



TUGAS AKHIR - SF141501

**STUDI AWAL FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER BERBAHAN SERAT
OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE
FD-620-10 KONFIGURASI 6X6 MENGGUNAKAN
METODE *HEATING AND PRESSING***

**PUJI KUMALA PERTIWI
NRP 0111134000101**

**Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si
Sudarsono, M.Si**

**PROGRAM STUDI S1
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - SF141501

***PRELIMINARY STUDY OF FABRICATION AND
CHARACTERIZATION OF DIRECTIONAL
COUPLER MADE OF PLASTIC OPTICAL FIBER
STEP INDEX MULTIMODE TYPE FD-620-10
6X6 CONFIGURATION USING HEATING AND
PRESSING METHOD***

**PUJI KUMALA PERTIWI
NRP 0111134000101**

**Supervisor
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si
Sudarsono, M.Si**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI AWAL FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER BERBAHAN SERAT
OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE
FD-620-10 KONFIGURASI 6X6 MENGGUNAKAN
METODE *HEATING AND PRESSING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Optoelektronika
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Puji Kumala Pertiwi
NRP. 01111340000101**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Drs. Gontjeng Prajitno, M.Si
NIP. 19660102 199003.1.001**

**Sudarsono, M.Si
NIP. 110020130.1.002**



(
)

**STUDI AWAL FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER BERBAHAN SERAT OPTIK
PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE FD-620-10
KONFIGURASI 6X6 MENGGUNAKAN METODE
*HEATING AND PRESSING***

Nama Mahasiswa : Puji Kumala Pertiwi
NRP : 01111340000101
Jurusan : Fisika
Dosen Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si
Sudarsono, M.Si

Abstrak

Penelitian awal tentang studi fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* berbahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 konfigurasi 6x6 dilakukan dengan metode heating and pressing. Pada penelitian ini variasi panjang kupasan adalah 55 mm dan 75 mm dibungkus dengan aluminium foil dan 75 mm tanpa dibungkus aluminium foil. Proses penggandengan dilakukan dengan meletakkan serat optik pada cetakan, kemudian dipanaskan di hotplate pada suhu $\pm 120^{\circ}$ C selama ± 10 menit. Hasil fabrikasi menunjukkan adanya penyusutan setelah proses *heating and pressing*, sehingga didapatkan panjang interaksi berturut turut 33 mm, 35 mm dan 45 mm. Hasil karakterisasi *directional coupler* didapatkan pada panjang interaksi 33 mm dengan input D1, 35 mm dengan input B1, D1, E1, dan 45 mm dengan input A1, B1, C1, D1, E1, dan F1, dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya.

Kata kunci : Directional Coupler konfigurasi 6x6, Fabrikasi, Karakterisasi, Serat Optik.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

***PRELIMINARY STUDY OF FABRICATION AND
CHARACTERIZATION OF DIRECTIONAL COUPLER
MADE OF PLASTIC OPTICAL FIBER STEP INDEX
MULTIMODE TYPE FD-620-10 6X6 CONFIGURATION
USING HEATING AND PRESSING METHOD***

Name of Student : Puji Kumala Pertiwi
NRP : 01111340000101
Department : Physics
Supervisor : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si
Sudarsono, M.Si

Abstract

Initial research on the study of the fabrication and characterization of directional coupler made of plastic optical fiber type FD-620-10, 6 x 6 configuration is done by the method of heating and pressing. In this research the variation of the length of peelings are the 55 mm and 75 mm wrapped with alumunium foil and 75 mm without alumunium foil wrapped. Coupling process is done by putting optical fiber in a mold, then heated at a temperature of approximately 120⁰C on hot plates for approximately 10 minutes. The results showed a retraction after the fabrication process of heating and pressing, so it brings the length of successive interaction takes part 33 mm, 35 mm and 45 mm. The results of the characterization of the directional coupler is obtained on the length 33 mm interaction with input D1, 35 mm with inputs B1, D1, E1, and 45 mm with input A1, B1, C1, D1, E1, and F1 can be used as dividers or power divider beam of light.

