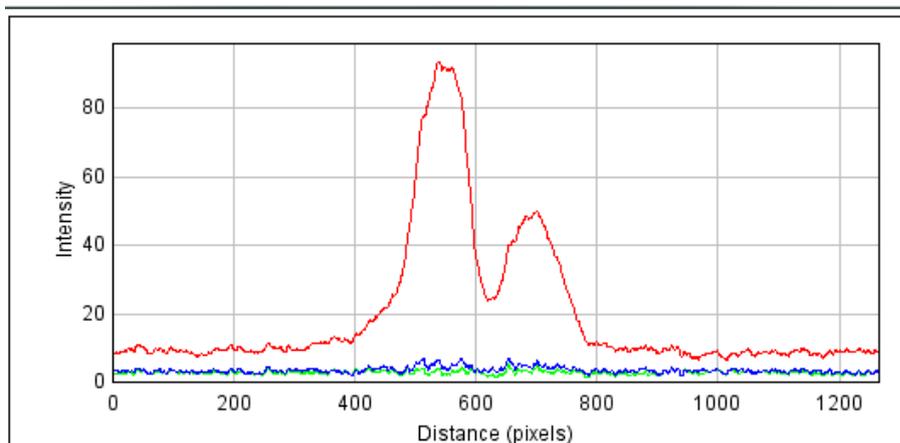


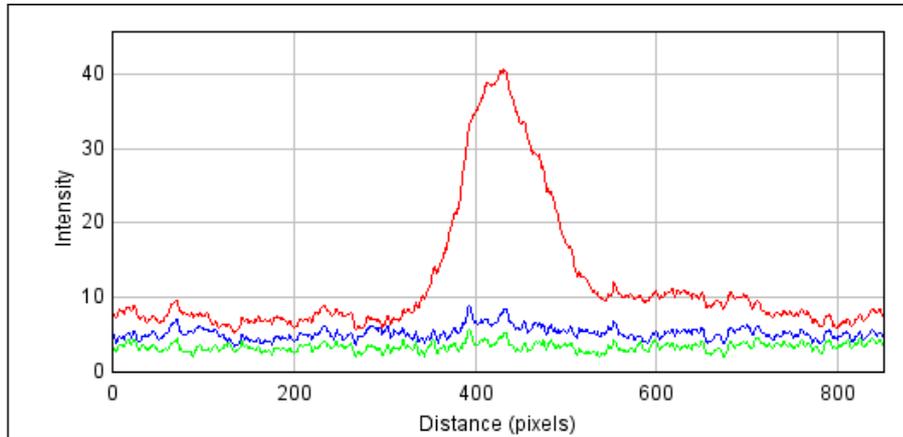
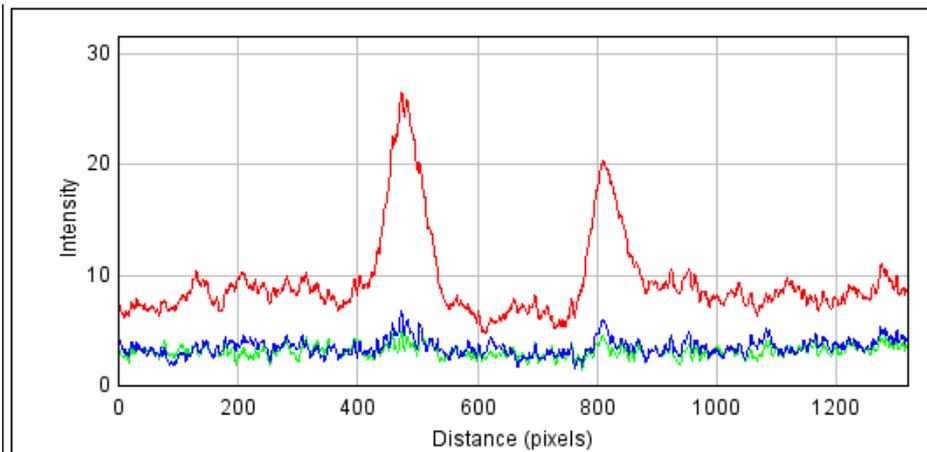
1. 5.4 V

Output (A2 dan B2)



Plot RGB *Output* (A2 dan B2)

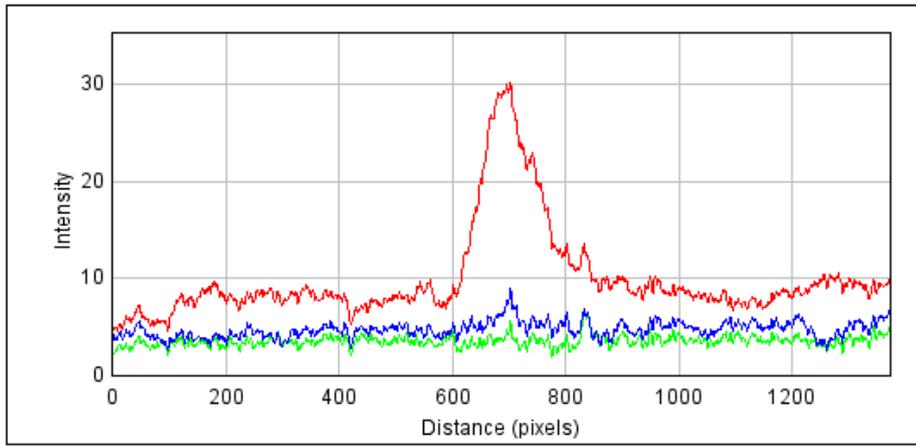


Output (B1)**Plot RGB Output (B1)****2. 6.4 V****Output (A2 dan B2)****Plot RGB Output (A2 dan B2)**

Output (B1)



Plot RGB Output (B1)

