TESIS SF 142502

FABRIKASI PANDU GELOMBANG TiO_2 NANO *Y-BRANCH* DENGAN METODE *LITHOGRAPHY* SEBAGAI *POWER DIVIDER*

RIZQA DANIYATI
NRP 1113201011

Dosen Pembimbing
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTIK DAN OPTOELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

TESIS SF 142502

FABRICATION *Y-BRANCH* NANO TiO_2 WAVEGUIDE BY *LITHOGRAPHY* METHOD FOR *POWER DIVIDER*

RIZQA DANIYATI
NRP 1113201011

Advisor
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

MAGISTER PROGRAM
STUDY ON OPTIC AND ELECTROMAGNETIC APPLICATION
DEPARTEMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
RIZQA DANIYATI
NRP. 1113201011

Tanggal Ujian : 24 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui Oleh :

1. **Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.** **(Pembimbing)**
   NIP: 19690904 199203.1.003

2. **Prof. Mahmud Zaki, M.Sc.** **(Penguji I)**

3. **Prof. Dr. Ir. Eddy Yahya, M.Sc.** **(Penguji II)**
   NIP: 19471126 197210.1.001

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP: 19640405 199002.1.001

FABRIKASI PANDU GELOMBANG TiO_2 NANO *Y-BRANCH* DENGAN METODE LITHOGRAPHY SEBAGAI *POWER DIVIDER*

Nama mahasiswa : Rizqa Daniyati
NRP : 1113201011
Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

ABSTRAK

Power devider merupakan komponen utama dalam perangkat optik, dimana dibutuhkan pembagi daya optik yang membutuhkan faktor keseimbangan daya yang baik. Material TiO_2 memiliki indeks bias yang lebih tinggi dan transparan sehingga mempunyai potensi untuk mikrofabrikasi *waveguide* dan dapat digunakan sebagai channel *y-branch*. Desain dan fabrikasi *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* dilakukan dengan menggunakan metode *spin-coating* dan *lithography* dengan subtract kaca *corning*, *core* TiO_2, serta *cladding Methyl Methacrylat* (MMA). Analisa intensitas, daya input dan daya output dari *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* diperoleh dengan menggunakan mikroskop optik yang terhubung dengan PC dan sumber input laser HeNe (λ = 632,8 nm). Karakterisasi lapisan *Y-branch* menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*) dan untuk ketebalan guide digunakan mikroskop optik dengan metode pergeseran pixel. Dari hasil karakterisasi tersebut di dapatkan ketebalan rata-rata dari *guide* tersebut 24,4 µm yang merupakan *waveguide multi mode* serta diperoleh nilai loss penjalaran pada *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* berturut-turut adalah 43,46% dan 55,36%.

Kata Kunci: TiO_2 *Anatase*, MMA, *Power Divider* , *Waveguide*, Y-*branch*, *Ridge*

FABRICATION OF NANO TiO_2 *Y-BRANCH WAVEGUIDE* BY LITHOGRAPHY METHOD FOR *POWER DIVIDER*

By : Rizqa Daniyati
Student Identity Number : 1113201011
Advisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

ABSTRACT

Power devider is a major component of optical interconnecting, that it takes a good balance power. TiO_2 is one of the suitable candidates for microfabricated waveguide because of the high reactive index and transparency. Fabrication channel Y-branch and ridge waveguide was designed and fabricated using spin-coating and lithograpy method which uses substract coarning glass, core TiO_2 nano and cladding *Methyl Methacrylat* (MMA). Analysis intensity, power input and power output from the Y-branch channel and ridge waveguide is obtained using a optical microscope that connected to a PC and the source is HeNe laser (λ = 632.8 nm). Y-branch layer in study are characterization by SEM (*Scanning Elektron Microscope*) and thickness using optical microscope. From the characterization obtained average thickness of the guide is 24.4 μm, and this is multi-mode waveguide. Channel Y-branch and ridge waveguide successfully guided light 632,8 nm with propagation loss is 43,46% and 55,36%.

Kata Kunci: TiO_2 *Anatase*, MMA, *Power Divider* , *Waveguide*, Y-*branch*, *Ridge*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabbil'alamin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT dan rahmat dan karunia-Nya. Sehingga dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan judul "**FABRIKASI PANDU GELOMBANG *TIO_2 NANO Y-BRANCH* DENGAN METODE *LITHOGRAPHY* SEBAGAI *POWER DIVIDER***" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) di Jurusan Fisika FMIPA ITS. Terimakasih pada-MU, ya Allah.

Penulis sadar bahwa terselesikannya studi S2 dan laporan Tesis ini adalah berkat doa dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak, ibu, dan kakak-kakakku tersayang yang selalu memberikan doa dan motivasi serta dukungannya.
2. Dirjen DIKTI yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi sampai jenjang Magister melalui program Beasiswa BPP-DN.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku dosen pembimbing pengerjaan Tesis penulis, terimakasih atas bimbingan dan arahannya baik dari segi pengetahuan, materi, dan atitut dalam belajar dan bekerja selama menempuh program Magister dan pengerjaan laporan Tesis ini.
4. Bapak Prof. Mahmud Zaki, M.Sc dan Bapak Prof. Dr. Ir. Eddy Yahya, M.Sc selaku dosen pengujiyang telah memberikan saran, kritik dan masukan guna penyempurnaan penulisan.
5. Bapak Drs. Gatut Yudoyono, MT yang telah banyak membantu dalam pengerjaan Tesis ini, dan telah bersedia menerima keluh kesah penulis dengan sabar dan bijak.

6. Dosen – dosen yang mengajar di Jurusan Fisika, FMIPA Institut teknologi sepuluh Nopember yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama studi Sarjana ini.
7. Bapak-bapak di Ruang Tata Usaha, Mas Gofar di Lab.Optik dan EM terapan, Mas Sholeh di lab. Zat Padat yang telah banyak membantu dalam proses kerja dilab.
8. Mas Setya yang selama pengerjaan Tesis ini selalu sabar mendengarkan keluh kesah penulis, dan memberi support dan wejangan- wejangan disaat penulis dalam suka dan duka.
9. Teman-teman seperjuangan Tim TiO_2 Ivan, Icangk, Hadi dan teman seperjuangan Tim Antena Ayu, Anti, kesya, ledy, frian dan termasuk penghuni yang tak terlihat terimakasih banyak untuk kerjasama selama ini.
10. Teman-teman dosen muda Ibu Fahmi, Ibu Nurisma, Ibu Iim dan Pak Fahim Matematika terimakasih akan ide-ide dan bantuannya yang tidak terduga.
11. Teman-teman seperjuangan Ofa, Aini, Umi, Meta, Zuffa, Mb Ayu, Atin dan teman pascasarjana 2013 terimakasih atas support dan canda tawanya selama ini.
12. Teman-teman di Lab Instrumentasi Fisika ITS Choirul, Okta, Intan dan Yos, trimakasih atas bantuannya selama pengerjaan Tesis ini.
13. Adik-adik S1 penghuni lab.Optik dan EM terapan serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam penellitian dan penyusunan Tesis ini.

Penulis sadar bahwa dalam pengerjaan Tesis ini masih sangat banyak sekali kekurangan, kritik dan saran sangat perlu atas kesempurnaan Tesis ini.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul **i**

Lembar Pengesahan **ii**

Abstrak **iii**

Abstact **iv**

Kata Pengantar **v**

Daftar Isi **vii**

Daftar Gambar **ix**

Daftar Tabel **xi**

Daftar Lampiran **xii**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian 3

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik dalam Pandu Gelombang Slap 5

2.2 Perambatan Helmholtz untuk Pandu Gelombang Slab Step-index Modus TE 8

2.3 Relasi Dispersi Pandu Gelombang Slab untuk Modus TE 10

2.4 *Channel Waveguide* 13

2.5 *Power Devider* Y-*branch* 14

2.6 Titanium(II)Oxide 17

2.7 MMA(*Methyl Methacrylate)* 19

2.8 Metode *spin-coating* 20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan 23

3.2.2 Bahan 23

3.2 Diagram Alir penelitian 24
3.3 Prosedur Kerja
3.3.1 Sintesis TiO_2 Nano *fasa Anatase* 26
3.3.2 Pengujian Absorbansi larutan TiO_2 dan larutan MMA 28
3.3.3 Preparasi Substrat 28
3.3.4 Fabrikasi Y-*branch* dan *Ridge* dengan *guide* TiO_2 29
a. *Waveguide Y-branch* 29
b. *Ridge Waveguide* 31
3.3.5 Karakterisasi Y-*branch* dan *Ridge guide* TiO_2 32
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisa serbuk dan koloid TiO2 nano 35
4.2 Absorbansi dan Transmisi koloid TiO2 dan MMA 38
4.3 Analisa Fabrikasi Y-branch dan Ridge Waveguide 39
4.3.1 Fabrikasi Y-branch dengan metode *Litografi* 39
4.3.2 Fabrikasi *Ridge Waveguide* dengan metode *Litografi* 44
4.4 Karakterisasi *Y-branch* dan *Ridge Waveguide* 44
4.5 Perhitungan Daya Y-branch dan Ridge Waveguide 48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 55
5.2 Saran 55
DAFTAR PUSTAKA **57**
LAMPIRAN A **61**
LAMPIRAN B **63**
LAMPIRAN C **71**
LAMPIRAN D **74**
BIODATA PENULIS **xiii**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Indeks bias dan loss penjalaran dari TiO_2 Anatase pada pandu gelombang planar ……18

Tabel 2.2 Karakteristik *Methyl Methacrylat* (MMA) 20

Tabel 4.1 Hasil pengukuran ketebalan dan lebar Guide TiO_2 47

Tabel 4.2 Nilai rata-rata intensitas output dan input pada guide TiO_2 ……51

Tabel 4.3 Hasil perhitungan loss propagation dari *channel Y-branch* dan *Ridge waveguide* …….53

Tabel 4.4 Nilai daya untuk setiap output …….54

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A …….61
Lampiran B …….63
Lampiran C …….71
Lampiran D …….74

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan *device* berbasis optika terpadu dimulai dengan penelitian di bidang material, pandu gelombang (*waveguide),* pembagi daya *(power devider)* serta pemindah daya optik *(switched). Device* berbasis optika terpadu ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan *device* yang berbasis gelombang listrik maupun gelombang mikro yaitu kemampuan pengiriman daya yang mencapai 10 Gbit/s dan bebas dari gangguan medan elektromagnetik (Surjono, 1998). *Device* ini memiliki keunggulan yang praktis dalam hal ukuran, dan lebih rendah dalam hal konsumsi daya input laser yang dibutuhkan.

Power devider merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pemrosesan sinyal optik dan sistem komunikasi serat optik. Pada pemprosesan sinyal optik seperti dalam interferometer *Mach-Zehnder* dibutuhkan pembagi daya optik yang memiliki faktor keseimbangan daya yang baik (Noguchi, 1998).

Pada *device* optika terpadu, sinyal optik dapat dibagi menjadi 1x2, 1x4, atau 1x*N*. Terdapat beberapa jenis pembagi daya antara lain Y-*branch*, *Directional coupler*, maupun *multimode interference* (MMI). Pandu gelombang Y-*branch* merupakan perangkat penting dalam rangkaian optika terpadu, yang memainkan peran sebagai *spliter* dan *recombiners* (Kazuhiko, 1985). Y-*branch* biasanya memiliki input berupa single mode yang bertahap dipisahkan oleh daerah transisi percabangan yang membagi output menjadi dua *guide* single mode. Y-*branch* memiliki rugi daya yang rendah dan keseimbangan daya yang baik hanya pada rentang panjang gelombang yang pendek (Richard, 1992).

Titanium dioxide (TiO_2) merupakan bahan semikonduktor yang memiliki titik leleh dan konstanta dielektrik yang tinggi. TiO_2 dapat digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan alat-alat elektronik dan sensor. Selain itu TiO_2 merupakan bahan yang berpotensi dalam mikrofabrikasi pandu gelombang karena memiliki indeks bias yang tinggi dan transparasi yang baik dari daerah panjang gelombang *infrared* hingga daerah panjang gelombang cahaya tampak (Furuhashi

K, 2011). Selain itu TiO_2 memiliki indeks bias nonlinier 30 kali lebih besar daripada silica. Untuk policrystal TiO_2 *anatase* lapisan tipisnya memiliki indeks bias dari 2,4 – 2,8 pada panjang gelombang *visible* dan *loss* pandu gelombang planar kurang dari 0,4 dB/cm (826 nm) (Christopher, 2013).

Fabrikasi Y-*branch* umumnya terdiri dari dua proses, proses pertama adalah pembuatan lapisan pertama, yang kedua adalah pembuatan *core* dengan bentuk *rib waveguide* yang berbentuk "Y". Umumnya proses pertama menggunakan metode *coating,* metode sol-gel dan untuk *ridge waveguide*-nya biasanya menggunakan *lithography, dry etching*, atau *laser densification* (Karasinski, 2004). Dalam penelitian ini digunakan metode *lithography* sederhana untuk pembuatan Y-*branch dan ridge* dan pelapisannya menggunakan metode *spin-coating.*

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakterisasi dari bahan untuk *guide* pada pandu gelombang Y-*branch* dan *Ridge waveguide.*
2. Bagaimana cara fabrikasi pandu gelombang Y-*branch* dan *ridge waveguide* dengan menggunakan *core* TiO_2 serta *cladding* berupa MMA (*Methyl Methacrylat)* menggunakan metode *spin-coating* dan *lithography* sederhana.
3. Bagaimana cara mengkarakterisasi pandu gelombang Y-*branch* sebagai pembagi daya serta mengetahui berapa ketebalan dari *device* yang telah difabrikasi.
4. Bagaimana memasukkan sumber cahaya laser HeNe ke dalam pandu gelombang *Y-branch* dan *ridge waveguide.*
5. Bagaimana perbandingan input dan output dari pandu gelombang Y-*branch* dan *ridge waveguide.*

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai perencanaan yang diinginkan maka diperlukan batasan-batasan untuk mempermudah analisa dalam penelitian ini meliputi:

1. Material untuk *ridge guide* adalah TiO_2 nano berfasa *anatase* dari hasil sintesis dengan precursor $TiCl_3$.
2. Substrat yang digunakan adalah kaca *corning* dengan indeks bias 1,51, *core* TiO_2 dengan indeks bias 2,4, serta *cladding* MAA berindeks bias 1,49.
3. Sumber input yang digunakan adalah Laser HeNe yang diinputkan ke *channel* Y-*branch* dengan menggunakan fiber optik *singlemode.*
4. Besarnya daya input dan output di lakukan dengan mengamati pola intensitas dari Laser HeNe yang dilewatkan pada *waveguide* yang diamati dengan mikroskop dan distribusi intensitasnya menggunakan program *scanloop*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini untuk mendesain dan memfabrikasi *channel* Y-*branch* dan *ridge waveguide* dengan menggunakan *core* TiO_2 dan *MMA* sebagai *cladding*.

Hasil akhir penelitian ini diharapkan mampu memfabrikasi *channel* Y-*branch* sebagai *power devider* dengan *loss* yang rendah dan memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem komunikasi optika terpadu.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB II
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik dalam Pandu Gelombang Slab

Dasar dari proses pemanduan gelombang pada *device* optik adalah menggunakan persamaan perambatan gelombang elektromagnetik yaitu persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell yang berlaku dalam material non konduktif adalah sebagai berikut :

$$\nabla x\vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \tag{2.1a}$$

$$\nabla x\vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \tag{2.1b}$$

$$\nabla \bullet \varepsilon\vec{E} = \rho_f \tag{2.1c}$$

$$\nabla \bullet \vec{B} = 0 \tag{2.1d}$$

Dimana : E = medan listrik (V/m)

B = medan magnet (Wb/m^2)

D = medan perpindahan

H = medan magnet (A/m)

ε = permitivitas medium

μ = permeabilitas medium

ρ_f = rapat muatan bebas

Persamaan gelombang yang menyatakan perambatan kedua medan diturunkan dari persamaan (2.1a) dan (2.1b). Dengan memanfaatkan identitas perkalian vektor $\nabla x(\nabla x\vec{E}) = \nabla(\nabla \bullet \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$ maka dapat dilakukan proses eliminasi medan H untuk mendapatkan persamaan perambatan medan E, yaitu : [Tamir, 1990]

$$\nabla^2 \vec{E} - \nabla(\nabla \bullet \vec{E}) - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \tag{2.2a}$$

dan medan H didapatkan setelah mengeliminir medan E, yaitu :

$$\nabla^2 \vec{H} - \nabla\left(\nabla \bullet \vec{H}\right) - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.2b)$$

Bahan penyusun pandu gelombang umumnya berupa dielektrik yang bersifat non magnetik, sehingga permeabilitasnya sama dengan permeabilitas ruang hampa yaitu $\mu = \mu_0$. Dengan memanfaatkan hubungan permitivitas listrik ε terhadap indeks bias bahan n dimana $\varepsilon = \varepsilon_0 n^2$, maka kecepatan fase cahaya yang merambat dalam bahan dapat dinyatakan sebagai v = c/n, dengan $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Dengan demikian Pers. (2.2a) dan Pers. (2.2b) dapat ditulis menjadi :

$$\nabla^2 \vec{E} - \nabla\left(\nabla \bullet \vec{E}\right) - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.3a)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \nabla\left(\nabla \bullet \vec{H}\right) - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.3b)$$

Mengingat bahan dielektrik tidak mengandung muatan bebas maka $\rho_f = 0$, sehingga $\nabla \bullet \vec{E} = 0$, demikian pula karena umumnya bahan dielektrik bersifat non magnetik maka $\nabla \bullet \vec{H} = 0$. Dengan mempertimbangkan kedua persyaratan ini maka Pers. (2.3a) dan (2.3b) dapat disederhanakan menjadi :

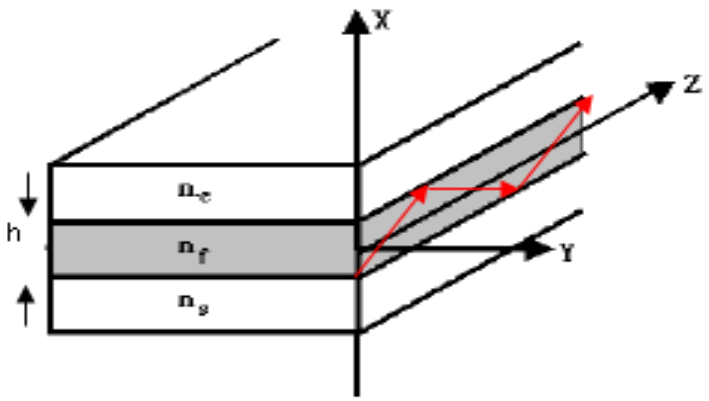
$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.4a)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.4b)$$

Suatu lapisan tipis yang dideposisikan pada suatu substrat transparan sebenarnya sudah bisa disebut sebagai pandu gelombang optik asalkan memenuhi syarat indeks biasnya lebih besar darpada indeks bias substrat. Umumnya struktur pandu gelombang terlihat seperti gambar 2.1. Dimana terdiri dari 3 lapisan yaitu substrat, *film* dan *cover* dengan indeks bias n_s n_f dan n_c dengan daerah *film* sebagai tempat transmisi cahaya. Transmisi cahaya pada daerah *film* hanya terjadi jika nilai $n_f > n_s > n_c$ dan ukuran *film*nya lebih tebal dari ukuran kritis.