Keywords : *Directional Coupler Configuration 6x6, Fabrication, Chacaterization, Optical Fiber.*

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kenikmatan, kemudahan serta karunia-Nya. Serta sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan dalam kehidupan ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Studi Awal Fabrikasi dan Karakterisasi *Directional Coupler* Berbahan Serat Optik Plastik *Step Index Multimode Tipe FD-620-10* Konfigurasi 6x6 Menggunakan Metode *Heating and Pressing*”** tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Optoelektronika, Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis yaitu Ibunda Qumaroh dan Ayahanda Abu Hasan yang tiada henti memberikan doa, nasehat, motivasi dan dukungannya baik secara material maupun spiritual kepada penulis.
2. Kementrian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa Bidikmisi kepada penulis selama menyelesaikan studi S1 di Departemen Fisika ITS.
3. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si dan Bapak Sudarsono, M.Si atas segala pengetahuan dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Ketua Departemen Fisika sekaligus dosen wali yang telah memberikan bimbingan, motivasi serta wawasan selama masa perkuliahan di Jurusan Fisika ITS.

5. Kepala Laboratorium Optoelektronika, dan segenap staf laboran, Pak Miftahul Ghofar yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Staf Karyawan Departemen Fisika ITS yang telah memberikan arahan, didikan dan motivasinya.
7. My iilbro, Fawwaz Hafiz Habibullah, yang selalu memberi semangat.
8. Rekan-rekan seperjuangan penelitian laboratorium optoelektronika, Nura, Astrid, Adha, Kiki, Wafa, Luqman, dll. Atas kerjasama, diskusi, motivasi dan bantuannya sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
9. Teman-teman Fisika ITS Angkatan 2013 atas kebersamaan, semangat, motivasi dan dukungannya kepada penulis selama masa kuliah.
10. Elok, Qorin, Yola, Bu Ifda dan Teman-teman DINASTI 2 AWDS atas motivasi, semangat, dukungan dan selalu mengingatkan penulis agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Mb Linda, dan teman-teman kos yang selalu memberikan semangat.

Dengan selesainya laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penelitian Tugas Akhir ini masih belum sempurna, jika masih ada kekurangan diharapkan saran dan kritik agar dapat mengembangkan penelitian ini.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Serat Optik.....	7
2.1.1 Serat Optik FD-620-10.....	9
2.2 Pemantulan Dalam Total	9
2.3 Numerical Aperture.....	11
2.4 Pandu Gelombang Koordinat Silinder.....	12
2.5 Teori Moda Tergandeng.....	17
2.6 Directional Coupler Konfigurasi 6x6	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Peralatan dan Bahan	27
3.1.1 Peralatan	27

3.1.2 Bahan.....	27
3.2 Prosedur Penelitian.....	27
3.2.1 Tahap Fabrikasi	28
3.2.1.1 Pemotongan Serat Optik Plastik.....	28
3.2.1.2 Pengupasan Coating	28
3.2.1.3 Perendaman	29
3.2.1.4 Uji Kerataan.....	30
3.2.1.5 Penggandengan.....	33
3.2.2 Tahap Karakterisai Directional Coupler.....	35
3.3 Diagram Alir.....	38

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	39
4.2 Karakterisasi <i>Directional Coupler</i>	43
4.3 Pembahasan	68

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA	77
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	79
-----------------------	-----------

BIODATA PENULIS	97
------------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Struktur dasar penyusun serat optik7
Gambar 2.2	Struktur serat optik multimode <i>step-index</i> dan <i>graded-index</i>8
Gambar 2.3	Serat optik FD-620-10.....9
Gambar 2.4	Pemantulan dan Pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium. Untuk $n_2 < n_1$, berkas cahaya dipantulkan dengan sudut $\theta_i > \theta_c$10
Gambar 2.5	Mekanisme perambatan sinar pada serat optik <i>step-index</i>12
Gambar 2.6	Geometri serat optik dalam koordinat silinder15
Gambar 2.7	Distribusi radial amplitudo medan di core dan di cladding untuk orde 0 dan 317
Gambar 2.8	Susunan kanal dalam <i>directional coupler</i>18
Gambar 2.9	Hubungan coupling ratio terhadap panjang kopling konfigurasi 6x6.24
Gambar 3.1	Alat pemotong serat optik buatan Autonics28
Gambar 3.2	Pemotongan serat optik.28
Gambar 3.3	Pengupasan coating serat optik29
Gambar 3.4	Serat optik yang telah dikelupas coatingnya.29
Gambar 3.5	Proses perendaman dengan menggunakan aseton.....30
Gambar 3.6	Serat optik yang telah dikelupas claddingnya30
Gambar 3.7	Proses uji kerataan.....31
Gambar 3.8	Serat optik hasil pengamatan <i>stereo microscope</i> 31
Gambar 3.9	Mikroskop optik32
Gambar 3.10	Core dan cladding dengan diameter 1,45 mm.....32
Gambar 3.11	Core dengan diameter 1,25 mm33
Gambar 3.12	Susunan serat optik plastik konfigurasi 6x6.....34
Gambar 3.13	Proses pemanasan cetakan dengan hotplate34