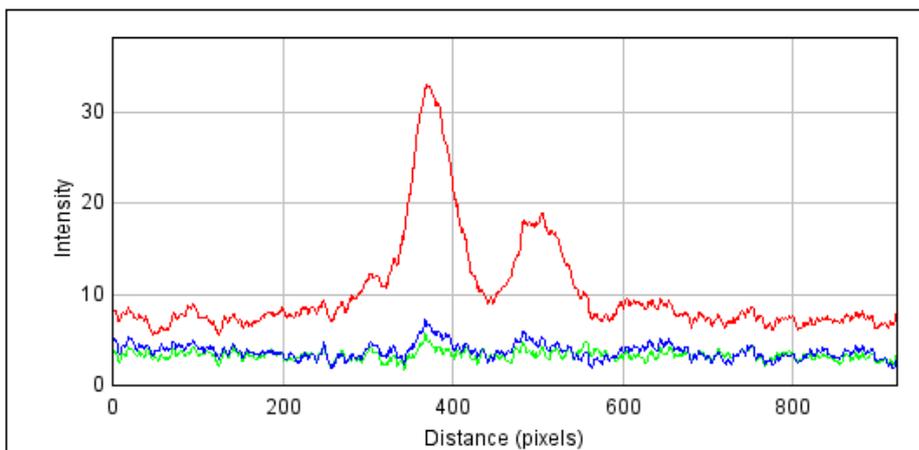


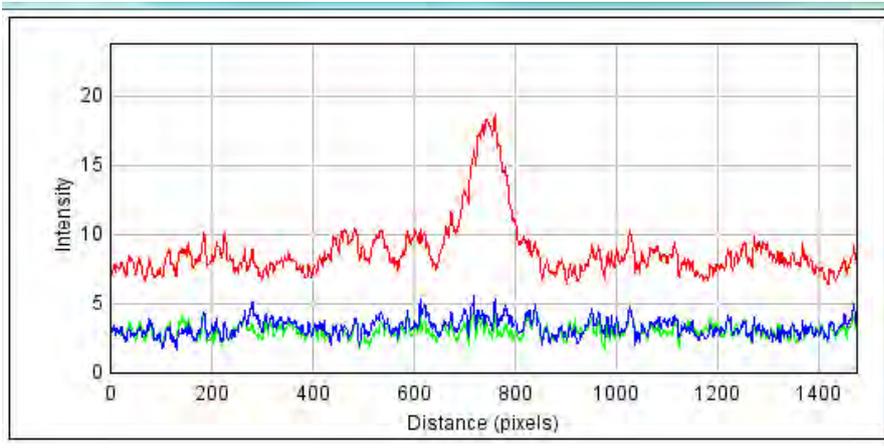
3. 7.4 V

Output (A2 dan B2)



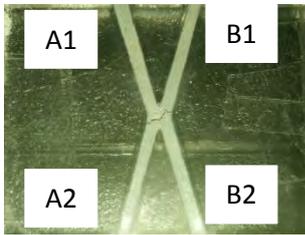
Plot RGB Output (A2 dan B2)



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

➤ **Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 30**

Penampang Atas (*Input* pada A1)