Struktur pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa tebal *film* jauh lebih kecil daripada lebarnya, sehingga pada pandu gelombng slab ini pemanduan cahaya hanya terjadi dalam arah sumbu z saja. Hal ini mengakibatkan cahaya yang

terpandu dalam arah ini mengalami pelenturan muka gelombang pada arah z di sepanjang perambatanya. Untuk mengurangi efek difraksi ini, maka dalam aplikasinya selalu digunakan struktur tiga dimensi, sedemikian sehingga *loss* cahaya yang terjadi pada sumbu transversal sesuai dengan penampang masukannya. Pandu gelombang ini lazim disebut dengan pandu gelombang kanal (*chanel waveguide*) (Rubiyanto, 2003).



Gambar 2.1 Struktur pandu gelombang slab

Pemanduan pada modus TE, medan listrik yang mewakili perambatan cahaya hanya komponen ke arah sumbu y yaitu E_y, sedangkan komponen medan ke arah dua sumbu lainnya E_x dan E_y bernilai nol. Sehingga Pers. (2.4a) dapat direduksi menjadi :

$$\nabla^2 E_y - \frac{n^2}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.5)$$

Dan oleh karena E_y serbasama di sepanjang sumbu y maka $\partial / \partial y = 0$, sehingga Pers. (2.5) dapat ditulis menjadi :

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)E_y - \frac{n^2}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0 \qquad (2.6)$$

Dengan mempertimbangkan arah perambatan cahaya, maka persamaan diferensial dua dimensi dalam Pers. (2.6) dapat direduksi ke dalam persamaan diferensial satu dimensi. Mengingat cahaya tersalur di sepanjang arah sumbu z, maka fungsi gelombang berjalan yang sesuai untuk perambatan komponen medan

listrik E_y ini adalah dalam bentuk $\exp\left[j(\omega t - \beta z)\right]$, dengan ω adalah frekuensi cahaya dan β adalah tetapan propagasi efektifnya (komponen tetapan propagasi ke arah sumbu z). Dengan demikian E_y dapat ditulis dalam bentuk :

$$E_y(x,z) = E_y(x)\exp\left[j(\omega t - \beta z)\right] \tag{2.7}$$

Dari Pers. (2.7) didapatkan dua operator kesepadanan, yaitu :

$$\partial / \partial t = j\omega \qquad \partial / \partial z = -j\beta \tag{2.8}$$

Dan setelah menerapkan kedua operator kesepadanan tersebut maka Pers. (2.5) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{d^2 E_y}{dx^2} + \left[k_0{}^2 n^2(x) - \beta^2\right]E_y = 0 \tag{2.9}$$

dengan $k_0 = \omega/c$ adalah tetapan propagasi cahaya dalam ruang hampa.

Pers. (2.9) merupakan bentuk dari persamaan Helmholtz satu dimensi yang menyatakan pemanduan cahaya modus TE di dalam pandu gelombang slab. Dengan melakukan perumusan sebagaimana pada modus TE, maka persamaan Helmholtz untuk modus TM adalah :

$$\frac{d^2 H_y}{dx^2} + \left[k_0{}^2 n^2(x) - \beta^2\right]H_y = 0 \tag{2.10}$$

[Kogelnik, 1990][Rohedi, 2004]

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*). Hal ini menyebabkan Pers. (2.9) lazim dituliskan ke dalam bentuk persamaan gelombang berdiri, yaitu :

$$\frac{d^2 E_y}{dx^2} + k_{jx}{}^2 E_y = 0 \tag{2.11}$$

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

$$k_{jx} = \sqrt{k_0{}^2 n_j{}^2 - \beta^2} \tag{2.12}$$

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* [Rubiyanto, 2003][Rohedi, 2005].

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 berosilasi 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 :

$$k_{fx} = \kappa_f = \sqrt{k_0{}^2 n_f{}^2 - \beta^2} \qquad (2.13)$$

Sebaliknya karena $n_s < N$ sehingga $k_0^2 n_s^2 < \beta^2$, dengan N adalah indeks bias efek yang nilainya berada pada rentang $n_c \leq n_s < N < n_f$, maka bilangan gelombang medan listrik yang ter-*evanescent* ke daerah substrat dan kover bernilai imajiner dan dipenuhi masing – masing oleh :

$$\gamma_s = \sqrt{\beta^2 - k_0{}^2 n_s{}^2} \qquad (2.14)$$

$$\gamma_k = \sqrt{\beta^2 - k_0{}^2 n_k{}^2} \qquad (2.15)$$

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 :

$$\frac{d^2 E_{ys}}{dx^2} - \gamma_s{}^2 E_{ys} = 0 \quad \text{untuk } x \leq h/2 \qquad (2.16a)$$

$$\frac{d^2 E_{yf}}{dx^2} + \kappa_f{}^2 E_{yf} = 0 \quad \text{untuk } -h/2 \leq x \leq h/2 \qquad (2.16b)$$

$$\frac{d^2 E_{yk}}{dx^2} - \gamma_k{}^2 E_{yk} = 0 \quad \text{untuk } x \geq h/2 \qquad (2.16c)$$

Pada pandu gelombang slab, medan listrik yang ter-*evanescent* ke daerah substrat meluruh mulai dari perbatasan *film*–substrat hingga ke jauh tak berhingga, karena itu bentuk penyelesaian fisis yang sesuai adalah mematuhi fungsi eksponensial meluruh. Hal yang sama juga berlaku untuk daerah kover. Adapun

bentuk penyelesian 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 :

$$E_{ys}(x) = E_s e^{\gamma_s (x-h/2)} \qquad \text{untuk } x \le h/2 \qquad (2.17a)$$

$$E_{yf}(x) = (-1)^m E_f \cos\left[\kappa_f (x+h/2) - \phi_s\right] \qquad \text{untuk } -h/2 \le x \le h/2 \qquad (2.17b)$$

$$E_{yk}(x) = E_s e^{-\gamma_k (x+h/2)} \qquad \text{untuk } x \ge h/2 \qquad (2.17c)$$

[Rubiyanto, dkk, 2003]

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 :

$$(-1)^m \cos(\alpha) = \cos(\alpha - m\pi) \qquad (2.18)$$

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

$$E_{yf} = \cos\left[\kappa_f (x+h/2) - \phi_s - m\pi\right] \qquad (2.19)$$

dan setelah menyamakan kedua medan E_{yf} (dengan dan tanpa faktor pengali) dalam Pers. (2.17b) didapatkan hubungan :

$$\kappa_f h - \phi_s - \phi_k = m\pi \qquad (2.20)$$

Bila kedua ruas dalam Pers. (2.20) dikalikan dengan 2 maka akan diperoleh bentuk persamaan relasi dispersi moda terpandu untuk modus TE : [Rohedi, 2005][Rubiyanto dkk, 2003]

$$2k_f h - 2\phi_s - 2\phi_k = 2m\pi \qquad (2.21)$$

dengan m = 0,1,2,3.....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. (2.21) 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 $2k_fh$, 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 :

$$\phi_s = \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_s}{k_f}\right) \qquad \text{dan} \qquad \phi_k = \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_k}{k_f}\right) \tag{2.22}$$

bila Pers. (2.22) disubtitusikan ke dalam Pers. (2.21) diperoleh :

$$k_f h - \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_s}{k_f}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\gamma_k}{k_f}\right) = m\pi \tag{2.23}$$

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. Masing – masing besaran tersebut didefinisikan sebagai :

$$V = k_o h\sqrt{n_f^{\,2} - n_s^{\,2}} \tag{2.24a}$$

$$a = \frac{n_s^{\,2} - n_k^{\,2}}{n_f^{\,2} - n_s^{\,2}} \tag{2.24b}$$

$$b = \frac{N^2 - n_s^{\,2}}{n_f^{\,2} - n_s^{\,2}} \tag{2.24c}$$

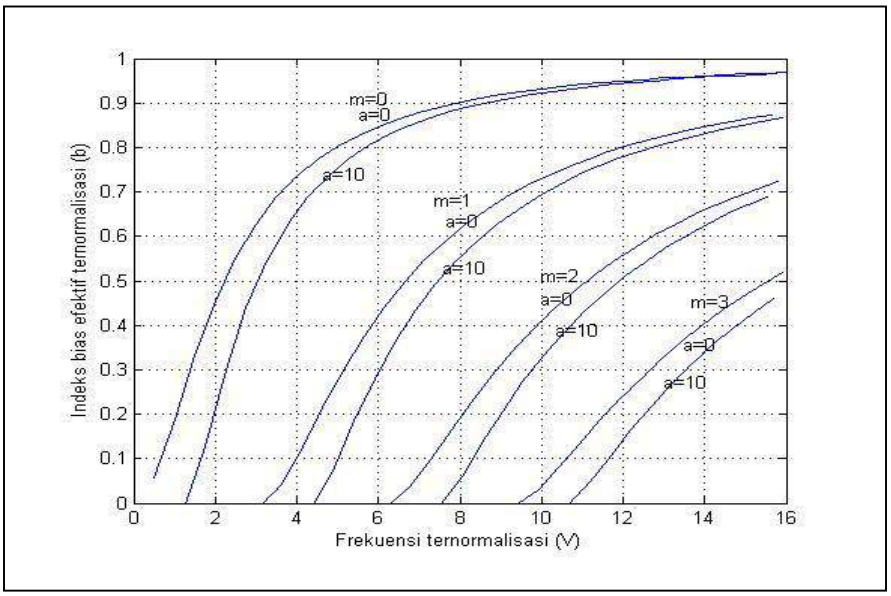
dengan $N = \beta / k_0$ adalah nilai indeks bias efektif yang nilainya berada pada rentang $nc \leq ns < N < nf$.

Untuk menghitung nilai β yang terdapat di dalam γ_k, k_f, dan γ_s pada Pers. (2.23), terlebih dahulu dinyatakan dalam besaran ternormalisasi (besaran tanpa dimensi) : [Tamir,1990][Rohedi, 2005]

$$V\sqrt{1-b} - \tan^{-1}\sqrt{\frac{b}{1-b}} - \tan^{-1}\sqrt{\frac{a+b}{1+b}} = m\pi \tag{2.25}$$

Pers. (2.25) memperlihatkan bahwa persamaan relasi dispersi pandu gelombang slab *step-indeks* membentuk persamaan tak linier, karena itu dibutuhkan metode numerik yang sesuai untuk menyelesaikannya. Metode numerik yang lazim

diimplementasikan untuk menyelesaikannya antara lain metode *Bisection*, metode *Newton-Raphson*, metode *False-Position* dan metode *Secant*. Dalam Tesis ini digunakan metode *Secant*, yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari metode *Newton-Raphson*. Penyelesaian nilai b sebagai fungsi V dan a untuk setiap orde moda m diplot dalam bentuk kurva antara V dan b seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik relasi dispersi nilai V terhadap nilai b pada pandu gelombang slab modus TE ($LiNbO_3$, λ = 1,33 μm) (Kogelnik, 1990).

Dari Pers. (2.25) dapat ditentukan nilai b. Jika nilai b didapatkan, maka dapat digunakan untuk mencari nilai β moda gelombang yang merambat pada pandu gelombang slab melalui :

$$\beta = k_0 \sqrt{b\left(n_f^{\,2} - n_s^{\,2}\right) + n_s^{\,2}} \qquad (2.26)$$

Dari Pers (2.25), dengan memberikan harga b = 0, yaitu kondisi *cut off*, pada moda dasar (m=0) maka didapatkan frekuensi *cut off* moda dasar V_0 adalah :

$$V_0 = \tan^{-1}\sqrt{a} \qquad (2.27)$$

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 (2.25)

dengan memberikan nilai b = 0, juga bisa diperoleh frekuensi *cut off* moda ke-m (Vm) yaitu :

$$Vm = \tan^{-1}\sqrt{a} + m\pi \quad \text{atau} \quad Vm = V_0 + m\pi \tag{2.28}$$

Pada Pers (2.28), untuk pandu gelombang slab simetri (a = 0) maka harga $V_0 = 0$, dan menggunakan $V = k_o h\sqrt{n_f^{\,2} - n_s^{\,2}}$ dan $k_0 = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ maka diperoleh ekspresi jumlah moda yang merambat pada pandu gelombang slab m yaitu :

$$m = \frac{2h\sqrt{n_f^{\,2} - n_s^{\,2}}}{\lambda} \tag{2.29}$$

Sedangkan tebal maksimum lapisan *film*nya dinyatakan dengan :

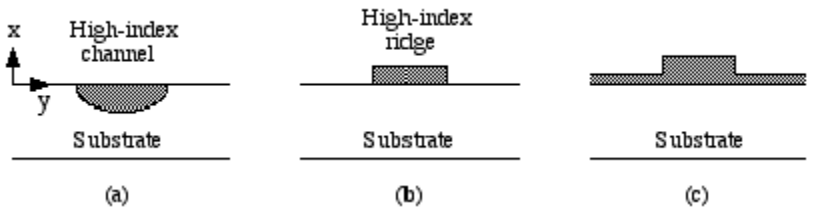
$$h_{\max} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n_f^2 - n_s^2}} \tag{2.30}$$

(Kogelnik, 1990)

2.4 *Channel Waveguide*

Tiga dasar tipe dari *channel* wave*guide* pada optika terpadu adalah berupa *buried guide*, *ridge guide*, dan *strip-loaded* atau biasa disebut *rib guide*. Ketiga jenis channel tersebut terlihat pada gambar 2.3 dibawah .

Buried waveguide merupakan jenis pandu gelombang yang tidak memiliki bentuk penampang melintang yang dapat didefinisikan dengan baik. *Buried* memiliki indeks bias yang bertingkat tepat di bawah permukaannya (*graded-index guide*). Pandu gelombang jenis ini dibuat dengan memodifikasi sifat bahan untuk menaikkan indeks biasnya.



Gambar 2.3 Tipe *channel* wave*guide* : (a) *buried*, (b) *ridge*, dan (c) *strip-loaded* (Richard, 1992)

Ridge waveguide memiliki struktur step indeks dimana nilai indeks bias *film* lebih besar daripada substrat sehingga terjadi total internal reflection. Dengan menggunakan pandu gelombang ini medan lebih banyak terpandu daripada *buried*

waveguide. Hal ini dikarenakan perubahan index bias yang sangat kecil oleh karena modifikasi bahannya yang sangat kecil (Richard, 1992).

Perbedaan indek bias antara *film* dan substrat hanyalah sepersekian persen, dan jika digunakan medium berupa udara mengakibatkan gelombnag *evanescent*nya berkurang dikarenakan indeks bias udara yang lebih kecil daripada indeks bias *film*. Yang perlu diperhatikan dalam fabrikasi *ridge* ini adalah daerah antara interface *film* dengan cover karena hal ini akan mengakibatkan *loss* radiasi dari *guide.* (Iizuka, 2002)

Untuk struktur dari *Rib waveguide* digunakan susunan tiga lapis. Yang mana lapisan petama adalah subsrat, lapisan ke-2 dan lapisan ke-3 bisa jadi adalah materil yang sama namun lapisan ke-2 berupa planar, dan lapisan ketiga berupa *ridge*. (Richard, 1992)

2.5 *Power Divider*s Y-*branch*

Power Dividers merupakan salah satu *device* optik yang berfungsi untuk membagi daya input masukan. Dalam fabrikasi *power dividers* perlu diperhatikan keakuratan pembagian dari daya input ke proporsi yang diinginkan serta *loss* minimum dari kekuatan cahaya yang dibagi.

Power dividers Y-*branch* memiliki single input dari *singlemode* yang dipisahkan oleh daerah transisi percabangan yang membatasi output menjadi dua *guide singlemode*. Gambar 2.1 menunjukkan *cross section* dari Y-*branch* . Sisi kiri dianggap diberikan satu pemandu *singlemode*, yang mana mensupport mode karakteristik dengan distribusi medan transfersal $\mathbf{E_L}$(x,y),

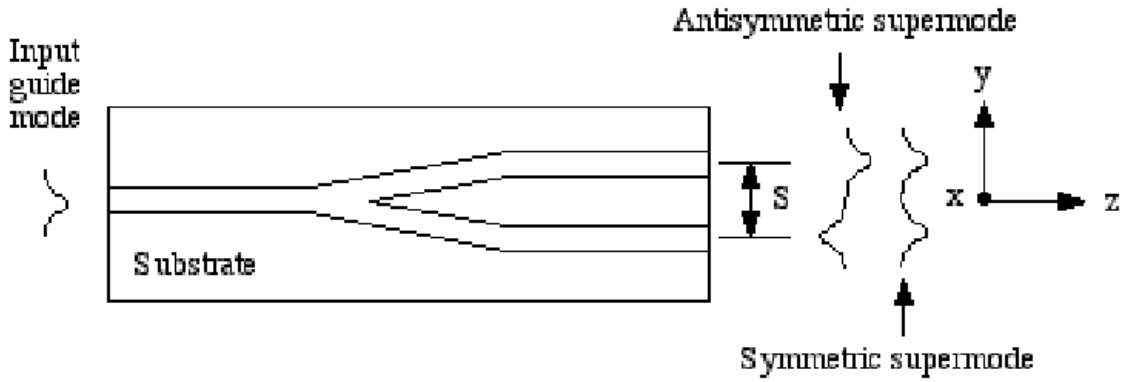
$$\overline{E}_L(x,y) = \overline{E}(x,y) \qquad (2.31)$$

Sisi sebelah kanan terdiri dari dua pemandu *singlemode* yang sama dan terpisahkan oleh jarak S. Jika didefinisikan pola medan transfersal dari *upper* dan *lower guides*, dapat ditulis seperti berikut

$$\overline{E}_{RU}(x,y) = \overline{E}(x, y - \frac{S}{2})$$

$$\overline{E}_{RL}(x,y) = \overline{E}(x, y - \frac{S}{2}) \qquad (2.32)$$

Kombinasi struktur sebelah kanan juga bias disebut sebagai *guide* composite yang mana mendukung pengaturan sendiri karakteristik moda, yang dikenal dengan *supermode*.



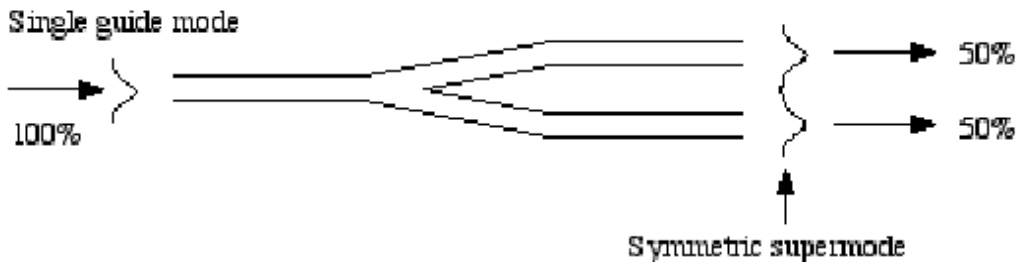
Gambar 2.4 karakterisasi moda dari sebuah *y-branch* simetris (Richard, 1992).

Pertama jika kita asumsikan bahwa ada dua *supermode* yang terpandu, kedua setiap *supermode* ditulis dengan kombinasi linier dari setiap mode individual *guide* (gambar 2.4). Di sebelah ujung kanan, kita asumsikan kombinasi strukturnya dapat disupport dua pemandu *supermode*

$$\begin{aligned} \overline{E}_{RS}(x,y) &= \overline{E}_{RU} + \overline{E}_{RL} \\ \overline{E}_{RA}(x,y) &= \overline{E}_{RU} - \overline{E}_{RL} \end{aligned} \tag{2.33}$$

Perhatikan respon input dari *single guide* pada sisi kiri, ambil titik dekat input, dimana medan transversalnya sebagai berikut

$$\overline{E}_{in}(x,y) = a_{in}\overline{E}_{L}(x,y) \tag{2.34}$$



Gambar 2.5 Eksitasi dari Y-*branch* dari kiri ke kanan (Richard, 1992).