Gambar 3.14	Pengandengan serat optik.....	35
Gambar 3.15	Sensor BF5R-D1-N buatan Autonics.....	36
Gambar 3.16	Set up alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada directional coupler	36
Gambar 3.17	Proses karakterisasi dengan BF5R-D1-N.....	37
Gambar 3.18	Diagram Alir Tahapan Penelitian	38
Gambar 4.1	Hasil fabrikasi <i>directional coupler</i> panjang kupasan 55 mm (a) dibungkus alumunium foil (b) alumunium foil dibuka panjang interaksi 33 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port	40
Gambar 4.2	Hasil fabrikasi <i>directional coupler</i> panjang kupasan 75 mm (a) tidak dibungkus alumunium foil (b) panjang interaksi 35 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port.....	41
Gambar 4.3	Gambar 4.3 Hasil fabrikasi <i>directional coupler</i> panjang kupasan 75 mm (a) dibungkus alumunium foil (b) panjang interaksi 45 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port.....	43
Gambar 4.4	Display intensitas cahaya input dengan <i>mode long</i> menggunakan BF5R-D1-N.....	45
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input A1	52
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input B1	53
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input C1	53
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input D1	54

- Gambar 4.9 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input E154
- Gambar 4.10 Grafik hubungan antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input F155
- Gambar 4.11 Ilustrasi intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 33 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port D1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port C156
- Gambar 4.12 Ilustrasi intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 35 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port E1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port C1.56
- Gambar 4.13 Intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 45 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port D1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port F1.56
- Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input A1.....59
- Gambar 4.15 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input B1.....59
- Gambar 4.16 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input C1.....60
- Gambar 4.17 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input D1.....60

- Gambar 4.18 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input E1 61
- Gambar 4.19 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input F1 61
- Gambar 4.20 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port A1 62
- Gambar 4.21 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port B1 63
- Gambar 4.22 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port C1 63
- Gambar 4.23 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port D1 64
- Gambar 4.24 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port E1 64
- Gambar 4.25 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap port output dengan input port F1 65

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 4.1	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port A1	45
Tabel 4.2	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port B1	46
Tabel 4.3	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port C1	46
Tabel 4.4	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port D1	46
Tabel 4.5	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port E1	46
Tabel 4.6	Data intensitas cahaya pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port F1	47
Tabel 4.7	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port A1	47
Tabel 4.8	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port B1	47
Tabel 4.9	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port C1	47
Tabel 4.10	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port D1	48
Tabel 4.11	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port E1	48
Tabel 4.12	Data intensitas cahaya balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port F1	48
Tabel 4.13	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port A1	48
Tabel 4.14	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port B1	49

Tabel 4.15	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port C1.....	49
Tabel 4.16	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port D1	49
Tabel 4.17	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port E1	49
Tabel 4.18	Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port F1	50
Tabel 4.19	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port A1	50
Tabel 4.20	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port B1.....	50
Tabel 4.21	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port C1.....	50
Tabel 4.22	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port D1	51
Tabel 4.23	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port E1	51
Tabel 4.24	Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port F1	51
Tabel 4.25	Data <i>exceeds loss</i> (dB) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi.....	57
Tabel 4.26	Data hasil perhitungan <i>Coupling Ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 33 mm.	57
Tabel 4.27	Data hasil perhitungan <i>Coupling Ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 35 mm.	58
Tabel 4.28	Data hasil perhitungan <i>Coupling Ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 45 mm.	58

Tabel 4.29	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input A1.....	65
Tabel 4.30	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input B1.....	66
Tabel 4.31	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input C1.....	66
Tabel 4.32	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input D1.....	66
Tabel 4.33	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input E1.....	66
Tabel 4.34	Data hasil perhitungan <i>Insertion Loss directional coupler</i> pada input F1.....	67
Tabel 4.35	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input A1.....	67
Tabel 4.36	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input B1.....	67
Tabel 4.37	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input C1.....	67
Tabel 4.38	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input D1.....	68
Tabel 4.39	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input E1.....	68
Tabel 4.40	Data hasil perhitungan <i>Directivity directional coupler</i> pada input F1.....	68