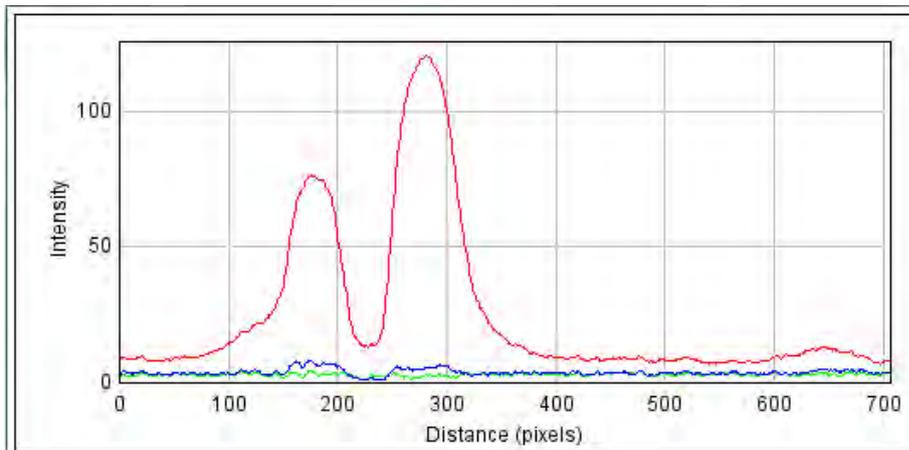


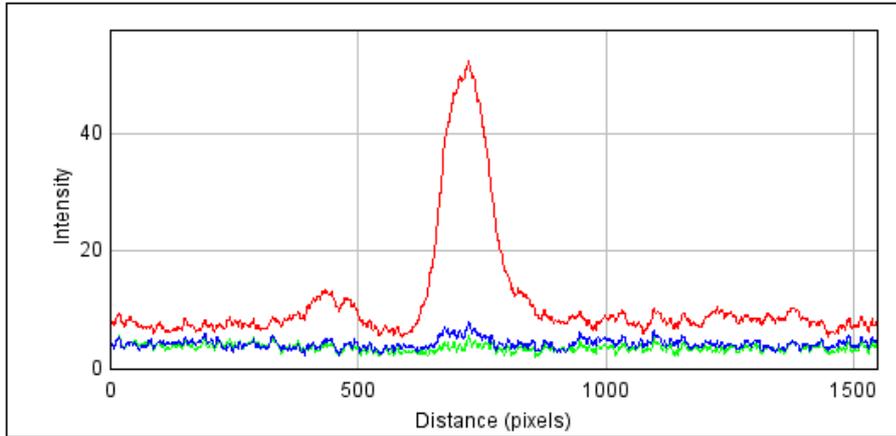
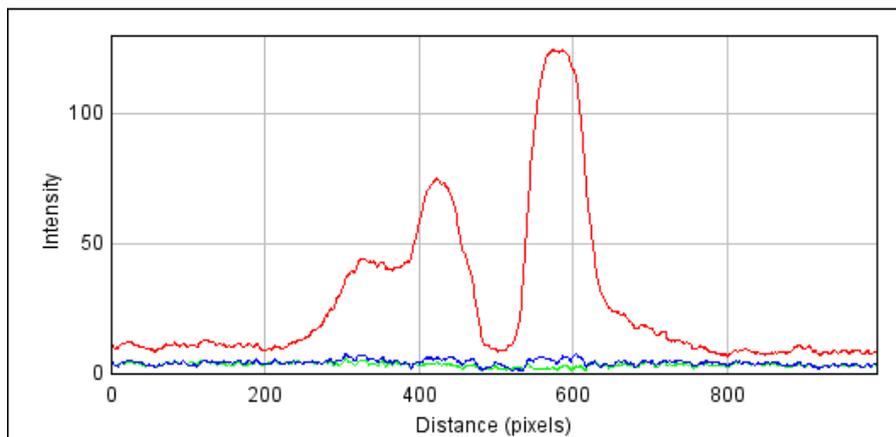
1. 5.4 V

***Output* (A2 dan B2)**



Plot RGB *Output* (A2 dan B2)

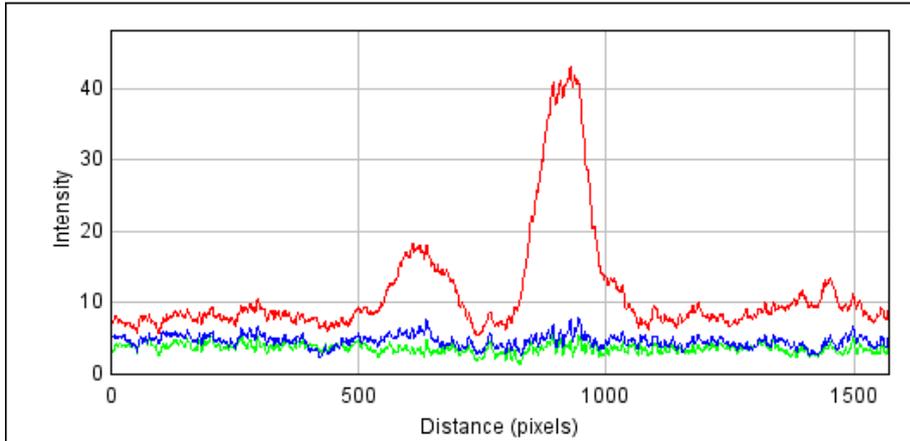


Output (B1)***Plot RGB Output (B1)*****2. 6.4 V*****Output (A2 dan B2)******Plot RGB Output (A2 dan B2)***

Output (B1)



Plot RGB Output (B1)

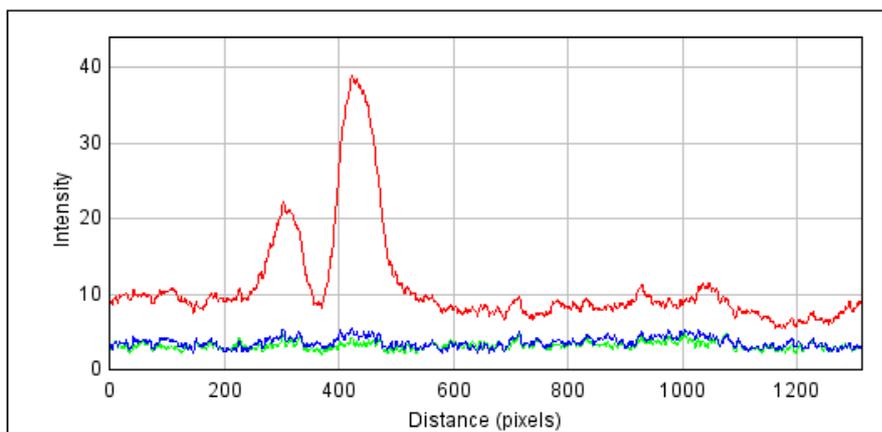


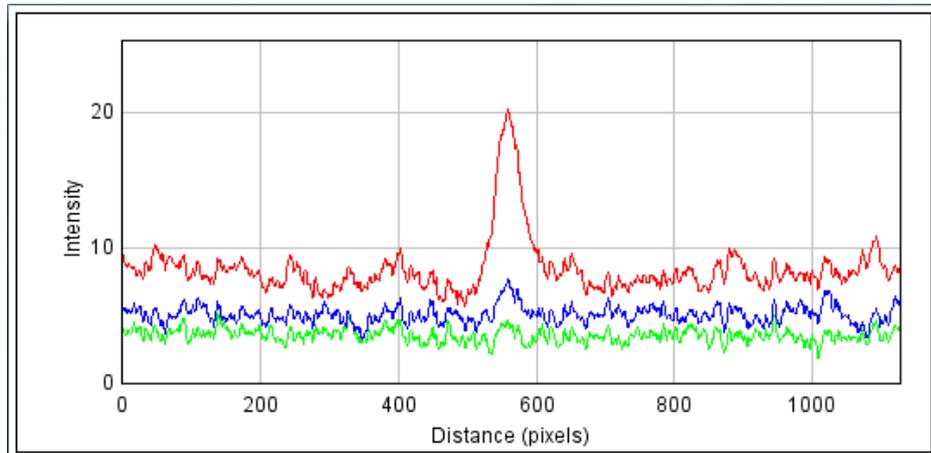
3. 7.4 V

Output (A2 dan B2)