Penjalaran daerah *taper* dapat dianalisis dengan teori *local normal mode*. Dimana input tunggal (yang mana adalah sebuah distribusi asimetris) secara bertahap akan di rubah ke *supermode* simetris di daerah transisi.

Karena *taper* itu sendiri simetris maka tidak ada moda anti-simetris apalagi anti-simetris *supermode*. Demikian juga jika nilai *taper* rendah maka tidak ada moda radiasi yang dihasilkan. Dengan kontruksi Y yang hati-hati konversi ke *supermode* simetris akan mencapai efisiensi 100%. Jika hal ini terjadi maka medan transfersalnya bias ditulis sebagai berikut

$$\overline{E}_{out}(x,y) = a_{out}\overline{E}_{RS}(x,y) \tag{2.35}$$

Dengan asumsi 100% kita bisa menghitung medan amplitudonya. Daya yang diberikan

$$P_{in} = (\frac{\beta}{2\omega\mu_0})a_{in}{}^2 < \overline{E},\overline{E} > \tag{2.36}$$

$$P_{out} = (\frac{\beta}{2\omega\mu_0})a_{out}{}^2 < \overline{E},\overline{E} > \tag{2.37}$$

Jika jarak dua *guide* itu cukup jauh, maka daya inputnya menjadi

$$\begin{aligned} P_{out} &= (\frac{\beta}{2\omega\mu_0})a_{out}{}^2\{\langle\overline{E}_{RU},\overline{E}_{RU}\rangle + \langle\overline{E}_{RL},\overline{E}_{RL}\rangle\} \\ &= 2(\frac{\beta}{2\omega\mu_0})a_{out}{}^2\langle\overline{E},\overline{E}\rangle \end{aligned} \tag{2.38}$$

Dan jika diasumsikan $\langle\overline{E}_{RU},\overline{E}_{RU}\rangle = 0$, persamaan 2.20 dan 2.21 menjadi

$$a_{out} = \frac{a_{in}}{\sqrt{2}} \tag{2.39}$$

Jika *guide* dilihat dari satu sisi atau secara individu maka persamaan 2.19 menjadi

$$\overline{E}_{out}(x,y) = (a_{in}/\sqrt{2})\overline{E}_{RU}(x,y) + (a_{in}/\sqrt{2})\overline{E}_{RL}(x,y) \tag{2.40}$$

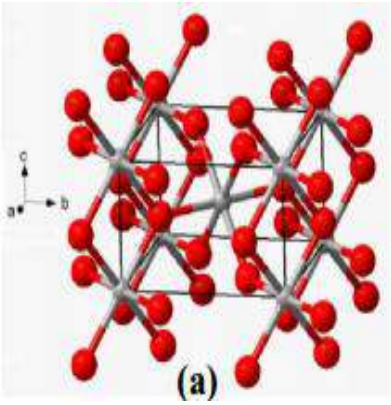
Persamaan 2.24 menjelaskan bahwa *Y-branch* membagi input daya sama antara dua pemandu di outputnya. Masing masing memiliki mode amplitude $\frac{1}{\sqrt{2}}$ kali amplitudo masukan, dan karenanya membawa $\frac{1}{2}$ daya (Richard, 1992).

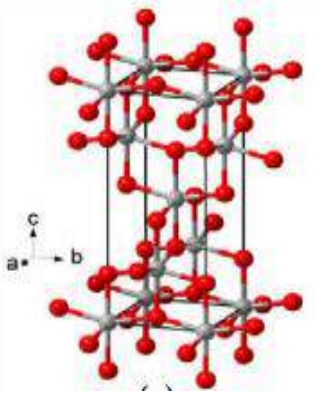
2.6 Titanium Oxide

Titanium dioksida atau *titania* (TiO_2) merupakan semikonduktor yang memiliki titik leleh dan konstantan dielektrik yang tinggi. TiO_2 dapat digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan alat- alat elektronik dan sensor. TiO_2 murni memiliki *energy gap* yang lebar (3,2-2,8 eV) sehingga hanya memiliki efisiensi fotokatalik sebesar 5% dari energy matahari (Indah, 2009).

Gambar 2.6 Serbuk Titania

Titanium dioksida merupakan senyawa yang tersusun atas ion Ti^{4+} dan O^{2-} dalam konfigurasi *oktrahedral*. Tiga macam sistem kristal TiO_2 yang dikenal adalah fasa *anatase*, *rutile* dan *brokit*, akan tetapi hanya *anatase* dan *rutile* yang mudah diamati di alam sedangkan *brokit* sulit diamati karena tidak stabil. Perbedaan mendasar antara *anatase* dan *rutile* terletak pada struktur dan pola susunan rantai oktrahedralnya, terlihat pada gambar 2.7 (Setiawati, 2008).





(b)

Gambar 2.7. Titanium dioxside (a) fasa *Anatase* (b) fasa *Rutile*

Anatase mengalami distorsi autorombik yang besar dibandingkan dengan *rutile* sehingga bentuk kristal *anatase* ini menjadi asimetris. *Anatase* memiliki bentuk geometris yang lebih mendukung untuk menyerap cahaya sehingga luasan

aktifnya menjadi lebih besar daripada *rutile* (Tjahjanto, 2001).Fasa *rutile* memiliki indeks bias anisotropic yang tinggi, serta daya hamburnya cukup kuat dalam keadaan serbuk (chiang, 1997).

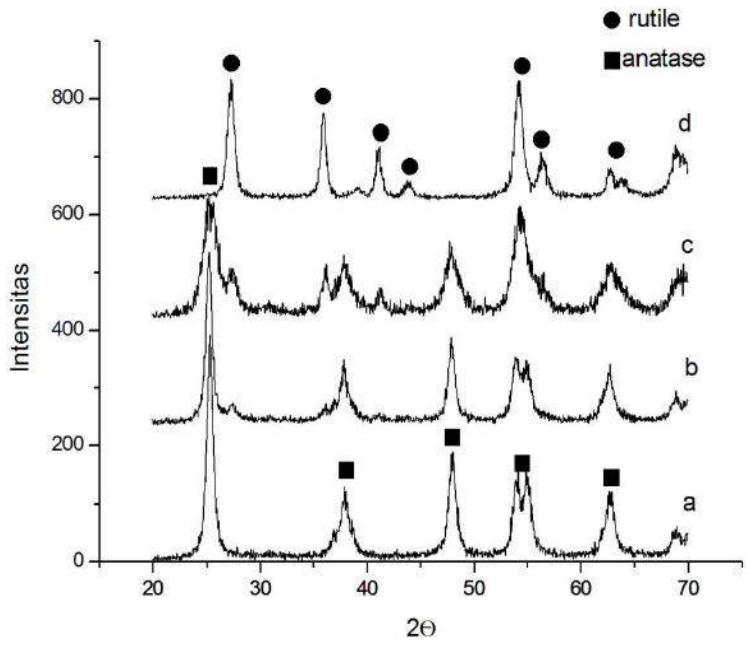
TiO_2 memiliki indeks bias yang besar jika dibandingkan dengan material metal oxide lainnya yaitu pada fasa *anatase* berkisar >2,5 dan pada fasa *rutile* >2,7. *Loss* absorpsi dari TiO_2 sekitar 10x lebih rendah daripada *silicon* pada panjang gelombang 1550 µm. Koefisien expensi termal sangat kecil dengan range dari temperatur ruangan hingga 1000ºC (Tahar, 2013). Pada table 2.1 di perlihatkan *loss* penjalaran pada TiO_2 *anatase* di pandu gelombang planar dengan ketebalan 0,25 µm. Nilai ini didapat dari hasil pengukuran menggunakan prisma copling menggunkana TE-polarization (Jonathan,2012).

Tabel 2.1. Indeks bias dan *loss* penjalaran dari TiO_2 *Anatase* pada pandu gelombang planar (Jonathan, 2012)

Panjang Gelombang (nm)	**Indeks bias**	***Loss* Penjalaran**
633	2,486	>2.0
826	2,427	2.0
1310	2,375	0.91
1550	2,366	0.42

Material TiO_2 dapat disintesis dari larutan $TiCl_3$, $TiCl_4$, dan $TiOCl_2$ dengan menggunakan metode kopresipitasi pada kondisi hidrotermal (Kakiuchi, 2006). Metode kopresipitas merupakan metode sintesis senyawa organik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya. Metode ini merupakan metogde yang paling mudah dan murah dan sintesis TiO_2. Umumnya metode ini dapat diatur dengan mengubah parameter fisik maupun kimianya, seperti suhu, pH, maupun konsentrasi reaktan (Bae, 2009). Dengan metode ini diketahui fasa yag terbentuk adalah fasa *anatase* dan *rutile*. Yang mana fasa *anatase* adalah fasa metastabil yang akan berubah menjadi fasa *rutile* juka diberi perlakuan tertentu. Gambar 2.8 menunjukkan adanya perubahan fase *anatase* ke fasa *rutile* menggunakan metode kopresipitas dengan variasi pengadukan pada 25.45, 65 dan 85 jam. Pada pengadukan 25 jam fasa yang terbentuk adalah fasa *anatase*, Pada pengadukan 45 dan 65 jam muncul dua fasa

yaitu *anatase* dan *rutile*. Munculnya fase *rutile* ini ditandai dengan berkurangnya intesitas dari fasa *anatase*. Dan pada pengadukan 85 jam fasa *anatase* menghilang digantikan fase *rutile*. (Widaryanti, 2010)



Gambar 2.8 Pola difraksi sinar-X serbuk TiO2 dengan metode kopresipits variasi pengadukan a.25 b.45 c. 65 dan 85 jam. (Widarwati, 2012)

2.7 MMA (*Methyl Methacrylate)*

Methyl Methacrylate adalah monomer untuk skala besar pembuatan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) yang merupakan bahan polimer sejenis plastik. Yang merupakan material optik yang transparan menstrasmisikan panjang gelombang *visible*, absorbsi ultravioletnya kecil sampai panjang gelombang 260 nm. Secara umum PMMA sendiri memiliki karakteristik- karakteristik seperti pada Tabel 2.2.

Dengan sifat-sifat tersebut, maka bahan ini merupakan salah satu bahan yang tepat untuk digunakan sebagai bahan pemandu gelombang (Rinawati, 2009)

Tabel 2.2 Karakteristik *Methyl Methacrylat* (MMA) (Sumber : wikipedia.org)

Sifat	
Molekul Formula	$C_5H_8O_2$
Molar massa	100.12 g mol^{-1}
Tampilan	Cairan tak berwarna
Densitas	0.94 g/cm³
Titik leleh	−48 °C (−54 °F; 225 K)
Titik Didih	101 °C (214 °F; 374 K)
Kelarutan dalam Air	1.5 g/100 ml
Viskositas	0.6 cP at 20 °C

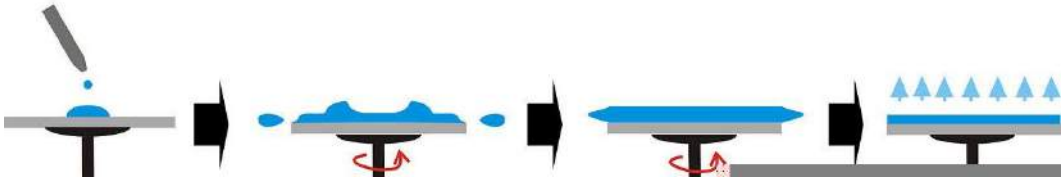
Pada keadaan larutan MMA memiliki indeks bias 1,48904 dan setelah di beri perlakuan panas akan terjadi kenaikan indeks bias yang bervariasi. Nilai indeks bias MMA yang dipolimerisasi menjadi PMMA menggunakan perlakuan panas masing-masing 1,4914 adalah pada suhu 70°C , 1,4910 pada suhu 80°C, 1,4914 dan pada suhu 90°C panjang gelombang LASER He-Ne (Tanio & Nakanishi, 2006).

2.8 Metode *spin-coating*

Spin-coating adalah suatu metode pendeposisian larutan ke pusat substrat yang kemudian diputar dengan kecepatan tertentu, sehingga larutan akan menyebar dan dapat diperoleh endapan *film* di atas substrat. Prosesnya terlihat pada Gambar 2.9, pemutaran diteruskan walaupun larutan keluar dari tepi substrat, sampai didapatkan ketebalan yang diinginkan. Semakin cepat putaran, akan diperoleh *film* yang semakin tipis. Pada umumnya ketebalan lapisan yang dihasilkan *spin coater*

bergantung pada kecepatan putar, percepatan dan viskositas cairan. Penggunaan larutan dengan viskositas yang tepat (tidak terlalu kental dan tidak terlalau encer) akan menghasilkan lapisan yang bagus.

Metode *spin-coating* menggabungkan metode fisika dan kimia biasa,



Gambar 2.9 Proses *Spin-coating*

metode ini sangat mudah dan efektif untuk membuat lapisan tipis dengan variasi ketebalan dengan mengatur parameter waktu dan kecepatan serta pemilihan bahan larutan viskositas dan densitas yang tepat. Akan tetapi metode *Spin-coating* tidak dapat diaplikasikan untuk membuat lapisan metal, karena bahan dasar dari metal tersebut sulit untuk dibentuk menjadi fase cair (Rinawati, 2009).

Dalam pendeposisian larutan ke substrat terdapat dua metode, yaitu metode *static dispense* dan *dinamic dispence*. Metode *static dispense* adalah metode yang sering digunakan dalam aplikasinya yaitu dengan dengan meneteskan karutan ke substrat, dan kemudian diputar dengan kecepatan konstan dalam waktu tertentu, tergantung kebutuhannya. Sedangakan metode *dinamic dispence* dimana larutan diteteskan ke atas substrat, kemudian diputar dengan kecepatan kecil ±500rpm, saat proses sambil ditetesi larutan ke dalam substrat. Proses ini dapat mengurangi terbuanganya larutan yang digunakan dan jika pada saat pendeposisian tersebut terdapat rongga di lapisan hal ini bisa diatasi. Setelah larutan telah terdoposisi diperlukan *drying* untuk menghilangkan pelarut yang mungkin masih terdapat di lapisan. Suhu drying bergantung pada titik didih pelarut yang digunakan, karena itu dalam aplikasinya perlu diperhatikan substrat yang digunakan apakah bisa digunakan pada suhu *drying* tersebut.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagi berikut:

- Gelas Beker
- Pipet Tetes
- Substrat Kaca
- Cawan petri
- Magnetik *Stirer & Hotplat*
- Magnetik Bar
- Kuvet
- Neraca Digital
- Mikroskop Optik
- Fiber Optik *Single Mode*
- Laser HeNe
- *Personal Computer*
- Lampu Halogen 20 Watt
- Dimmer Lamp
- *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis*
- SEM (*Scanning Elektron Microscope*)
- pH meter
- *Furnice*
- *Crusibel*
- *Alumunium Foil*
- Lampu UV 9 Watt

3.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

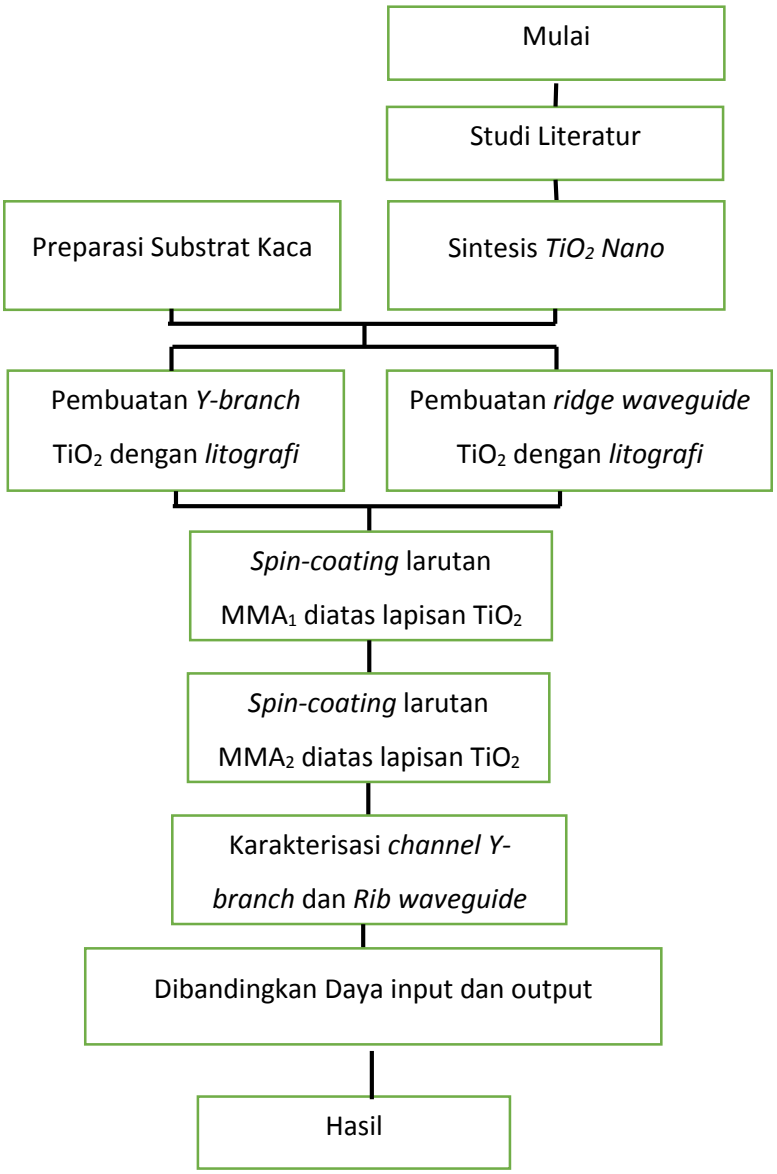
- *Aquades*
- $TiCl_3$ 15% Merck
- NH_4OH 28,9%
- MMA (*Methyl Methacrylate*)
- Alkohol 70%
- Aseton
- *Positif 20 photoresist*
- Substrat Kaca *corning*
- NaOH
- *Terpineol*
- *Etyll Collulose*