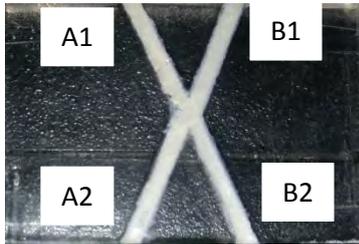
Plot RGB Output (A2 dan B2)



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

➤ **Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 45°**

Penampang Atas (Input pada A1)

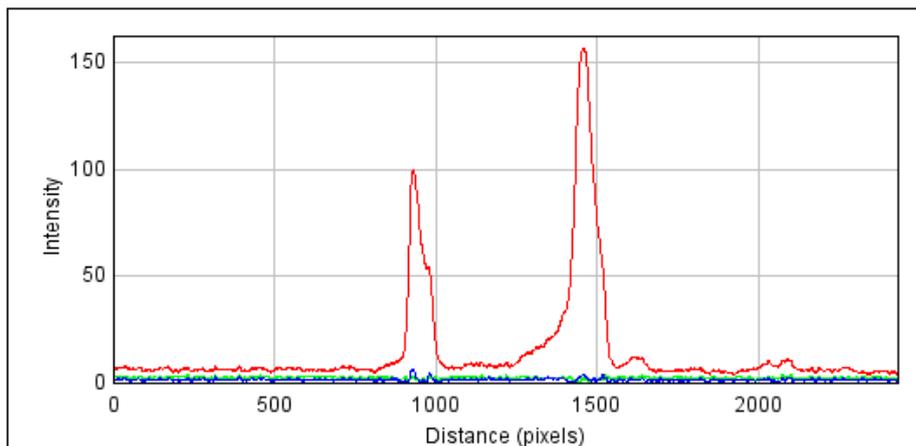


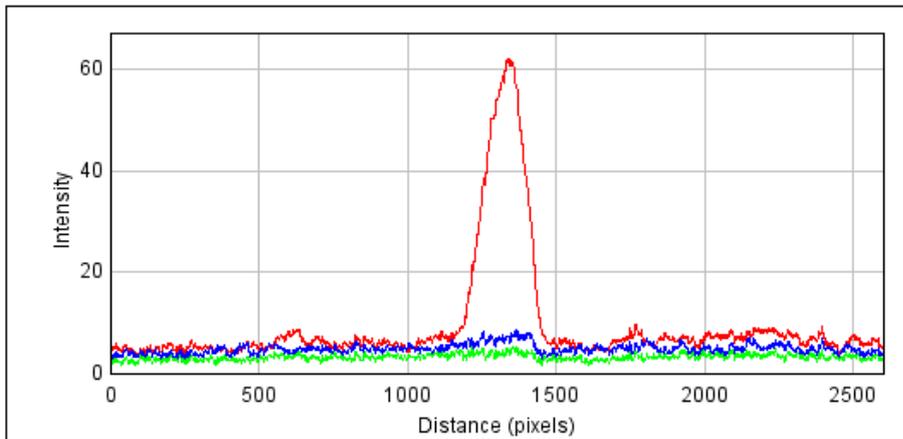
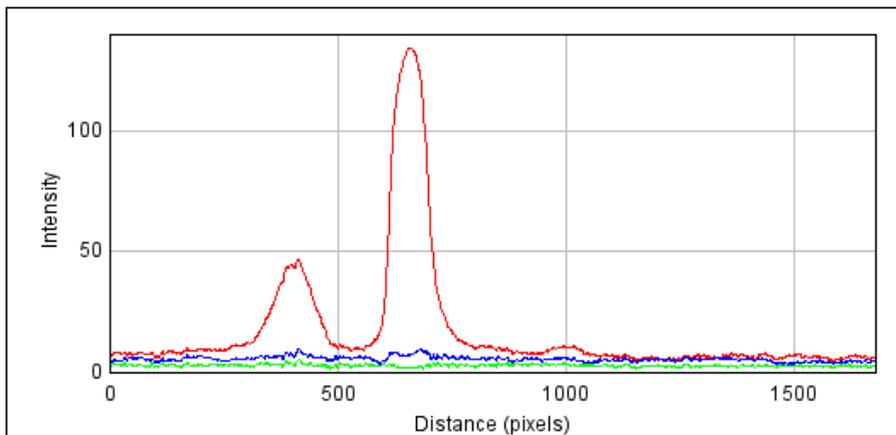
1. 5.4 V

Output (A2 dan B2)



Plot RGB Output (A2 dan B2)

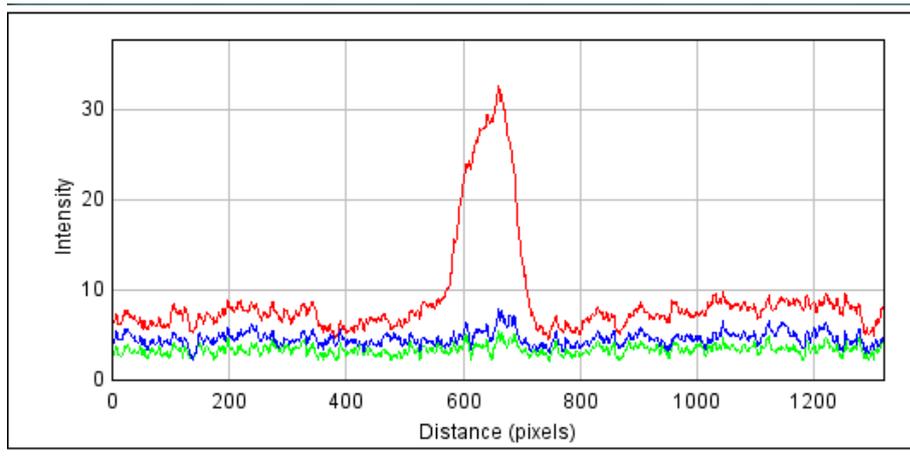


Output (B1)***Plot RGB Output (B1)*****2. 6.4 V*****Output (A2 dan B2)******Plot RGB Output (A2 dan B2)***

Output (B1)



Plot RGB Output (B1)

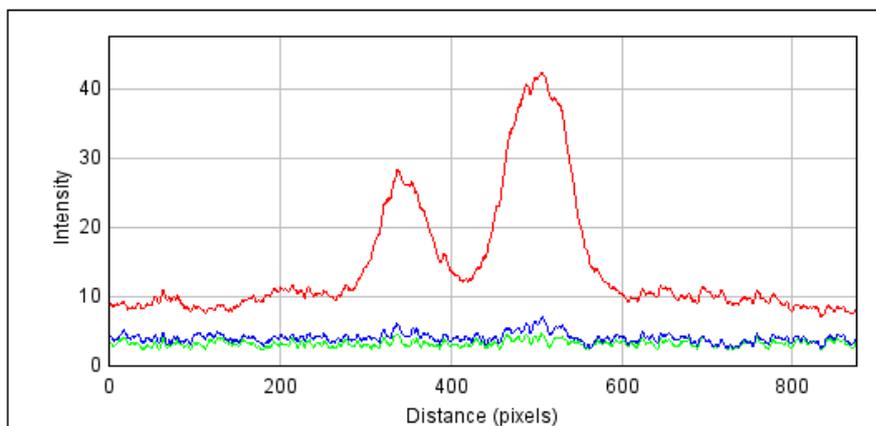


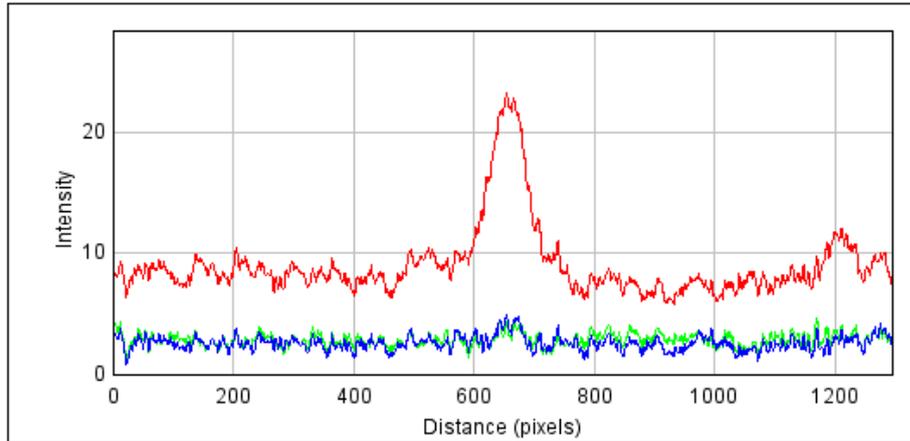
3. 7.4 V

Output (A2 dan B2)



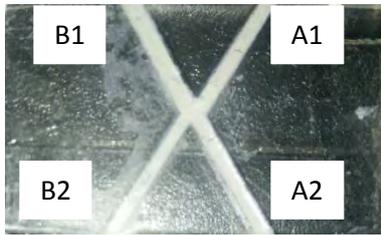
Plot RGB Output (A2 dan B2)



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

➤ **Pandu Gelombang X cross dengan Sudut 60°**

Penampang Atas (Input pada A1)