3.2 Diagram Alir penelitian

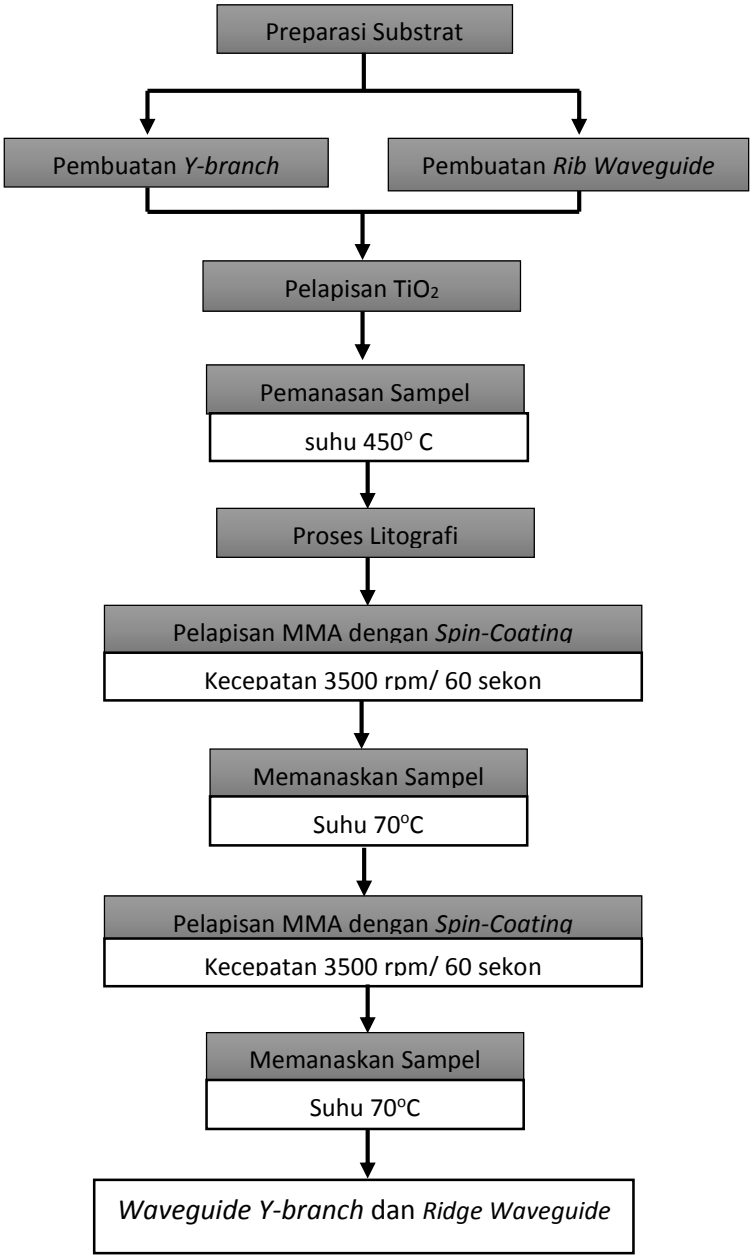
Langkah- langkah utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sintesis TiO_2 nano dengan fasa *anatase*, menggunakan *precursor* $TiCl_3$ dengan variasi pengadukan 5 jam.
2. Fabrikasi *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* dengan *cladding* MMA dan *core* TiO_2
3. Karakterisasi *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* dengan membandingkan daya input dan output dari *waveguide.*

   Langkah-langkah diatas dibagi lagi menjadi beberapa tahap sesuai dengan alur penelitian pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian



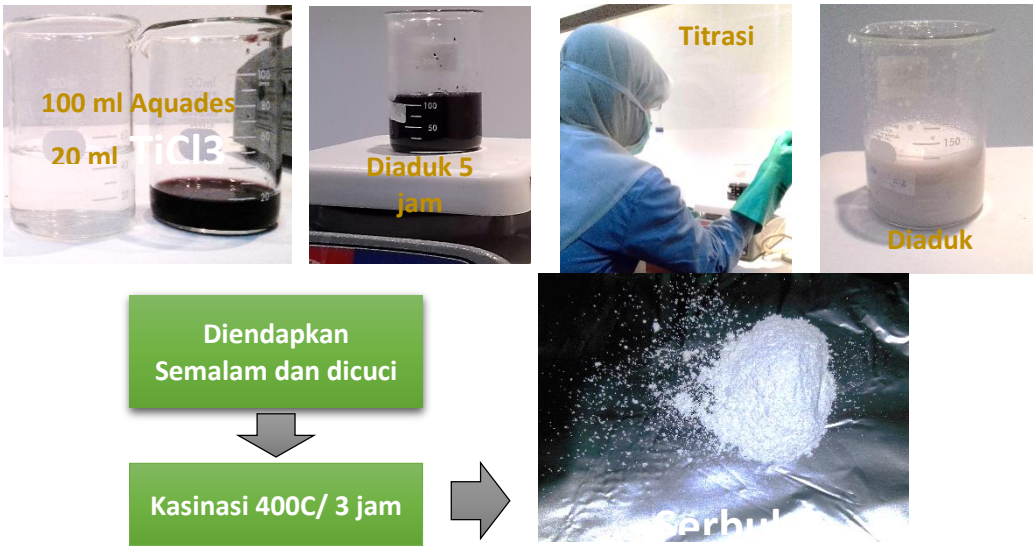
Gambar 3.2 Diagram Alir Fabrikasi *Y-branch* dan *Ridge Waveguide*

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Sintesis *TiO_2 Nano* dan Koloid TiO_2

Sintesis *TiO_2 nano* dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitas dengan variasi pengadukan, untuk menghasilkan *TiO_2 nano* dengan fasa *anatase* digunakan lama pengadukan 5 jam. Proses pertama adalah larutan $TiCl_3$ *15% Merck* 20 ml dicampur dengan aquades 100 ml dalam gelas beker 100 ml, dan diaduk

diatas magnetic *stirer hotplat* pada suhu kamar selama 5 jam. Kemudian dilakukan titrasi NH_4OH dengan menggunakan pipet tetes, sambil diaduk sampai larutan mencapai pH 9-10. Pengukuran pH menggunakan pH mater, kemudian larutan diaduk hingga warna larutan menjadi putih. Warna putih pada larutan ini menandakan bahwa larutan sudah terlarut sempurna dan homogen. Kemudian larutan diendapkan semalam, setelah terbentuk presipitat putih endapan dicuci dengan aguades hingga pH larutan 7 dan tidak berbau. Setelah proses pencucian selesai presipitat di kalsinasi dengan temperature 400ºC selama 3 jam (Widayanti, 2012).



Gambar 3.3 Proses sintesis TiO_2 Nano

Koloid TiO_2 dibuat dengan melarutkan *Ethyl cellulose* ($[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OC_2H_5)_x]_n$) dan *Terpineol* ($C_{10}H_{18}O$) dengan perbandingan 1 : 0,5 : 14, yang mana *Terpineol* merupakan pelarut dari TiO_2 sedangkan *Ethyl cellulose* merupakan binder pengikatnya (A.Hosseini, 2013). *Ethyl cellulose* ($[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}$

Gambar 3.4 Koloid TiO_2

$(OC_2H_5)_x]_n$) merupakan bahan termoplastik, dengan *softening point* dari 140°-170°C dan *melthing point* dari 160°-210°C, terurai pada temperatur di atas 200°C (Rogovin, 1972).

Kemudian ketiga material tersebut diaduk 1 jam menggunakan *magnetic stirrer hotplat* yang ada di laboratorium Optoelektronika dan EM Terapan. Lamanya waktu pengadukan diindikasikan dengan larutan yang mulai terlarut dan tidak bisa dibedakan antara zat terlarut dan pelarut. Kelarutan koloid TiO_2 sangat mempengaruhi proses fabrikasi lapisan yang akan dilakukan. Karena jika larutan yang dihasilkan tidak homogen maka lapisan yang dihasilkan tidak merata, dan jika binder yang digunakan tidak sesuai akan mengakibatkan lapisan TiO_2 tidak menempel pada substrat.

3.3.3 Pengujian Absorbansi dan Transmitansi Koloid TiO_2 dan Larutan MMA

Pengujian absorbansi dan transmitansi dari koloid TiO_2 dan larutan MMA dilakukan menggunakan *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis* yang ada di laboraturium Fisika Bahan Jurusan Fiska ITS. Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui rentang panjang gelombang yang sesuai agar cahaya bisa ditransmisikan ke dalam guide TiO_2.

Gambar 3.5 *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis*

3.3.3 Preparasi Substrat

Preparasi substrat kaca *corning* dilakukan dengan memotong substrat kaca dengan dimensi 1 x 1 cm, 2 x 2 cm dengan ketebalan kaca 1 mm. Substrat yang digunakan adalah *Coarning glass Engle XG*, yang memiliki tidak memiliki

kandungan logam berat (*arsen, antimony, barium*, atau *halide*). Kurangnya logam berat ini membuat kaca *coarning* ramah terhadap lingkungan. Kaca *coarning* ini digunakan karena kaca ini memiliki sifat termal yang baik yaitu dapat bertahan hingga suhu 675°C dengan indeks bias 1,5078 pada panjang gelombang 643,8 nm. (www.abrisatechnologies.com) Karena ketahanan pada suhu tinggi ini *coarning glass* digunakan, hal ini di perlukan karena lapisan TiO_2 yang difabrikasi memerlukan suhu yang yang relative tinggi yaitu 450°C untuk pemanasannya.

Substrat yang telah dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm dengan ketebalan kaca 1 mm, pertama dibersihkan dengan deterjen, hal ini dilakukan untuk menghilangkan minyak yang melekat pada kaca, kemudian kaca dikeringkan. Proses kedua adalah pembersihan substrat dengan menggunkan *Ultrasonic Cleaner* yang ada di Laboratorium Zat Padat Fisika-ITS selama 1 jam, dimana dalam hal ini substrat di rendam dalam larutan alkohol 90% kemudian dimasukkan kedalam perangkat *Ultrasonic Cleaner*. Penggunaan *Ultrasinic Cleaner* ini bertujuan untuk membersihkan partikel–partikel yang menempel pada kaca, setelah substrat dikeringkan dan siap digunakan.

3.3.4 Fabrikasi *Y-branch* dan *Ridge* dengan *Guide* TiO_2

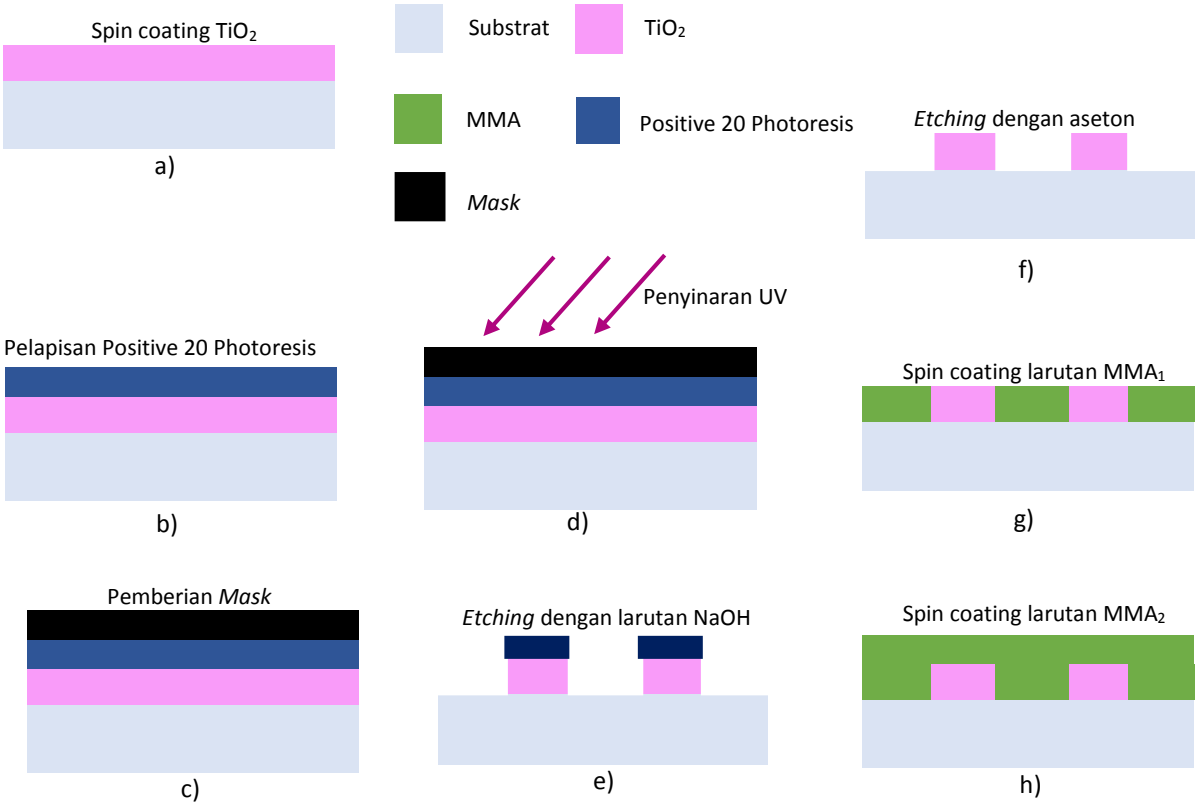
a. *Waveguide Y-branch*

Fabrikasi *Y-branch* dilakukan menggunakan metode *lithograpy* seperti skema Gambar 3.7 dibawah. Proses ini menggunakan bantuan penyinaran lampu UV dan *positif 20 photoresist*. Proses fabrikasi ini menggunakan gabungan antara proses *spin coating* dengan *lithograpy.*

Proses pertama yang dilakukan adalah dengan melapiskan lapisan TiO_2 ke atas substrat dengan menggunakan perangkat *spin-coating* yang ada di Laboratorium Optoele ktronika dan EM terapan Fisika-ITS. Larutan TiO2 yang telah dibuat di teteskan ke atas subtrat pada perangkat *spin-coating* yang ada di Laboratorium Optik dan EM Terapan, dengan kecepatan 2000 rpm/30 sekon. Setelah terlapisi, lapisan dipanaskan dengan suhu 450°C diatas *stirer hotplate* untuk menghilangkan pelarut yang digunakan pada TiO2.

Proses selanjutnya merupakan proses *lithograpy* yaitu menggunakan *positive 20 photoresist*, proses ini harus dilakukan dengan kondisi ruangan yang gelap karena sifat *positive 20 photoresist* yang peka terhadap cahaya. Pelapisan ini menggunakan metode spray, setelah dilakukan pelapisan, lapisan perlu di *dry* dengan suhu 70^0 C selama 20 menit.

Kemudian dilakukan pembuatan *mask*, *mask* yang dibuat menggunakan kertas kalkir yang sudah dicetak polanya. Pola tersebut dibuat dengan menggunakan program *Designer 9.0* dengan lebar jalur adalah 0,5 mm. Gambar pola *mask* yang digunakan seperti pada Gambar 3.8 terdiri dari 2 pola yaitu *Ridge* dan *Y-branch*.

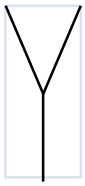


Gambar 3.6 Proses fabrikasi *channel* Y-*branch* dengan menggunakan Litografi

Pemberian *mask* dilakukan dengan menempelkan *mask* ke atas lapisan *positif 20 photoresist*. Lapisan yang telah diberi *mask* disinari dengan lampu UV 9 Watt . Proses penyinaran ini dilakukan selama 15 menit dengan jarak lampu UV ke lapisan adalah ±10 cm, kemudian setelah 15 menit dilakukan *etching* dengan larutan NaOH

10 % (*developer* dari *positive 20 photoresist*) selama 60 detik sambil digoyang-goyang, setelah itu dibilas dengan aquades dan dikeringkan. Jika jalur yang dibutuhkan sudah terbentuk, lapisan TiO_2 yang tidak digunakan dihapus, sehingga yang tertinggal adalah lapisan TiO_2 yang diatasnya terdapat lapisan *positif 20 photoresist* dengan jalur yang sesuai pola terlindungi. Kemudian dilakukan pembersihan *positif 20 photoresist* dengan meredam sampel ke dalam larutan aseton, sekitar 15 sekon.

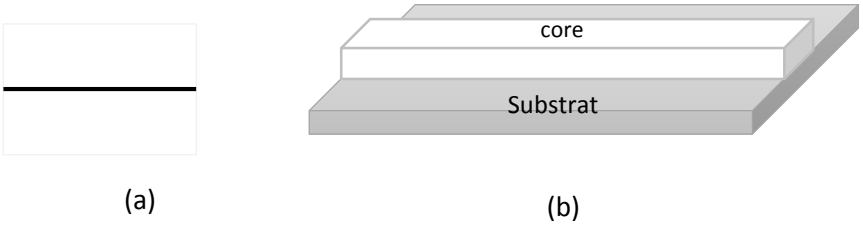
Jalur TiO_2 yang telah terbentuk kemudian dilapisi lagi dengan lapisan MMA. Pelapisan MMA ini dilakukan 2 kali, agar lapisan MMA benar – benar menutup Guide TiO_2 , sehingga MMA bisa berfungsi sebagai *cladding* bagi TiO_2. Pelapisan MMA menggunakan metode *spin-coating* yang mana larutan MMA di teteskan ke atas substrat yang telah terlapisi TiO_2. Proses ini dilakukan dengan kecepatan putar spin 2000rpm/60 sekon, kemudian dilakukan pemanasan dengan suhu 70°C selama 15 menit.



Gambar 3.7 Bentuk *masker Y-branch*

a. *Ridge Waveguide*

Pembuatan *Ridge waveguide* sama dengan proses pembuatan *Y-branch* diatas, namun yang berbeda adalah bentuk *mask*er yang digunakan. Disini bentuk *mask*ernya harus sesuai dengan bentuk *Ridge waveguide*. Desain *Ridge waveguide* terlihat seperti gambar 3.9 dibawah. Hasil fabrikasi dari *Ridge waveguide* ini akan dikarakterisasi dengan penyinaran menggunakan laser dan dilihat morfologinya menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope).*



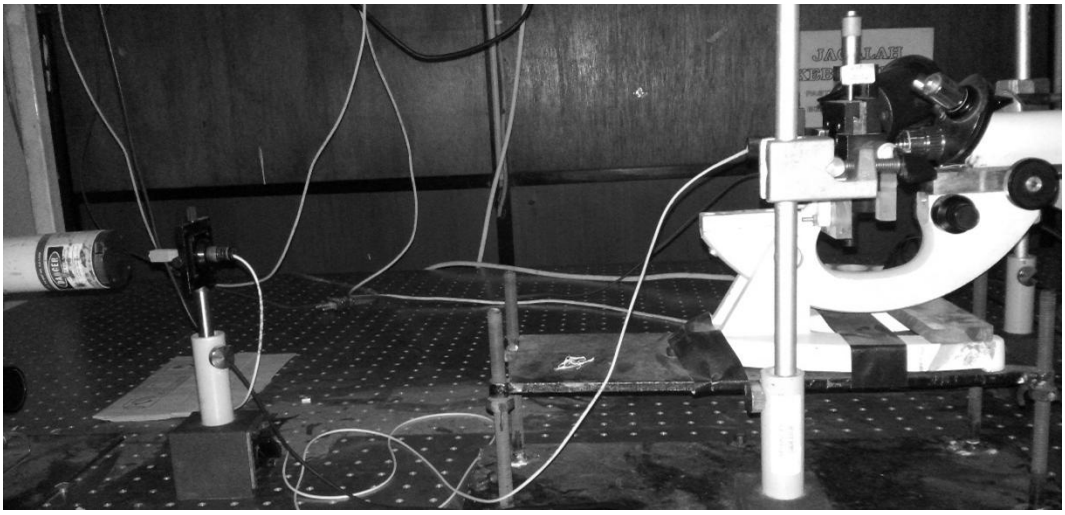
Gambar 3.8 *Ridge Waveguide* a) Desain *mask*er *Ridge waveguide* b) Struktur *Ridge waveguide*

3.3.5 Karakterisasi Y-*branch* dan *Ridge guide* TiO_2

Proses karakterisasi ini dilakukan di Laboratorium Optoelektronika dan EM terapan Jurusan Fisika FMIPA ITS. Pengukuran ketebalan lapisan MMA, lebar dan kedalaman *channel Y-branch* dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan objek di lensa okulernya dilihat menggunakan mikroskop webcam. Bayangan pada lensa okuler akan diperbesar dengan mikroskop wabcam dan hasilnya bisa langsung dilihat dengan menggunakan PC. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan kalibrasi perbandingan pixel dan pergeseran skala dalam satuan mikro. Pada bagian samping diberikan pencahayaan lampu halogen yang bisa diatur intensitasnya sampai objek terlihat jelas pada PC.

Selain menggunakan mikroskop, ketebalan lapisan, dan ketebalan *channel Y-branch* diklarifikasi dengan menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope)* di Lab Pusat Universitas Negeri Malang.

Karakterisasi input dan output pada *channel y-branch* dilakukan dengan rangkaian seperti pada Gambar 3.7. Dimana Sinar laser HeNe di masukkan kedalam fiber optik *singlemode*, kemudian dimasukkan kedalam *channel y-branch*. Keluaran dari divais ini diamati dengan mikroskop *webcam* yang dihubungkan dengan PC. Untuk menganalisa gambar tersebut digunakan software *Scanloop* sehingga diperoleh pola distibusi intensitasnya.



Gambar 3.9 Set Up Karakterisasi *channel Y-branch* dan *ridge waveguide*

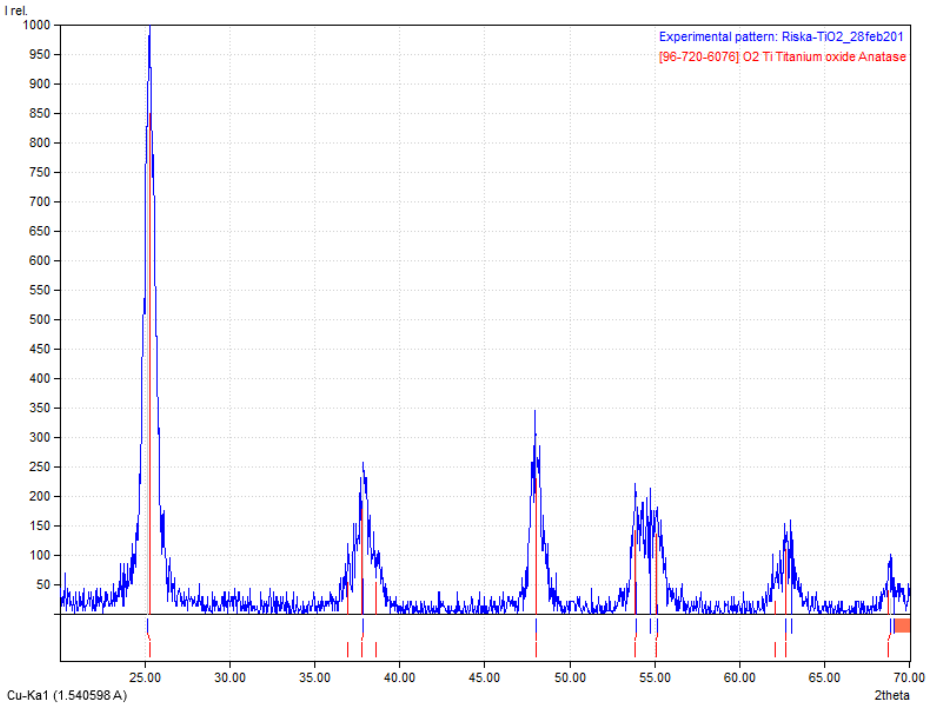
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa serbuk dan koloid TiO2 nano

Dari hasil sintesis serbuk TiO_2 dilakukan uji *XRD (Diffractometer Sinar-X*) untuk mengetahui fasa yang muncul. Fasa yang diharapkan dan akan digunakan dalam penelitian ini adalah fasa *anatase* . Karena *anatase* memiliki bentuk geometris yang lebih mendukung untuk menyerap cahaya sehingga luasan aktifnya menjadi lebih besar



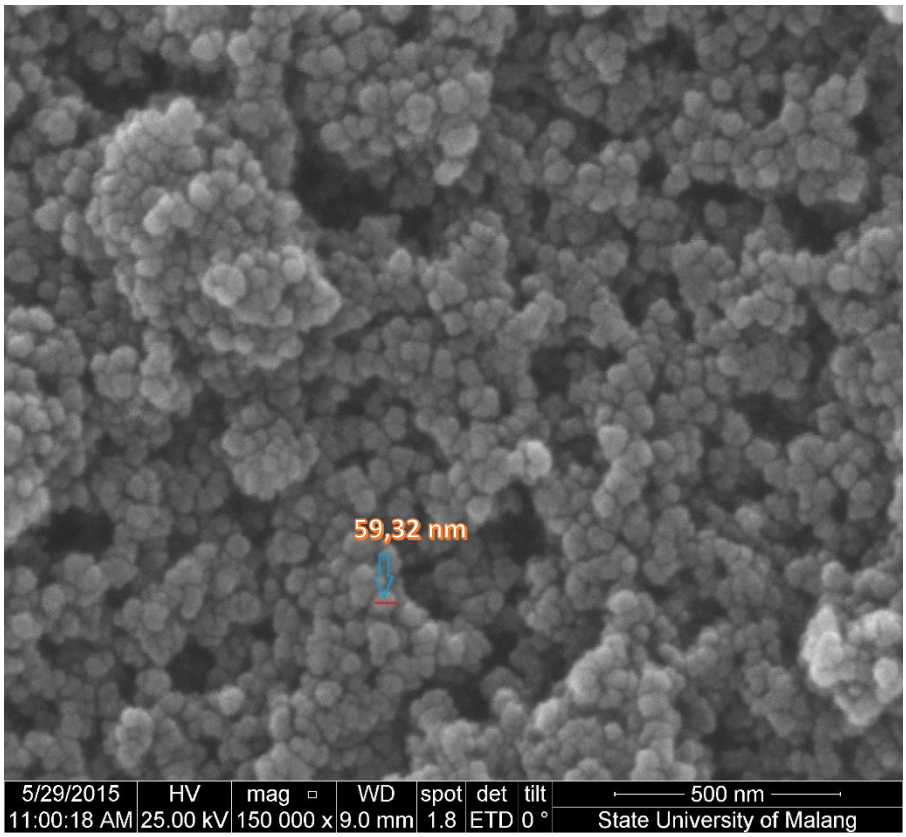
Gambar 4.1 Hasil XRD dari TiO_2 dengan metode kopresipitas dengan pengadukan 5 jam

daripada *rutile*. Selain itu fasa *anatase* dapat di sintesis dengan suhu yang relative rendah daripada pada fasa *rutile* yaitu pada suhu 400^0C sudah terbentuk fasa ini. Fasa *anatase* ini memiliki nilai indeks bias dari 2,4 – 2,8 pada daerah panjang gelombang tampak. Serta memiliki *loss* transmitansi yang rendah pada pandu gelombang planar 0,4 dB/cm (826 nm) (Christopher, 2013).

Serbuk TiO_2 yang disintesis menggunakan larutan $TiCl_3$ dengan menggunakan metode kopresipitas, dengan larutan $TiCl_3$ 20 ml dicampurkan aquades 100 ml dan kemudian dilakukan proses pengadukan selama 5 jam, pengadukan selama 5 jam ini untuk mendapatkan *fasa anatase*. Jika waktu proses pengadukan $TiCl_3$ ditambahkan akan terjadi transformasi fasa menjadi *fasa rutile*, *transformasi fasa* ini terjadi mulai terjadi pada pengadukan >25jam (Widayati, 2012).

Dari hasil uji XRD yang di lakukan di *LPPM ITS* diperoleh hasil seperti pada Gambar 4.1. Untuk menganalisa fasa yang terbentuk pada TiO_2 tersebut dilakukan dengan menggunakan software *Match*. Software ini mencari dan mencocokkan hasil uji XRD dengan datasheet yang ada. Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari program *Match*. Penentuan jenis fasa TiO_2 yang dihasilkan didasarkan pada keserasian letak puncak sudut (2θ) tertentu dengan data sheet yang ada. Dari analisa *Match* di dapatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *anatase*.

Untuk mengetahui ukuran Kristal dari material TiO_2 digunakan program *MAUD (Materials Analysis Using Diffraction)* dan dilakukan uji *SEM* untuk melihat morfologi material dan ukuran butirnya. Dari hasil running program *MAUD* di dapatkan nilai ukuran butir dari TiO2 adalah sebesar 11,4 nm dengan error 0,3%.



Gambar 4.2 Hasil SEM permukaan lapisan TiO_2

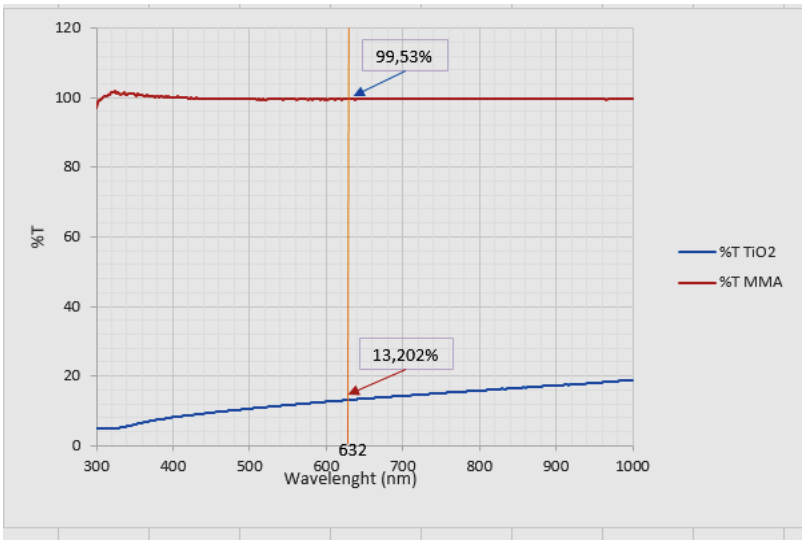
Sedangkan jika diamati dengan menggunakan SEM, terlihat bahwa ukuran butir dari TiO_2 adalah ±59,32 nm, hal ini dimungkinkan terjadi aglomerasi pada kristal – kristal TiO_2 sehingga ukuran butirnya menjadi besar. Aglomerasi merupakan proses penggabungan partikel-partikel kristal, aglomerasi merupakan suatu proses yang bisa jadi diharapkan dan bisa jadi tidak diharapkan. Terkadang hal ini dihindari karena dalam kristalisasi struktur aglomeratnya lebih rapuh daripada struktur kristalnya (Fachry, 2008). Dalam proses ini aglomerasi memberikan kerugian karena aglomerisasi disini membuat ukuran butirnya semakin besar dan mengakibatkan

lapisan yang dibuat tidak homogen. Selain itu dengan adanya ukuran butir yang besar lebih memungkinkan terjadinya *scattering* atau hamburan, yang mengganggu proses *propagation* cahaya. *Scattering* ini juga di sebabkan adanya *porus* pada partikel TiO_2 yang ditunjukkan dengan adanya pori-pori antar- dan *inter-agregat* dan membuat lapisan menjadi *crack*. Hal ini lah yang menyebabkan terjadinya hamburan besar pada *waveguide* yang akibatnya dapat menyebabkan perluasan *resonance band* (Zhang, 2012).

4.2 Absorbansi dan Transmisi koloid TiO2 dan MMA

Hasil uji transmitansi pada koloid TiO_2 dan larutan MMA dilakukan menggunakan *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis* seperti terlihat pada gambar 3.3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa rentang panjang gelombang yang ditransmisikan adalah pada daerah *visible* pada ±300 nm – 1000 nm. Pada material TiO_2 nilai transmitansi ini meningkat dengan meningkatnya nilai panjang gelombang. Sedangkan untuk MMA nilainya relative konstan. Sehingga dalam penelitian ini dapat digunakan sumber laser HeNe dengan panjang gelombang ± 632 nm. Dengan nilai % transmitansi dari koloid TiO_2 adalah 13,202 % sedangkan untuk MMA adalah 99,53%

.



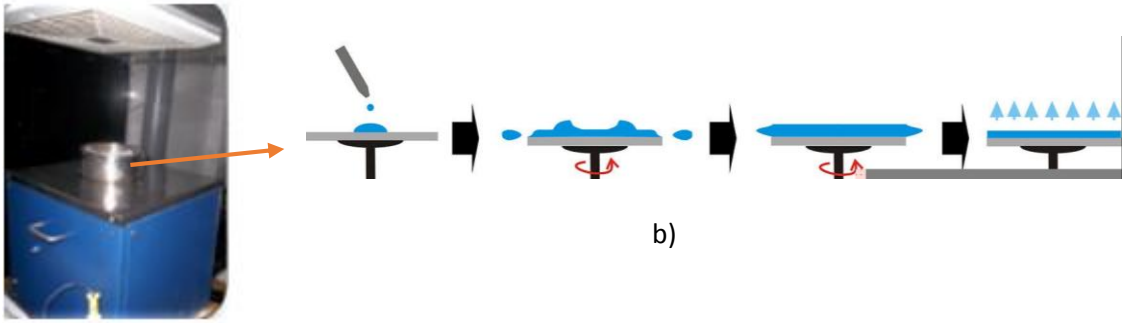
Gambar 4.3 Hasil uji transmitansi koloid TiO_2 dan larutan MMA

4.3 Analisa Fabrikasi *Y-branch* dan *Ridge Waveguide*

4.3.1 Fabrikasi *Y-branch* dengan metode *Lithography*

Proses fabrikasi *Y-branch* ini dilakukan dengan menggunakan metode *lithography* dan proses pelapisannya menggunakan metode *spin-coating*. Metode *lithography* ini memanfaatkan sinar UV dan photo*mask* untuk membuat jalur *Y-branch*. *Photomask* yang digunakan adalah *positive 20 photoresist* dan *mask*-nya digunakan kertas kalkir yang telah dilakukan printing model jalur diatasnya.

Proses pelapisannya dengan menggunakan metode *spin coting* seperti pada Gambar 4.5. Sebelum dilakukan pelapisan harus dipastikan substrat yang digunakan harus bersih dari kotoran dan debu. Bersih tidaknya substrat akan mempengaruhi hasil pelapisan, sehingga sebelum digunakan dilakukan preparasi substrat seperti pada Bab 3.3.3



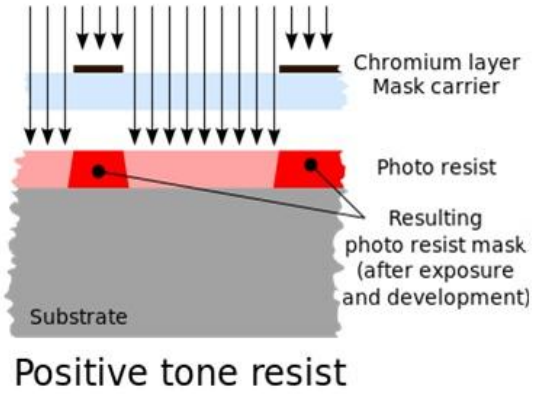
Gambar 4.4 Proses *Spin-Coating* a) Perangkat *Spin-coating* b) Proses pelapisan dengan *spin-coating*

Lapisan TiO_2 yang telah dilakukan dengan metode *spin-coating* kemudian 450°C diatas stirer *hot plate*. Pemanasan 450°C ini bertujuan agar pelarut dan *binder* hilang sempurna dan terjadi *recrystalisasi* substrat. Saat pemanasan diatas 200°C, substrat berubah menjadi *amorf*, dan jika dilakukan penambahan temperature maka akan terjadi masa transisi sehingga substrat menyusun ulang kembali. Saat proses

pemanasan ini lapisan yang di fabrikasi juga mengalami perubahan warna dari putih→coklat→putih, hal ini dikarenakan terjadi proses hilangnya pelarut dan *binder* yang ditandakan dengan warna coklat karena *binder* dan pelarut berada pada titik leburnya, kemudian putih kembali yang menandakan lapisan yang tersisa adalah murni lapisan TiO_2

Gambar 4.5 Proses pelapisan TiO_2

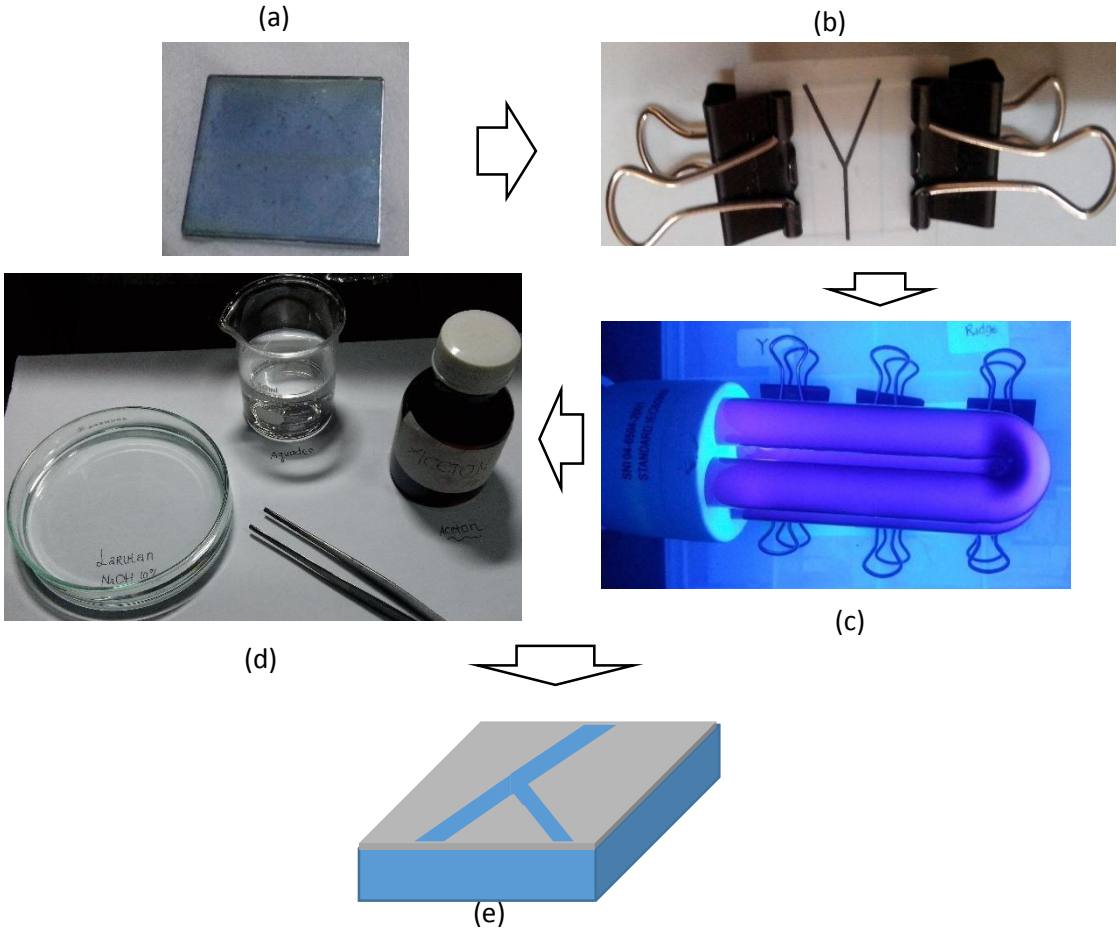
Selanjutnya setelah substrat terlapisi dengan lapisan TiO_2 dilakukan pelapisan dengan *Positif 20 photoresist photoresist* dengan metode spray di atas lapisan TiO_2. Setelah itu lapisan yang telah terlapisi photoresist dipanaskan dengan temperature 70°C selama 20 menit, di usahakan agar temperaturnya konstan, karena jika temperature lebih dari 70°C akan merusak lapisan yang telah terbentuk. Setelah dilakukan pelapisan dengan photoresist ini, lapisan tidak boleh terkena sinar matahari,hal ini dikarenakan



Gambar 4.6 Proses Photoresist (www.ece.gatech.edu)

sifat *phothoresist* yang peka terhadap cahaya terutama sinar UV, sehingga proses ini dilakukan dalam ruangan gelap dengan pencahayaan seminimal mungkin.