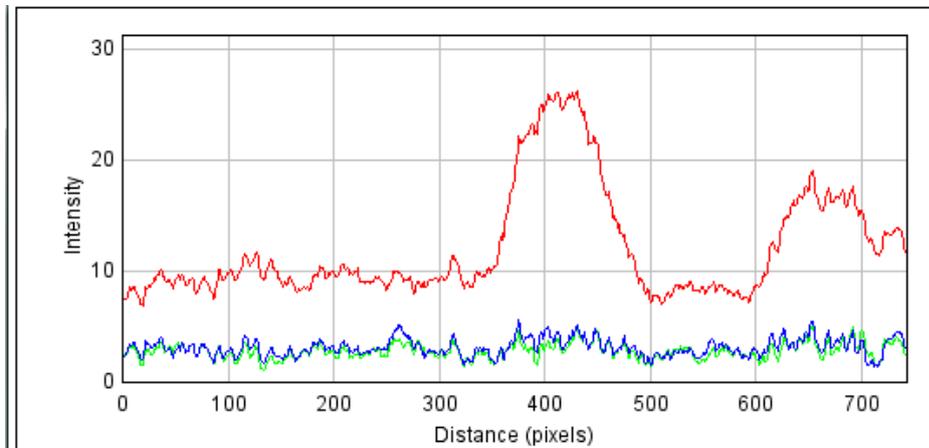


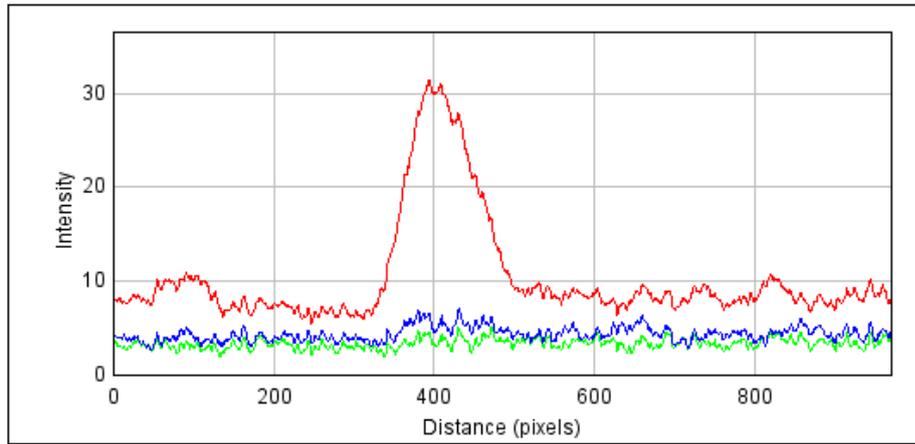
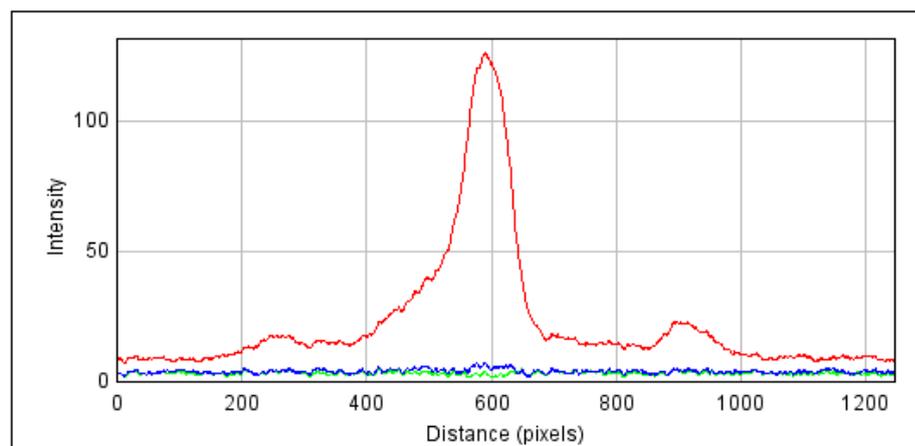
1. 5.4 V

Output (A2 dan B2)



Plot RGB Output (A2 dan B2)

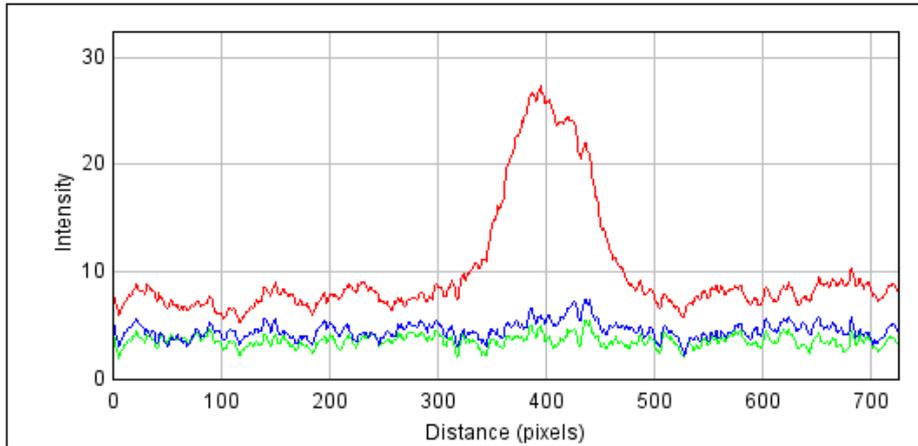


Output (B1)***Plot RGB Output (B1)*****2. 6.4 V*****Output (A2 dan B2)******Plot RGB Output (A2 dan B2)***

Output (B1)



Plot RGB Output (B1)

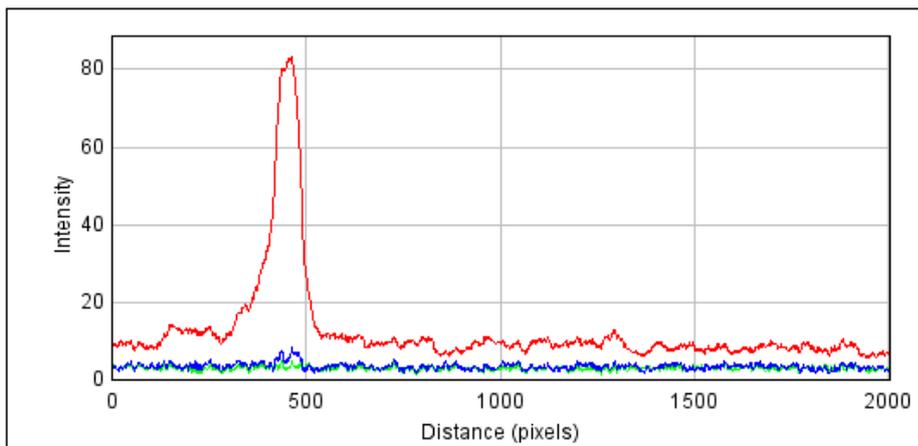


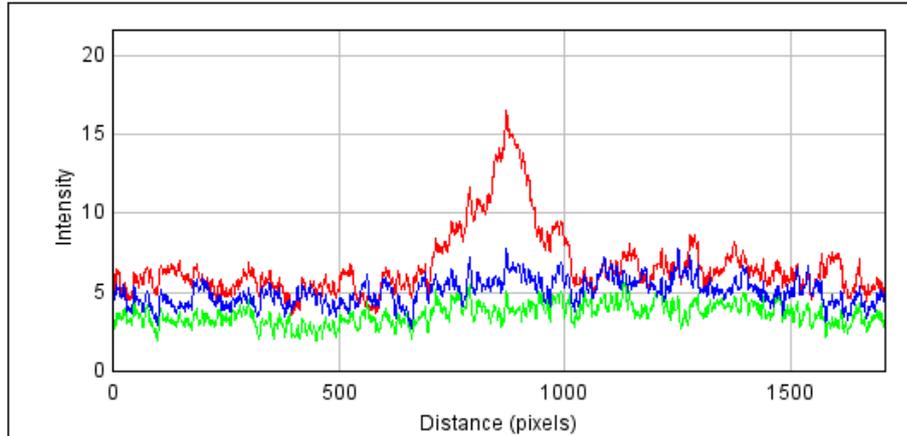
3. 7.4 V

Output (A2 dan B2)