Photoresist positif merupakan material yang sensitive terhadap sinar UV dan digunakan untuk membuat lapisan yang berpola pada permukaannya. Pada *positive resist* lapisan yang terbentuk adalah lapisan yang tertutup dengan *mask* (tidak terkena sinar UV). Dan bagian yang terkena sinar UV menjadi larut dengan *developer* dan bagian yang tertutup akan tetap ada, terlihat seperti Gambar 4.7. Hal ini terjadi karena paparan sinar UV mengubah struktur kimia dari resist sehingga menjadi lebih mudah larut dengan *developer*. (www.ece.gatech.edu)



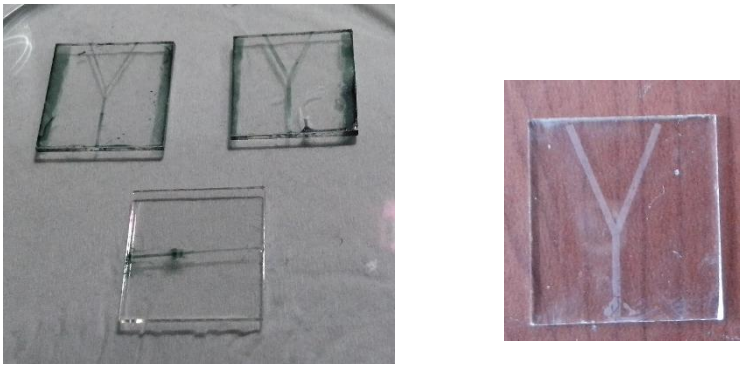
Gambar 4.7 Proses *Lithography*

(a) Lapisan yang telah dilapisi *positif 20 photoresist* photoresist (b) *mask* (c) penyinaran dengan lampu (d) UV proses developer lapisan (e) Hasil develop lapisan

Setelah terlapisi dengan photoresist maka dilakukan penyinaran UV dengan menggunakan lampu UV 9 watt, dan dilakukan dalam ruangan gelap. Sebelum itu lapisan yang telah terbentuk diberi *mask* seperti pada Gambar 4.8. *Mask* yang digunakan adalah pola yang dibuat di atas kertas kalkir, sebelumnya telah digunakan film negative untuk *mask*nya, namun dengan daya lampu UV 9 Watt, sinar UV tersebut tidak bisa menembus daerah yang tidak berpola, sehingga digunakan kertas kalkir. *Mask* yang digunakan memiliki lebar 500 µm dengan sudut percabangan 55°. Penyinaran lapisan dilakukan ±15 menit , kemudian setelah 15 menit dilakukan *etching*

dengan larutan NaOH 10 % (*developer* dari positive 20 photoresist) selama 60 detik sambil digoyang-goyang, setelah itu dibilas dengan aquades dan dikeringkan.

Hasil dari proses *etching* (*develop*) ini adalah lapisan seperti pada Gambar 4.8 (e) masih tersisa lapisan TiO_2 dan daerah lapisan *positif 20 photoresist* diatas lapisan TiO_2 yang tidak terkena sinar UV yang berbentuk sesuai *mask* yang diberikan. Setelah terbentuk lapisan dengan pola "Y" diatas lapisan TiO_2 dilakukan pembuangan TiO_2 yang tidak digunakan, yaitu bagian yang tidak tertutup lapisan *positif 20 photoresist*. Pembuangan lapisan ini dilakukan dengan membersikannya dengan air mengalir dan diusap dengan tisu, TiO_2 disini mudah hilang karena proses pemanasan yang diberikan sebelumnya yang mengakibatkan bindernya menghilang, sehingga TiO_2 tidak merekat sempurna pada substrat. Setelah itu dilakukan penghapusan lapisan *positif 20 photoresist* yang melapisi TiO_2 dengan larutan aseton, prosesnya hanya dilakukan perendaman selama ±2 detik, langsung diangkat dan dikeringkan. Hasil dari proses ini seperti terlihat pada Gambar 4.9.



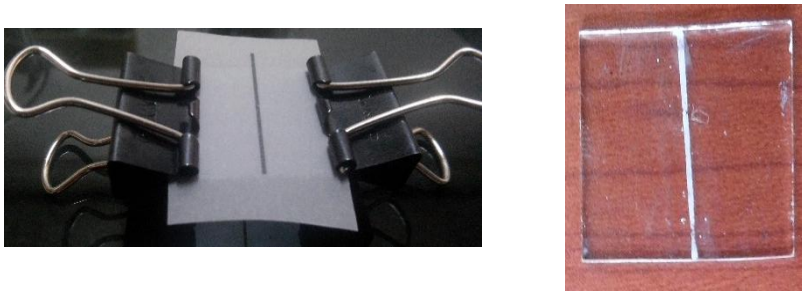
(a) (b)

Gambar 4.9 Hasil Proses *Lithography*
(a) Hasil pembuangan TiO_2 yang tidak diperlukan (b) Lapisan TiO_2 yang telah terbentuk *guide*

Proses selanjutnya adalah dengan melapisi lapisan *Y-branch* TiO_2 tersebut dengan MMA. Pemberian lapisan MMA berperan sebagai *cladding* sehingga indeks biasnya harus lebih rendah daripada indeks bias *core*, dengan indeks bias MMA adalah 1,49.

4.3.2 Fabrikasi *Ridge Waveguide* dengan metode *Lithography*

Proses fabrikasi *Ridge waveguide* ini sama dengan proses pembuatan *Y-branch waveguide* yang dibahas sebelumnya. Hanya yang membedakan disini adalah *mask* yang digunakan. *Mask* yang digunakan disini berbentuk garis lurus dengan lebar garisnya 0,5 mm. Sebenarnya dalam pembuatannya dilakukan variasi dalam pembuatannya. Namun hasil yang paling optimal didapatkan pada lebar baris 0,5 mm. *Mask* dan hasil yang digunakan dalam fabrikasi *ridge waveguide* ini seperti terlihat pada gambar 4.10.



(a) (b)

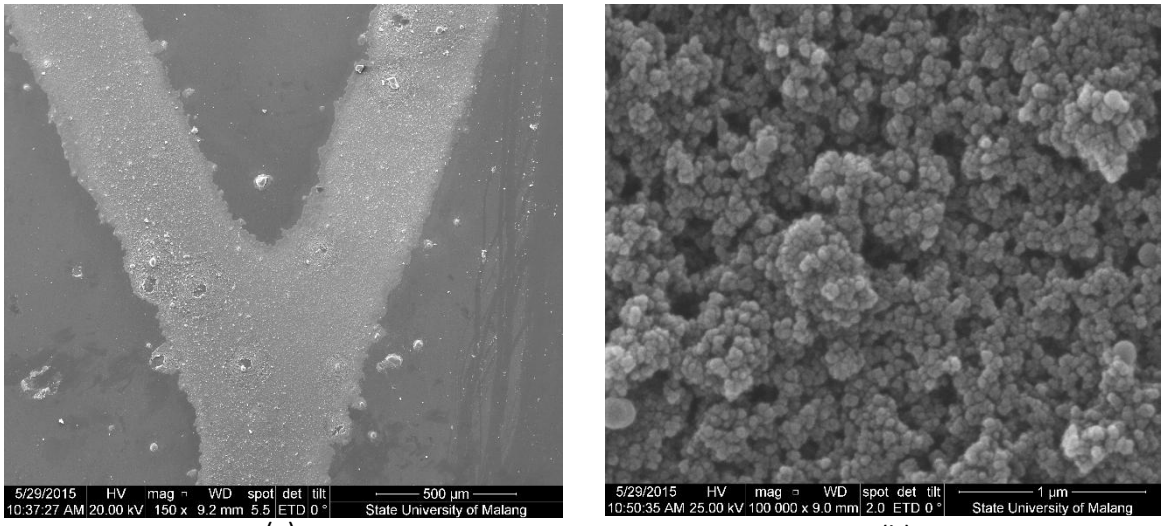
Gambar 4.10 *Ridge waveguide* (a) *Mask Ridge Waveguide* (b) Hasil *lithography ridge waveguide*

4.4 Karakterisasi *Y-branch* dan *Ridge Waveguide*

Y-branch dan *Ridge Waveguide* yang telah difabrikasi dikarakterisasi ketebalan dan morfologinya dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM. Sampel yang telah di buat masing – masing adalah 3 sampel untuk *Y –branch* dengan kode Y1, Y2, dan Y3 sedangkan untuk *ridge* adalah R1, R2, dan R3. Dari hasil SEM yang dilakukan hasilnya ditampilkan pada Gambar 4.11, Gambar (a) menunjukkan bahwa hasil fabrikasi ini belum bisa optimal, dan masih ada cacat yang diakibatkan proses pelapisan yang kurang merata. Serta proses *etching* nya kurang sempurna sehingga daerah tepiannya menjadi kurang sempurna. Hal ini bisa mengakibatkan terjadinya *loss propagation* pada *channel Y-branch* ini. Namun hal ini tidak dapat dihindari, dikarena dalam fabrikasi ini proses fabrikasi yang dilakukan secara manual membuat banyak error, jika dilakukan ulang dengan waktu yang berbeda bisa jadi akan di dapatkan hasil

yang berbeda pula. Sehingga perlu dikondisikan saat proses fabrikasi harus pada keadaan yang sama, untuk mengurangi faktor-faktor luar dari lingkungan.

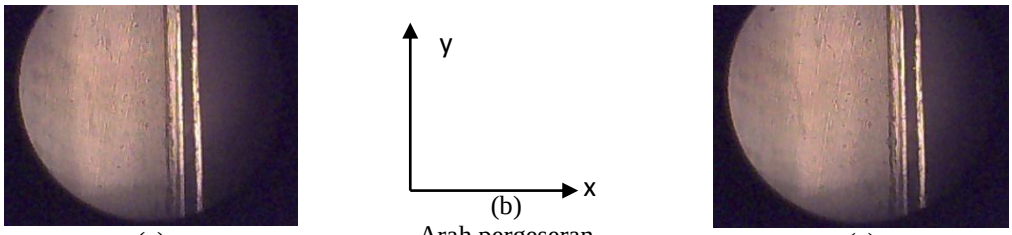
Pada Gambar 4.12 (b) terlihat bahwa *guide* TiO_2 yang di bentuk memiliki *porus* yang lumayan besar. Yang memungkinkan *loss* daya yang dihasilkan pada *channel waveguide* besar. Untuk hasil SEM *ridge waveguide* hasilnya menyerupai dengan *Y-branch* namun dengan pola yang berbeda.



(a) (b)

Gambar 4.12. Morfologi *guide* TiO_2 pada *channel Y-branch* (a) Permukaan *channel Y-branch* (b) Permukaan *Channel Y-branch* dengan perbesaran 150K

Ketebalan dari lapisan diukur menggunakan mikroskop yang terhubung dengan komputer, dengan digunakan metode pergeseran pixel. Untuk setiap sampel diambil nilai input dan ouputnya. Contoh gambar hasil pergeseran sampel diperlihatkan pada gambar berikut :



(a)
Sampel sebelum digeser

(b)
Arah pergeseran

(c)
Sampel setelah digeser

Gambar 4.13 Pergeseran sampel

Untuk setiap sampel yang sama, diambil dua gambar untuk menghitung ketebalan dengan cara melakukan pergeseran sampel yang diukur dengan mikrometer yang telah terintegrasi pada mikroskop. Dalam percobaan ini sampel digeser sebesar 50μm, horizontal, searah sumbu x. Gambar 4.13 (a) adalah gambar sebelum dilakukan pergeseran, sedangkan Gambar 4.13 (c) merupakan gambar setelah dilakukan pergeseran. Akibat adanya pergeseran tersebut, untuk titik dengan posisi pada sumbu y yang sama, akan mengalami pergeseran pixel pada arah sumbu x (Rinawati, 2009).

Adapun cara penentuan ketebalan sesuai dengan metodologi penelitian, dan contoh cara perhitungan ketebalan dari masing-masing lapisan adalah sebagai berikut :

- Contoh perhitungan untuk mengetahui nilai satu pixel gambar

$$1 \text{ pixel} = \frac{pergeseransampel}{pergeseranpixel} (\mu m)$$

$$= \frac{50}{702 - 574} (\mu m)$$

$$= \frac{50}{48} (\mu m) = 1{,}04\ \mu m$$

- Contoh perhitungan untuk mengetahui ketebalan lapisan

  Tebal lapisan = [(pixel bawah - pixel atas) x nilai 1 pixel]

  = [(658-628) x 1,04 μm)]

  = (28 x 1,04μm)

  = 29,12 μm

Dan hasil perhitungan tersebut ditampikan pada Tabel 4.1. Dari hasil pengukuran ketebalan dan lebar *guide* TiO_2 ini didapat nilai yang berbeda. Untuk nilai ketebalan hal ini dipengaruhi oleh proses *spin-coating* yang dilakukan saat pelapisan, dimana waktu dan kecepatan putar *spin-coating*. Setiap fabrikasi dengan proses ini di optimalkan kondisinya sesuai dan sama untuk setiap sampel, yaitu dengan kecepatan 2000rpm/60 sekon dengan menggunakan metode *dinamic dispense* dimana metode ini pemberian larutan ke substrat dilakukan saat *spin-coating* perputar dengan kecepatan rendah. Metode ini memang memberi keuntungan jika ada rongga pada lapisan hal ini dapat diatasi. Namun dengan metode ini jarang mendapatkan ketebalan yang sama walaupun dilakukan dengan kecepatan dan jumlah larutan yang sama.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran ketebalan dan lebar *Guide* TiO_2 dengan cara pergeseran pixel

	Nama Sampel	**Ketebalan *guide* TiO2 (μm)**		**Lebar *guide* TiO2 (μm)**
Y-branch	Y1	Kanan	29,12	603,2
		Kiri	14,56	630,24
	Y2	Kanan	13,2	664,2
		Kiri	19,8	508,8
	Y3	Kanan	33,32	1078,14
		Kiri	29,75	954,38
Ridge Waveguide	R1	38,22		481,43
	R2	34,54		672.66
	R3	24,98		676,54

Untuk nilai lebar *guide* yang berbeda ini dikarenakan lebar dari *guide* bergantung pada lebar *mask*, proses penyinaran UV, serta *etching* dan developer . Dalam hal ini waktu penyinaran harus sangat diperhatikan karena jika terlalu lama

maka dikhawatirkan sinar UV tersebut dapat menembus *mask*, dan mengakibatkan lapisan resist terpengaruh. Posisi peletakan sampel juga harus diperhatikan, posisi sampelnya di usahakan agar tepat berada dibawah lampu. Seharusnya nilai lebar *guide* haruslah sama dengan nilai lebar *mask* yang diberikan, namun dari hasil pada tabel 4.1 menunjukkan perbedaan, dengan lebar *mask*nya adalah 500 µm., kemungkinan besar hal ini dikarenakan proses *etching* dan penghapusan TiO_2 yang kurang sempurna.

Dari data ketebalan *guide* tersebut dapat diketahui apakah *waveguide* yang difabrikasi adalah single mode ataukah multi mode. Untuk itu dicari nilai maksimal untuk ketinggian (tebal *guide*) agar memenuhi syarat single mode dengan menggunakan persamaan (2.30) sebagai berikut :

- $h_{\max} = \dfrac{\lambda}{2\sqrt{n_f^2 - n_s^2}}$

$$h_{max} = \frac{633}{2\sqrt{2{,}4^2 - 1{,}5078^2}}$$

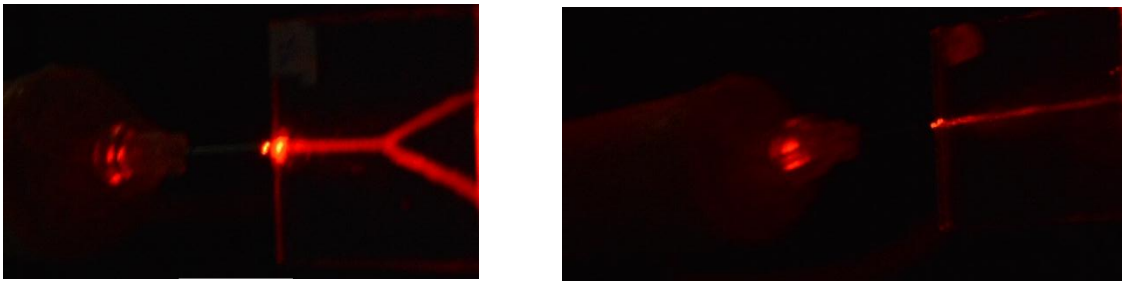
$$= \frac{633}{3{,}735} = 169{,}5\ nm = 1{,}695\ \mu m$$

Dari hasil tersebut terlihat jelas bahwa sampel yang telah dibuat adalah *multi mode* karena nilai ketebalan atau tinggi maksimalnya jelas jauh lebih besar daripada sampel yang telah dibuat.

4.5 Perhitungan Daya *Y-branch* dan *Ridge Waveguide*

Channel Y-branch dan *Ridge Waveguide* yang telah difabrikasi diamati menggunakan mikroskop yang terhubung dengan komputer, dengan sumber cahayanya menggunakan Laser HeNe yang di transmisikan dengan menggunakan fiber optik single mode dengan *core* ± 12µm. Penggunaan fiber optik disini untuk mengurangi daya keluaran dari laser HeNe. Laser HeNe memiliki panjang gelombang 632,8 nm dalam rentang panjang gelombang *visible* dan berwarna merah. Laser HeNe yang keluar dari fiber optik digunakan sebagai input dari *waveguide*, dan diamati terlebih

dahulu seperti pada Gambar 4.14. Dalam setiap pengambilan data untuk setiap sampel harus dilakukan pengambilan data input, hal ini dilakukan untuk menghindari adanya perubahan intensitas keluaran dari laser HeNe yang dikibatkan oleh pergeseran fiber optik maupun lensanya walaupun proses pengambilan data ini dilakukan diatas meja getar.

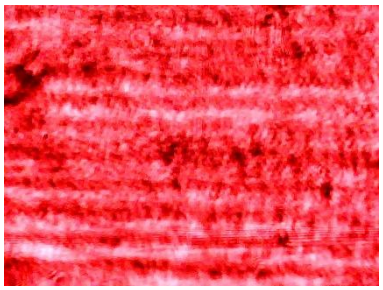


(a) (b)

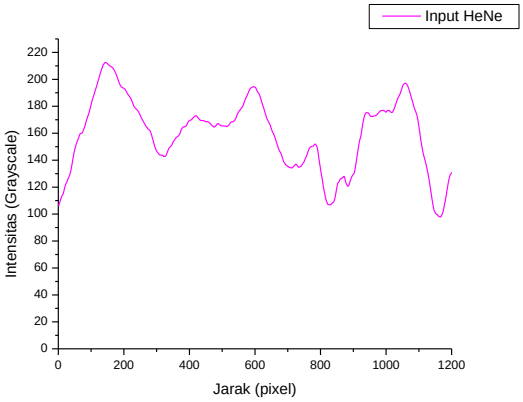
Gambar 4.14 Propagasi Laser HeNe (a) *Channel Y-branch* (b) *Ridge Waveguide*

Gambar 4.14 menunjukkan penjalaran Laser HeNe pada *channel Y-branch* dan pada *ridge waveguide*. Cahaya yang datang dari fiber optik *single mode* dipandu ke dalam lapisan di sebalah kanan, dan mengalami penjalaran kearah percabangan. Terlihat bahwa cahaya terbagi ke percabangan walaupun terlihat tidak sempurna.

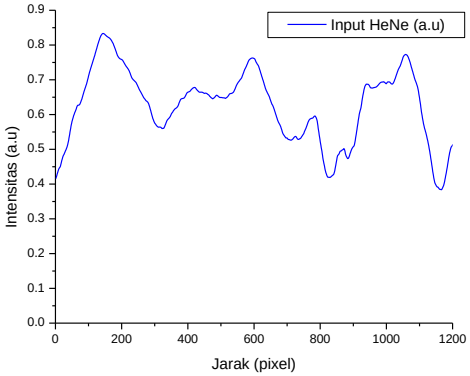
Hasil dari pengambilan data nilai intensitas terlihat seperti Gambar 4.15 (a), yang merupakan salah satu contoh dari sumber pada saat pengambilan sample Y3 untuk *Y-branch waveguide*. Untuk data keseluruhan gambar sampel terdapat di Lampiran D. Dari Gambar 4 (b) terlihat bahwa intensitas rata-rata 156.9 , gambar ini merupakan nilai intensitas dalam *greyscale* yang dinormalisasi dengan membagi seluruh titik data terhadap nilai tertinggi dalam citra *grayscale* yaitu 255. Dan dalam eksperimen ini semua nilai di normalisasi dehingga memiliki satuan *arbitrary unit (a.u).* Satuan ini digunakan untuk membandingkan hasil eksperimen dengan simulasi karena pada eksperimen alat ukur yang digunakan adalah citra dari kamera, dan tidak menggunakan *optical power meter*. (Sahodo, 2013) Sedangkan Gambar 4 (c) menunjukkan intensitas ternomalisasi setelah dibagi dengan 255. Dan untuk selanjutnya setiap data digunakan nilai intensitas yang telah ternormalisasi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.15 Input laser HeNe (a) input laser HeNe (b) Hasil pengolahan grayscale dari program scanloop (C) Hasil Normalisasi intensitas

Pengambilan data nilai intensitas untuk *ridge waveguide* untuk setiap sampel diambil nilai input dan outputnya. Output dari *ridge waveguide* hanya terdiri dari satu keluaran, karena bentuk dari *guide*nya hanya berupa garis lurus. Data nilai intensitas input dan outputnya di tampilkan pada Tabel 4.2 . Nilai dalam Table 4.2 merupakan nilai rata-rata intensitas *ridge waveguide* dan juga *Y-branch*, dari hasil tersebut diperoleh bahwa nilai input R1 = 0,209 a.u dan nilai output R1 = 0,093 a.u,

Karena daya adalah

$$P = \frac{I}{A}$$

Dengan P adalah daya, I intensitas hasil pengukuran, dan A merupakan luasan .Daya yang di hasilkan dari pengukuran diukur menggunakan integral luasan dari daerah dibawah kurva, dengan hasil integral untuk setiap kurva seperti ditunjukkan pada tabel 4.2. Dan untuk setiap kurva output dan input di lampirkan pada Lampiran B. Untuk mendapatkan nilai *loss* daya *propagation* digunakan perhitungan sederhana seperti berikut

$$loos\ transmisi = \frac{input - output}{input}\ x\ 100\%$$

$$loss\ transmisi\ R1 = \frac{268.572 - 118.8848}{268.572}\ x100\%$$

$$Loss\ transmisi\ R1 = 55{,}73\%$$

sehingga *loss* intensitas transmisinya adalah 55,73% untuk sampel R1. Untuk nilai *loss* sampel R2 dan R3 dilakukan perhitungan yang sama seperti diatas. Dan diperoleh nilai *loss propagation* untuk R2 = 60,67% dan untuk R3 = 55,36%.

Sedangkan untuk nilai *loss propagation* dari *channel Y-branch* sedikit berbeda karena *waveguide* ini merupakan percabangan dan memiliki dua output. Sehingga tidak bisa dilakukan perhitungan seperti pada *ridge waveguide*. Pada *channel Y-branch* yang

sempurna dan tanpa *loss* nilai outputnya adalah masing-masing 50% dari nilai input. Sehingga dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$Loss\ transmisi\ Y - branch\ kanan = \frac{\frac{input}{2} - output\ kanan}{input}$$

$$Loss\ transmisi\ Y1\ kanan\ = \frac{\frac{786{,}94}{2} - 49{,}8907}{786{,}94}\ x\ 100\%$$

$$= 0{,}4366\ x\ 100\%$$

$$= 43{,}66\ \%$$

Hasil perhitungan *loss propagation* untuk setiap sampel di tampilkan pada Tabel 4.3. Dari hasil tersebut diperoleh nilai *loss propagation* yang tinggi dimana rata-ratanya adalah sekitar 43 %. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor. Sumber-sumber *loss propagation* bisa disebabkan karena *absorption*, *bending loss*, *scattering* dari material serta *boundary imperfections* (Richard, 1993). Dan semua penyebab *loss* tersebut bervariasi bergantung pada sifat material yang digunakan, dalam hal ini material TiO_2. Pada pembahasan diatas bagian 4.4 telah dijelaskan bahwa adanya porus yang terjadi pada *guide* dapat mengakibatkan *scattering*, dan hal ini benar terjadi pada *guide* TiO_2 terbukti dengan nilai *loss* yang tinggi, serta dari hasil pola distribusi intensitas, terlihat bahwa distribusinya menyebar. Porusitas ini mengakibatkan adanya penyebaran pada partikel-partikel TiO_2 sehingga mengakibatkan nilai *loss*nya yang besar. Dari hasil SEM pada Gambar 4.14 terlihat pula bahwa terdapat cacat dalam proses fabrikasinya, sehingga *loss* yang dihasilkan ini besar diakibatkan oleh cacat pada lapisan TiO_2

Tabel 4.2 Nilai rata-rata Intensitas output dan input serta Daya pada *guide* TiO_2

Intensitas (a.u)			Rata-Rata	Daya (a.u)
Input	Y3		0.615	786.94
	Y2		0.608	777.27
	Y1		0.083	786.94
	R1		0.209	268.57
	R2		0.216	275.89
	R3		0.656	839.72
Output	Y3	kanan	0.039	49.89
		kiri	0.04	51.43
	Y2	Kanan	0.039	49.86
		Kiri	0.038	48.16
	Y1	Kanan	0.036	49.89
		Kiri	0.038	51.44
	R1		0.093	118.88
	R2		0.085	108.50
	R3		0.293	374.82

Tujuan di fabrikasinya *ridge waveguide* adalah untuk membandingkan *loss guide* TiO_2 *waveguide* dengan saat diberi percabangan adalah untuk mengetahui besarnya *loss* yang disebabkan oleh *guide* dengan menggunakan material TiO_2 dan kemudian dibandingkan dengan hasil pada *channel Y-branch*. Karena *loss* penjalaran TiO_2 akan menurun sebesar (2 dB/cm) namun dengan keadaan lapisan TiO_2 adalah *homogeny*, *sparse* dan tipis (Furuhashi, 2011).

Tabel 4.3 Hasil perhitungan *loss propagation* dari *channel Y-branch* dan *Ridge waveguide*

Nama Sampel		*Loss* daya (%)
R1		55.73461
R2		60.67224
R3		55.36431
Y3	kanan	43.66017
	kiri	43.46382
Y2	Kanan	43.58588
	Kiri	43.58588
Y1	Kanan	43.66017
	Kiri	43.46382

Loss yang besar pada *Y-branch* ini selain disebabkan karena masalah material seperti di bahas di atas juga dikarenakan sudut pada daerah percabangan yang besar yaitu 55^0. Untuk mendapatkan *loss* daya kurang dari 1dB maka sudut percabangannya harus kurang dari 1°, jika lebih dari itu akan terjadi *restriction* daya sehingga *devider* akan membutuhkan waktu yang lama jika output portnya menjadi terpisah dari kopling ke sebuah perangkat *external* (Iizuka, 2002).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil fabrikasi dan karakterisasi yang telah dilakukan , maka di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Channel Y-branch* dan *ridge waveguide* telah berhasil difabrikasi dengan metode *lithography*, metode ini menggunakan *positif 20 phothoresist* serta metode *spin-coating* untuk proses pelapisannya.
2. Material TiO_2 yang digunakan berfasa *anatase* dengan ukuran nano kristal yaitu sebesar 11,4 nm.
3. Fabrikasi dengan metode *lithography* ini menghasilkan *channel Y-branch* dan *ridge waveguide* yang bersifat *multi mode*, dengan ketebalan terendah 13,2 µm, lebar *guide* terendah 481,425 µm, dan sudut percabangan 55°.
4. Fabrikasi *Channel Y-branch* dan *ridge waveguide* dengan ukuran ketebalan mikrostruktur ini mampu memandukan cahaya laser HeNe dengan panjang gelombang 632,8 nm
5. Nilai *loss* daya dari *channel Y-branch* TiO_2 sebesar 43,46 %, sedangkan untuk *ridge waveguide* adalah *loss* dayanya sebesar 55,36 %.

5.2 Saran

Proses fabrikasi dan penelitian selanjutnya penulis menyarankan agar meningkatkan proses *lithography* dengan menggunakan *photoresist negative* dan memaksimalkan proses penyinaran UV dengan menggunakan daya lampu yang lebih besar, serta dilakukan optimasi pada sudut percabangan sehingga mengurangi *loss* dipercabangan. Porositas yang besar dapat dikurangi dengan menggunakan material TiO_2 berbentuk *gel* sehingga morfologinya lebih rapat, dan juga perlu ditinjau ulang

pengenai proses *drying* yang menggunakan suhu rendah. penggunaan sumber input pada panjang gelombang 1550 nm perlu dilakukan untuk mendapakan *loss* yang rendah berdasarkan referensi.

DAFTAR PUSTAKA

A.Hosseini. K.C Icli, H.H.Gullu.,(2013), *Preparation and characterization of porous TiO_2 thin film by sol-gel method for Extremely Thin Absorber-EAT solar cell applications.* Turkish Journal of Science & Technology Volume 8(2), 69-79.

Bae, E., Ohno, T.,(2009), *Exposed crystal surface-controlled rutile TiO2 nanorods prepared by hydrothermal treatment in the presence of poly(vinyl pyrrolidone).* Applied Catalysis B: Environmental 91, 634–639.

Chiang, Y.-M., P. Birnie, D., Kingery, W.D., (1997). *Physical Ceramics Principles for Ceramics Science and Engineering*. John Wiley & Sons.

Furuhashi K.,dkk (2011).”Developmnent of Microfabricated TiO_2 channel Waveguides”, *AIP Advances*, 032102.

Fachry, Rasyidi, A., Juliyadi Tumanggor.,Ni Putu Endah Y, L., (2008), “Pengaruh Waktu Kristalisasi Dengan Proses Pendiginan Terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat Dari Larutannya”, *Jurnal Teknik Kimia*, No.2, Vol.15.

Griffiths, D.J.(1999), *Introduction to Electromagnetics,* Prenstice Hall, New Jersey.

Kogelnik. H, (1990), "*Theory of Optical Waveguides in Guided-Wave Optoelectronics* ", Theodor Tamir, Springer-Verlag.

Intan, A.A.,(2009), “Distribusi Celah Pita Energi Titania Kotor”, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi,. ISSN 1979-0880,* hal 38-42.

Iizuka.Kaigo, (2002), *Elements of Photonics, volume II For Fiber and Integrated Optics,* John Wiley & Sons, Inc., New York.

Karasinski,P. and Rogozinski. (2004), “*Rib waveguides fabricated by mean of the chemical etching of sol gel SiO_2:TiO_2 films*”, Optics Comunications, 245,hal 237-242.

Naguchi K.,dkk, (1998), “Multimeter-wave Ti:$LiNbO_3$ Optical Modulators”, IEEE J *Lightwave Technology*, Vol 16, hal 3917.

Richard.Syam and John C., (1992), *Optical Guided Waves And Devices*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.

Rinawati. (2009), *Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Struktur Slab Berbasis Polimer Polystrene dan Polymethyl Methacrylate (MMA)*, Tesis, 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.

Rogovin, Z, A. 1972, *Cell* , Chem Thenol 6 pg 7

Setiawati S., Amalia.,dkk, (2008),”*Sintesis Lapisan Tipis TiO_2 dan Analisis Sifat Fotokatalisnya*”. Departemen Kimia, FMIPA-IPB, Bandung.

Surjono. (1998), “*Pengembangan Mikropon Optik Sebagai Alternatif Dalam Komunikasi Serat Optik*”. [serial online].http://eprints.uny.ac.id/237/1/Mikropon_Optik.pdf [4 November 2011].

Tamir, T (1990), "*Guided-Wave Optoelectronic*", Springer-Verlag, Second Edition

Tanio, N., & Nakanishi, T. (2006). *Physical Aging and Refractive Index of Poly(methyl methacrylate) Glass*. Polym. J, 38(8), 814-818.

Widaryanti, H., (2010). *Pembentukan Nanopertikel TiO2 Fasa Anatase dan Rutile dengan Metode Bervariasi*. Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Widaryanti, H., (2012). *Fabrikasi dan Karakterisasi Partikel Nano dan lapisan TiO_2*. Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Wikipedia.org

www.ece.gatech.edu/research/labs/vc/theory/PosNegRes.html 7.10 15 june 2015

Tahar, Tauam.dkk. (2013).”Low Loss Sol-Gel Thin Film for Waveguiding Applications”, *coating*s , vol 3,hal 49-58.

Tjahianto Y.R., dan Gunlaxuardi J.,(2001) “Makara”, *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia, Seri Sains*, Vol 5, hal 81-91

Zaki M.,(2000), *Medan Elektromagnetik,* ,Jurusan Fisika FMIPA ITS., Surabaya. Indonesia.

Zhang. Zhe., Dan-Feng Lu., Zhi-Mei Qj. (2012) “*Application of Porous TiO_2 Thin Film as Wavelength-Interrogated Waveguide Resonance Sensor for Bio/Chemical Detection*”, The Journal of Physics Chemistry 116, 3342-3348.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN A

Script program Scanloop

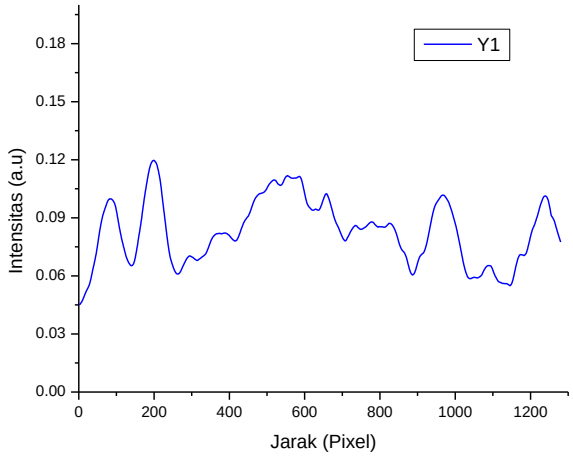
```
clear all;clc
format long;
[c,maxsize] = computer ;

disp('')
disp('=====================================================');
disp('      Laboratorium Optik dan EM Terapan);
disp('Program "Scanloop" Distribusi Intensitas File image ');
disp('=====================================================');
     disp('')


                        for ll = 1 : 100


     fl = uigetfile({'*.jpg;*.bmp'});
     aa=imread(fl);


                            for lll = 1 : 100

           image(aa)
           [x,y]=ginput(1);
           kl = x; br = y;
           z2=int16(kl);z1=int16(br);
     %Kolom
           %b1=aa(:,z1,1); b2=aa(:,z1,2); b3=aa(:,z1,3);
           %p1= size(aa,1);
     %Baris
           b1=aa(z1,:,1); b2=aa(z1,:,2); b3=aa(z1,:,3);
           p1 = size(aa,2);
     cc1=double(b1);cc2=double(b2);cc3=double(b3);

     %Normalisasi
     d1=min(cc1);d2=min(cc2);d3=min(cc3);dmin=d1;
     %ccc1=cc1-dmin;c11=ccc1/max(ccc1);ccc2=cc2-dmin;c22=ccc2/max(ccc2);ccc3=cc3-dmin;c33=ccc3/max(ccc3);
     c11=cc1;c22=cc2;c33=cc3;
     for k1=1:p1
        m1(k1)= c11(k1)*0.3+ c22(k1)*0.59+ c33(k1)*0.11;
     end
```

```
41.     c1 = m1;
42.     xx=length(b1);
43.     b11=1:xx;
44.
45.     subplot(2,2,1),image(aa), axis image, title(['File
  image: ', fl])
46.     %Baris
47.     subplot(2,1,2),plot(b11,c1),axis([1 xx 0 300]),
  xlabel('jarak(pixel)'), ylabel('Distribusi Intensitas')
48.     title(['Distribusi Baris ke ',int2str(z1)])
49.     subplot
50.
51.     R2 = input('o Mau coba GARIS lain (y/t) !! ','s');
52.       if (R2 == 't' | R2 == 'T');
53.          %clc
54.             disp(
  '============================================================'
  );
55.           disp([    'Interferogram, file gambar : ', fl])
56.           fl2=input('Save data distribusi intensitas, nama
  File (LOTUS/WK1) = ','s');
57.             WK1WRITE(fl2,c1')
58.
59.         disp(  '* ')
60.         disp(  '* ')
61.
62.          break
63.       end
64.                             end
65.
66.       R3 = input('o Mau coba FILE  lain (y/t) !! ','s');
67.       if (R3 == 't' | R3 == 'T'); break; end
68.
69.
```