Plot RGB Output (A2 dan B2)



Output (B1)***Plot RGB Output (B1)***

LAMPIRAN 4

DATA KETEBALAN PMMA

Pengukuran ketebalan lapisan tipis larutan PMMA dengan menggunakan software *supereyes* yang terdapat pada *webcam* yang dihubungkan dengan mikroskop dan *personal computer*. Untuk pengukuran ketebalan dilakukan pengukuran konversi dari nilai dalam satuan pixel ke nilai dalam satuan μm . Perhitungan konversi ini dilakukan dengan mengambil foto lapisan yang terbentuk kemudian dilakukan pergeseran pada micrometer skrup sebesar $50 \mu\text{m}$ dan diambil fotonya.

$$\text{skala} \left(\frac{\text{mikro}}{\text{pixel}} \right) = \frac{\text{pergeseran sampel}}{\text{pergeseran pixel}}$$
$$\text{skala} \left(\frac{\text{mikro}}{\text{pixel}} \right) = \frac{50 \mu\text{m}}{500 - 492 \text{ pixel}} = 6,25$$

Selanjutnya nilai ketebalan dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$\text{tebal} \equiv \Delta\text{pixel} \times \text{skala}$$

$$\text{tebal} \equiv (782 - 746)\text{pixel} \times 6,25 \frac{\mu\text{m}}{\text{pixel}} \equiv 225 \mu\text{m}$$

dengan Δpixel adalah selisih antara pixel pada lapisan bawah dengan lapisan atas dengan satuan pixel



Sampel sesudah digeser (garis biru)



Sampel sebelum digeser (garis merah)

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Nilai rata-rata transmitansi bahan SnO₂ yaitu 84 %.
2. Nilai *propagation loss* pandu gelombang *Straight* dengan variasi panjang yaitu 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm didapatkan:
 - a. Pada panjang 1 cm nilai *propagation loss* sebesar 2,784 %
 - b. Pada panjang 1,5 cm nilai *propagation loss* sebesar 7,927 %
 - c. Pada panjang 2 cm nilai *propagation loss* sebesar 18,352 %
3. Dari hasil prosentase terhadap *input* (%) pada pandu gelombang *X Cross* dengan menggunakan sumber input laser HeNe
 - a. Pada pandu gelombang *X Cross* sudut 15° dengan *input* A1 didapatkan output tertinggi terletak pada B2 dikarenakan penjalaran gelombang pada port B2 segaris dengan A1, sehingga jumlah daya yang terpandu menjadi lebih besar.
 - b. Pada Pandu gelombang *X Cross* sudut 30° dan 45° dengan input A1 output tertinggi terletak pada B1 dimana B1 tidak segaris, pembelokan cahaya tersebut dapat diindikasikan karena sifat kenon-linieritas dari bahan SnO₂.
 - c. Pada Pandu gelombang *X Cross* sudut 60° dengan input A1 output tertinggi terletak pada A2 dimana A2 tidak segaris dan merupakan port sebelah kanan dari input, sehingga pembelokan cahaya tersebut banyak terjadi pada percabangan dan dapat diindikasikan karena sifat kenon-linieritas dari bahan SnO₂.
4. Dari hasil karakterisasi pandu gelombang *X Cross* dengan variasi tegangan (5,4 Volt, 6,4 Volt dan 7,4 Volt) tiap sudut didapatkan perubahan prosentase terhadap input untuk tiap-tiap port, hal tersebut dapat dikarenakan sifat non linieritas dari bahan SnO₂.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pada penelitian ini saat proses pelapisan kurang merata saat memasukkan ke dalam pola yang sudah di *grafir* sehingga perlu dilakukan metode pelapisan yang lain sehingga pelapisan menjadi lebih rata.
2. Perlu dicoba pola lain seperti Mach Zender, Y branch, dll.
3. Pada saat proses karakterisasi hanya menggunakan hasil gambar yang kemudian diolah untuk mengetahui distribusi intensitas, untuk selanjutnya dapat digunakan *optical laser source* dan *optical power meter* yang dihubungkan dengan *personal computer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Daniyati, R., 2015, Fabrikasi Pandu Gelombang TiO₂ Nano Y-Branch dengan Metode *Lithography* sebagai Power Divider, Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Gordillo, G., Moreno, L.C., de la Cruz, W., Teheran, P., 1994. Preparation and characterization of SnO₂ thin films deposited by spray pyrolysis from SnCl₂ and SnCl₄ precursors. *Thin Solid Films* 252, 61–66. doi:10.1016/0040-6090(94)90826-5
- Handoko, N.R.B., Firdausi, K.S., dan Setiawati, E. 2006. Penentuan Nilai Koefisien Linier Magneto Optik Bahan Transparan menggunakan Interferometer Michelson. <https://core.ac.uk/download/files/379/11703702.pdf>. Jurnal Universitas Diponegoro. 20 Juni 2016
- Harris, R.D. and Wilkinson, J.S. 1995. Waveguide Surface Plasmon Resonance Sensors. *Sensors and Actuators B*, 29: 261-267.
- Hidayati, Y., 2013. Sensor Temperatur menggunakan Pandu Gelombang Slab Berbahan Polymethyl Methacrylate (PMMA) sebagai Hasil Fabrikasi dengan Metode Spin Coating, Tugas Akhir, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kassim, N. M., Ibrahim, M. H., Mohammad, A. B., dan Yaacob, M. 2008. Polymer Based Multimode Interference Optical Couplers. *Jurnal Universitas Teknologi Malaysia*, 5.
- Khallaf, H., Chen, C.-T., Chang, L.-B., Lupan, O., Dutta, A., Heinrich, H., Haque, F., del Barco, E., Chow, L., 2012. Chemical bath deposition of SnO₂ and Cd₂SnO₄ thin films. *Appl. Surf. Sci.* 258, 6069–6074. doi:10.1016/j.apsusc.2012.03.004
- Kogelnik, H., 1990, *Theory of Optical Waveguides in Guided-Wave Optoelectronics*, Theodor Tamir, Springer-Verlag.
- Ladouceur, F., Love, J.D., 1992. X-junctions in buried channel waveguides. *Opt. Quantum Electron.* 24, 1373–1379. doi:10.1007/BF00625813

- Lide, D.R., 2004. CRC Handbook of Chemistry and Physics. Oliver Sacks, New York.
- Marikkannan, M., Vishnukanthan, V., Vijayshankar, A., Mayandi, J., Pearce, J.M., 2015. A novel synthesis of tin oxide thin films by the sol-gel process for optoelectronic applications. *AIP Adv.* 5, 027122. doi:10.1063/1.490954
- Muniroh, Kiswatul., 2008. Pengaruh Temperatur pada Ketebalan Lapisan Tipis Polymethyl Methacrylate (PMMA) Hasil Fabrikasi dengan Spin Coating. Tugas Akhir Program Sarjana, Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nagano, M., 1984. Chemical vapor deposition of SnO₂ thin films on rutile single crystals. *J. Cryst. Growth* 67, 639–644. doi:10.1016/0022-0248(84)90060-5
- Naguchi K, dkk, 1998, “Multimeter-wave Ti:LiNbO₃ Optical Modulators”, *IEEE J Lightwave Technology*, Vol 16, hal 3917.
- Okamoto, Katsunari, 2006. *Fundamental of Optical Waveguides*. Elsevier Inc, United States of America
- Pigeon, F., Jurlin, Y. and Parriaux, O. 2001. Slab waveguide resonance monitoring by free space waves. *Thin Solid Films*, 394: 237-241.
- Rahal, A., Benhaoua, A., Jlassi, M., Benhaoua, B., 2015. Structural, optical and electrical properties studies of ultrasonically deposited tin oxide (SnO₂) thin films with different substrate temperatures. *Superlattices Microstruct.* 86, 403–411. doi:10.1016/j.spmi.2015.08.003
- Rinawati, 2009. *Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Struktur Slab Berbasis Polimer Polystyrene dan Polymethyl Methacrylate (MMA)*, Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rofianingrum, M., 2013. Studi Tentang Pemanfaatan Pandu Gelombang Slab berbasis Polymethyl Methacrylate (PMMA) Hasil Fabrikasi dengan Teknik Spin Coating sebagai Alat Ukur Massa, Tugas Akhir, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Rubianto, Agus dan Ali Yunus R., 2003. *Buku Ajar-Optika Terpadu*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Rubiyanto, A., dkk, 2006. Analisis Directional Coupler Sebagai Pembagi Daya untuk Mode TE₂, Jurnal Fisika dan Aplikasinya Volume 2, Nomor 1, Januari, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sahodo, Y., 2013. Karakterisasi Prototipe Divais Multimode Interference (MMI) Sebagai Pembagi Daya Optik. Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Surdia, T., 1995. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta, Pradnya Paramita.
- Setyawan, Rahmadi., dkk, 2008. Sifat Optis Tak-Linier Pada Material KDP, Jurnal Berkala Fisika Volume 11, Nomor 3, 97-102 3 Juli 2008, Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro.
- Tamir, T., dan Garmire, E. 1979. *Integrated Optics*, Springer.
- Tanio, N., dan Nakanishi, T. 2006. Physical Aging and Refractive Index of Poly(methyl methacrylate) Glass. *Polym. J.*, 38(8): 814-818.
- Tin dioxide - Wikipedia, the free encyclopedia [WWW Document], n.d. URL https://en.wikipedia.org/wiki/Tin_dioxide (accessed 15.12.15).
- Uysal, B.Ö., Arıer, Ü.Ö.A., 2015. Structural and optical properties of SnO₂ nano films by spin-coating method. *Appl. Surf. Sci.*, SATF2014 : Science and Applications of Thin Films, Conference & Exhibition 350, 74–78. doi:10.1016/j.apsusc.2015.04.023
- Xie, Y., Xu, J., Zhang, J., 2011. Elimination of cross-talk in silicon-on-insulator waveguide crossings with optimized angle. *Opt. Eng.* 50, 064601–064601–4. doi:10.1117/1.3593153
- Yadav, A.A., Pawar, S.C., Patil, D.H., Ghogare, M.D., 2015. Properties of (200) oriented, highly conductive SnO₂ thin films by chemical spray pyrolysis from non-aqueous medium: Effect of antimony doping. *J. Alloys Compd.* 652, 145–152. doi:10.1016/j.jallcom.2015.08.197
- Yariv, A., Yeh P., 1983. *Optical Wave in Crystals*, John Willey & Sons, New York.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis berasal dari kota pahlawan, yakni Surabaya, dan dilahirkan di kota yang sama pada 7 Agustus 1991 dari pasangan berbahagia Totok Edy P.W dan Fatonah. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SDI Ta'miriyah, SMPN 2, SMAN 19 Surabaya dan S1 di jurusan fisika ITS. Penulis diterima S2 di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2014 melalui beasiswa *fresh graduate* dan terdaftar dengan NRP 1114201020.

Di Jurusan Fisika, penulis mengambil bidang minat optoelektronika dan Medan elektromagnetik terapan. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, dapat dikirim ke email: lucky.putri91@gmail.com