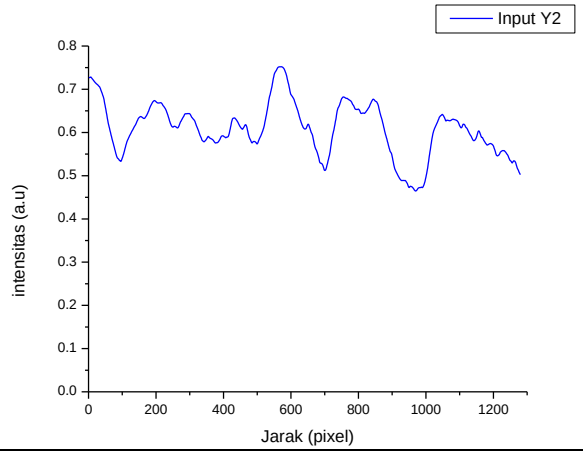
LAMPIRAN B

1. Input dari channel Y-branch

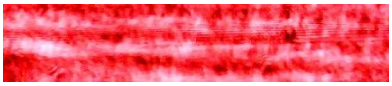
2. Input Y1

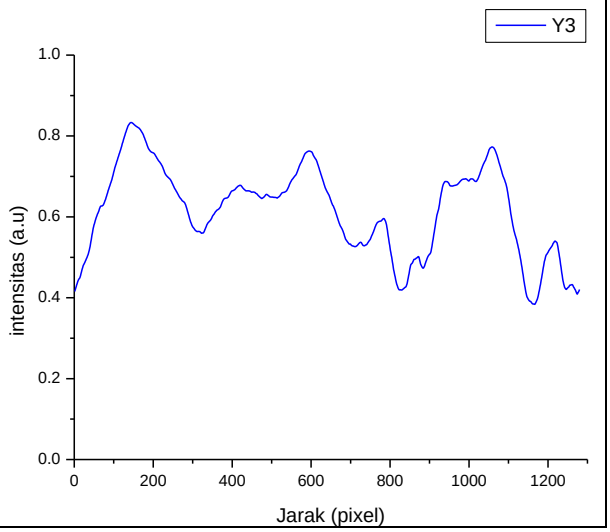


Input Y2



Input Y3



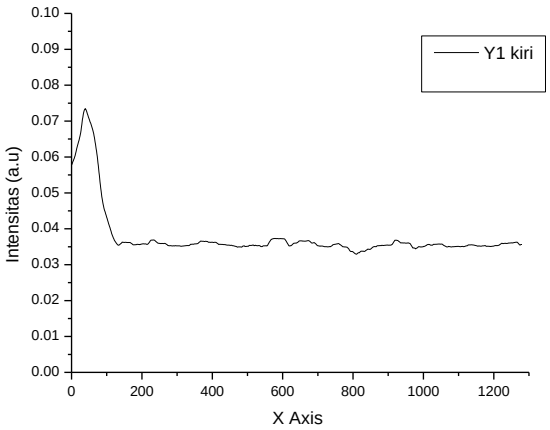


3. Output dari channel Y-branch

Output Y1

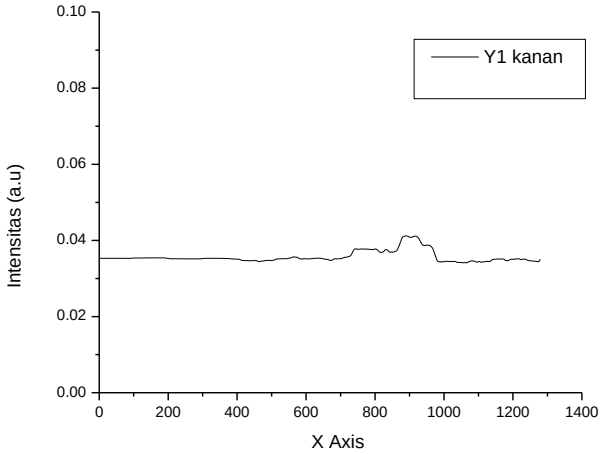
Kiri

Guide dari 6 – 612 pixel



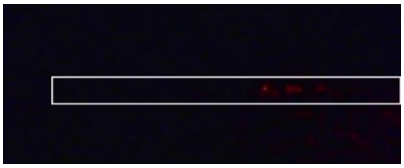
Kanan

Guide dari 679 - 1259 pixel

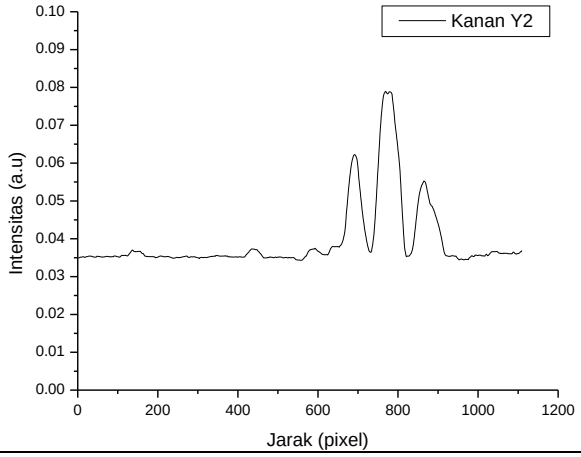


Output Y2

Kanan

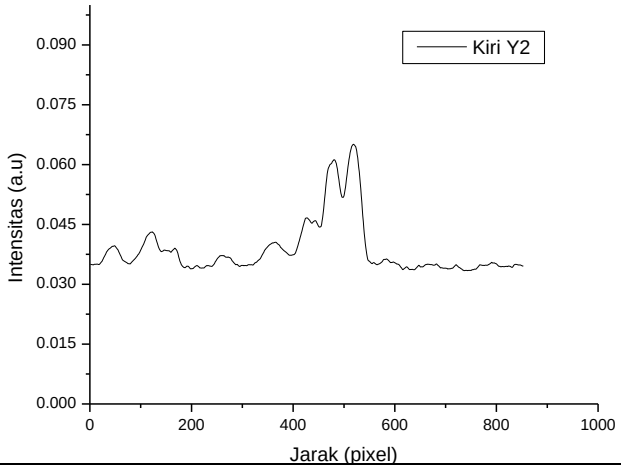


Guide dari 161 -1268 pixel



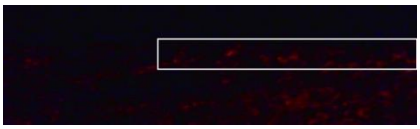
Kiri

Guide dari 138 - 986 pixel

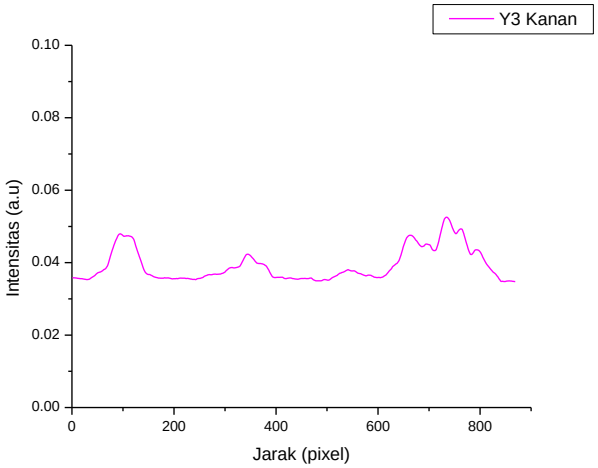


Output Y3

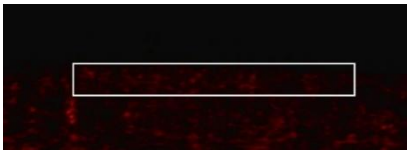
Kanan



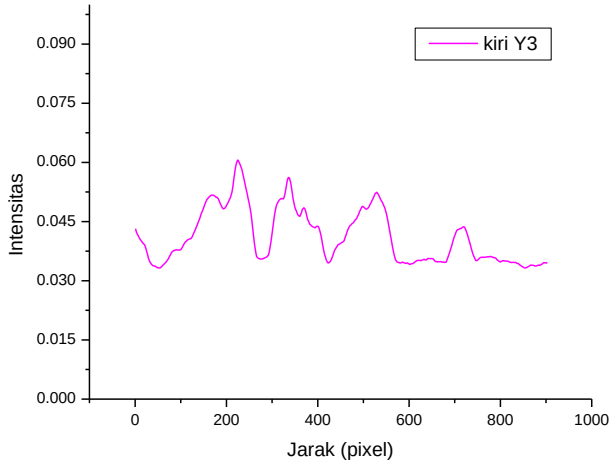
Guide dari 358 - 1264 pixel



Kiri



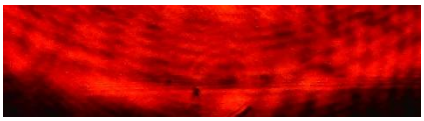
Guide dari 252 - 1054 pixel

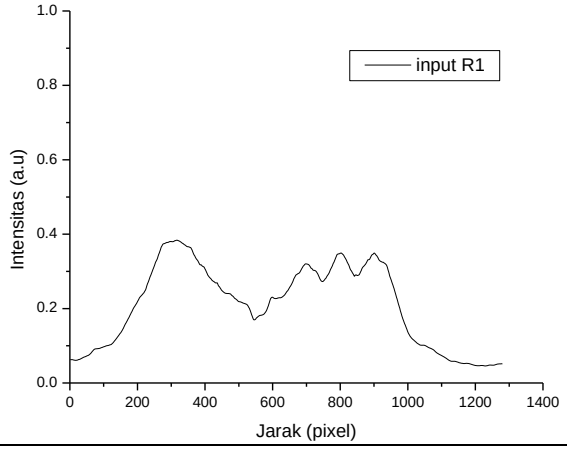


4. Input dan Output *Ridge waveguide*

Input dan output R1

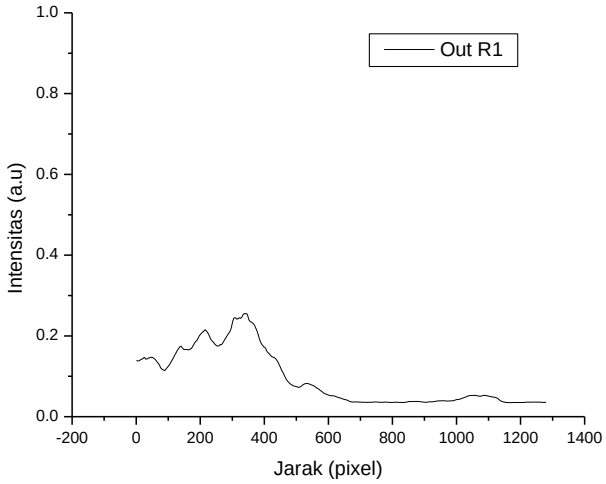
Input





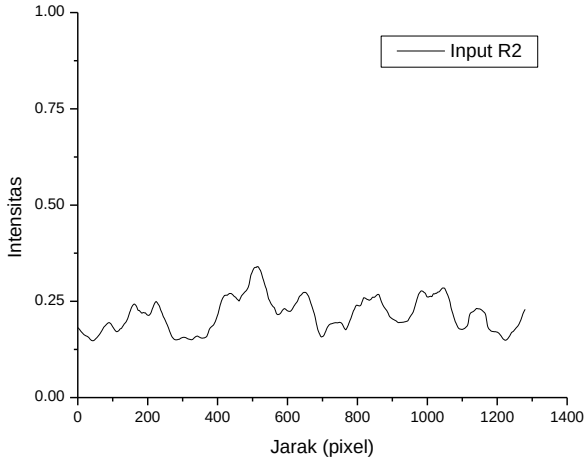
Output

Guide dari 0 – 656 pixel



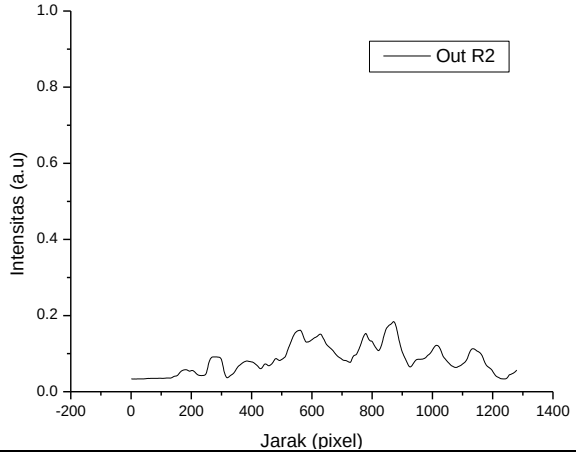
Input dan Output R2

Input



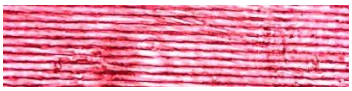
Output

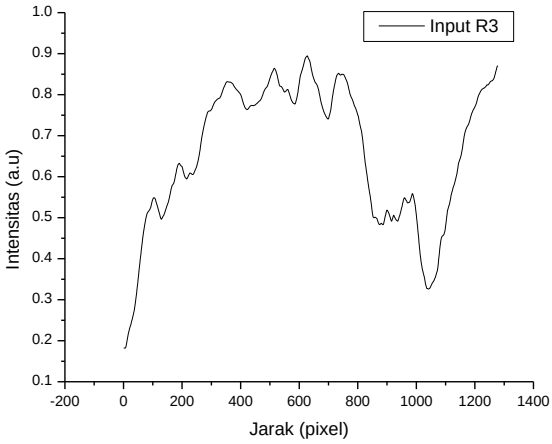
Guide dari 12 - 753 pixel



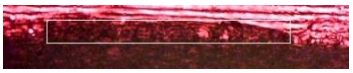
Input dan Output R3

Input

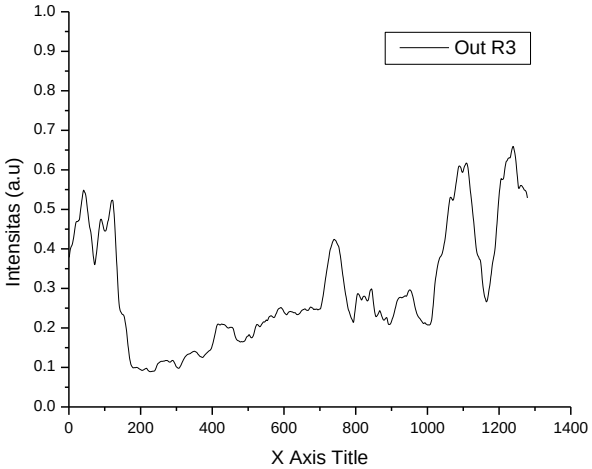




Output



Guide dari 324 - 1028 pixel



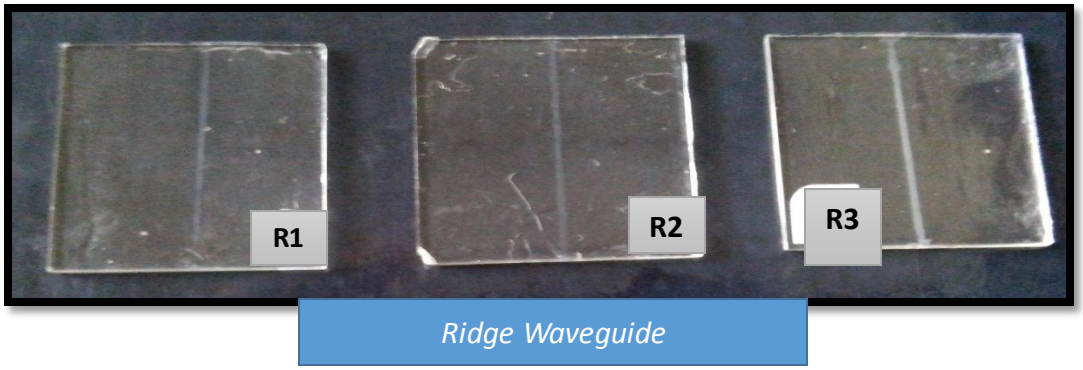
LAMPIRAN C

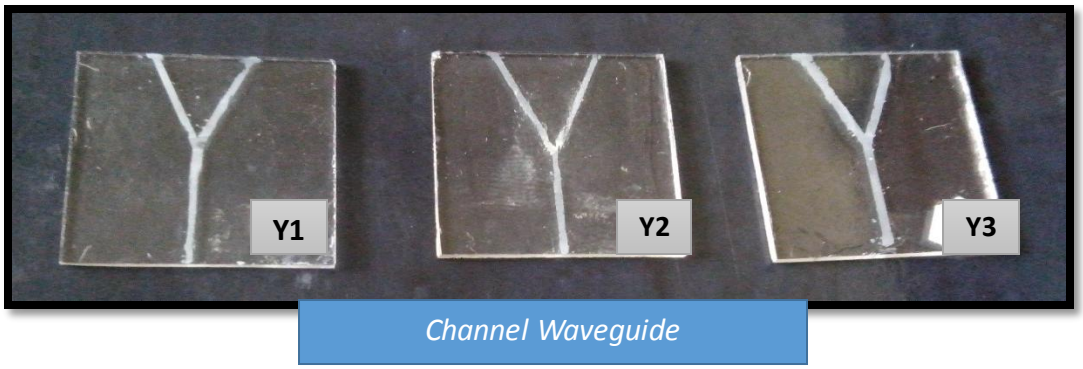
```
disp('')
disp('=====================================================');
disp('      Laboratorium  Optik dan EM Terapan');
disp('Program  "Interpolasi  Integral  Luasan  Kurva"');
disp('=====================================================');
disp('')
 [FileName,PathName,FilterIndex]  =uigetfile('*.xlsx','Select  a .xlsx  code file');
if isequal(FileName,0)
   return;
end
f=[PathName  FileName];
[data txt]= xlsread(f);

datax=data(:,1);
datay=data(:,2);
deltax=datax(2)-datax(1);
olahy=datay;
for i=2:(length(datay)-1)
   olahy(i)=2*olahy(i);
end
jumlah=sum(olahy);
Luas=0.5*deltax*jumlah
```

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

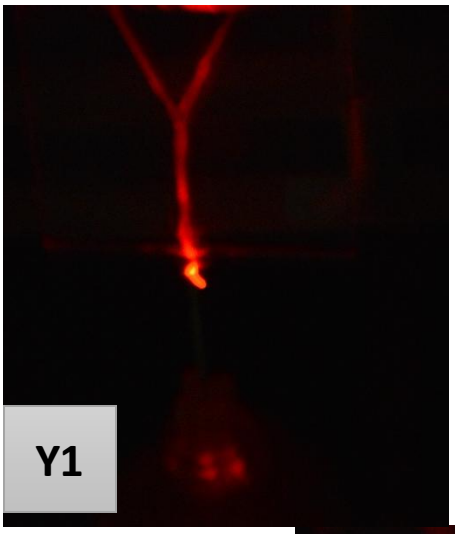
LAMPIRAN D

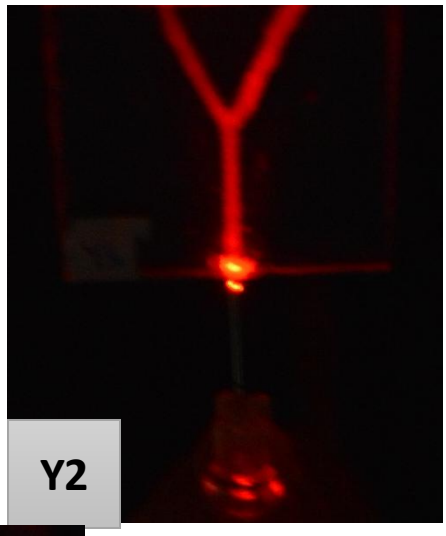
- Hasil fabrikasi *Ridge Waveguide* dan *Chanel Y-branch*

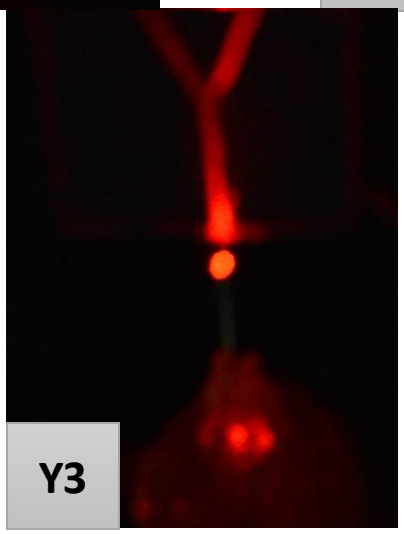


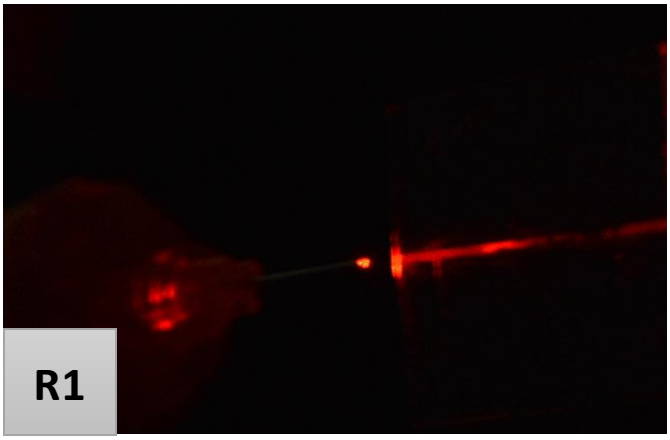


- Propagasi Laser HeNe









BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Kota Angling Darmo, Bojonegoro, pada tanggal 14 Mei 1990, yang merupakan anak ke-4 dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Sumuaragung 1, SMP N 1 Sumberrejo, dan SMA N 2 Bojonegoro. Saat menempuh pendidikan di SMA N 2 Bojonegoro penulis tercatat sebagai anggota Teater Girinda dan PMR. Penulis masuk di Jurusan Fisika ITS pada tahun 2008 dengan melalui jalur bebas tes PMDK Reguler, bidang minat yang ditekuni adalah bidang Optoelektronika terutama di bidang Biofotonik, dan medapatkan gelar sarjana sains pada tahun 2012. Tahun 2013 penulis mendapatkan beasiswa pascasarjana BPP-DN di Jurusan Fisika-FMIPA ITS. Selama masa kuliah penulis sempat aktif dalam mengikuti organisasi di Jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS. Penulis juga tercatat sebagai anggota Teater Tiang Alit ITS periode 2008/2009 dan penulis pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar I dan II . Selama masa perkuliahan di pascasarjana penulis menekuni bidang Optoelektronika terutama dibidang optik material yang fokus pada lapisan tipis dengan material TiO_2.