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi informasi dan komunikasi serat optik berkembang sangat cepat. Teknologi komunikasi dan informasi serat optik berkapasitas tinggi memberikan terobosan besar dalam penemuan laser pada tahun 1960. Serat optik merupakan media transmisi cahaya atau *waveguide* yang dikembangkan di akhir tahun 1960 an sebagai media transmisi informasi pada system komunikasi optik yang mempunyai kapasitas informasi jauh lebih besar dari pada system komunikasi informasi menggunakan wireless maupun kabel tembaga (Suematzu,1982). Pada tahun 1966, teknologi serat optik memiliki *loss* yang lebih besar dari 1000 dB/km. Pada tahun 1970 barulah dilakukan pengembangan penelitian supaya *loss* yang dihasilkan lebih kecil dari sebelumnya. Serat optik dalam perkembangannya tidak hanya berfungsi sebagai media transmisi informasi dan komunikasi, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai sensor serta berkembang menjadi divais optik yang lebih luas.

Serat optik sebagai sensor memiliki banyak keunggulan diantaranya tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, akurasi pengukuran yang tinggi, tidak menggunakan arus listrik, tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, dapat juga dihubungkan dengan system komunikasi data melalui perangkat interface, dimensinya kecil dan ringan memudahkan untuk penginstalan, dan juga dapat dimonitor dari jauh. Serat optik telah banyak dimanfaatkan sebagai sensor untuk pengukuran berbagai parameter, seperti; sensor tekanan, seperti pada penelitian *Application of fiber optic sensors in civil engineering* (Ahmad, 2015). Sensor pergeseran, telah banyak dilakukan penelitian salah satunya adalah Aplikasi *directional couler* serat optik sebagai sensor pergeseran (Pramono, 2008). Sensor temperature, sensor kelembaman, sensor laju aliran fluida, sensor laju rotasi, sensor laju konsentrasi suatu larutan, serta

sensor analisis kimia seperti pada penelitian Rancang bangun directional coupler konfigurasi 3x3 planar *step index multimode* fiber optik sebagai sensor kemolaran dan pH (Niko, 2016). Serta masih banyak lagi penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan serat optik sebagai sensor.

Divais optik yang telah berkembang dengan menggunakan serat optik dapat berbentuk coupler dengan berbagai variasi yaitu *directional coupler*, *star coupler* dan *Y coupler*. Divais optik berbentuk coupler ini dapat berfungsi sebagai komponen *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing* pada perangkat WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), pemecah berkas (*beam splitter*) dan pembagi daya (*power divider*) untuk perangkat interferometer serat optik. Eksperimen tentang directional coupler sebagai divais *multiplexing* sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, diantaranya pembuatan *directional coupler* menggunakan substrat LiNbO_3 , gelas, dan semikonduktor yang berbentuk pandu gelombang slab (Rohedi, 1997). Dan juga telah dilakukan penelitian terdahulu mengenai analisa directional coupler sebagai pembagi daya untuk mode TE (Rubiyanto, 2006).

Serat optik yang digunakan berbentuk silinder yang terdiri dari bagian inti (*core*), kulit pembungkus inti (*cladding*) dan jaket pelindung luar (*coating*). Fabrikasi directional coupler serat optik *step index multimode* maupun *step index singlemode* berbentuk pandu gelombang slab masih sulit dilakukan dan membutuhkan peralatan yang rumit. *Coupler* merupakan divais optik pasif, berfungsi sebagai penggabung dua atau lebih panjang gelombang atau sinyal ke dalam serat optik serta memecah sinyal atau gelombang menjadi dua atau lebih. *Directional coupler* sendiri merupakan jenis coupler yang paling banyak dikembangkan. Terdapat beberapa metode pembuatan directional coupler berbahan serat optik plastik yang dapat digunakan sebagai divais komunikasi jarak pendek. Kendala pembuatan directional coupler yang sulit dapat diatasi dengan menggunakan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT). Metode FBT ini merupakan metode dengan menggabungkan sejumlah serat optik pada panjang

kopling tertentu sehingga menjadi directional coupler dengan N-port (Sekartedjo dkk, 2007). Akan tetapi pada metode FBT ini ditemui adanya daya yang bocor melalui celah-celah benang yang dililitkan untuk penggandengan serat optik, sehingga daya yang dihasilkan tidak terbagi rata.

Metode-metode lain yang digunakan untuk fabrikasi directional coupler serat optik plastik antara lain metode *side polishing, twisting and fusing, molding, mixing rods, using hollow waveguide, polymer rectangular waveguide*, serta *heating and pressing*. Metode heating and pressing ini merupakan metode baru yang dilakukan oleh peneliti asal korea yaitu berjudul *High-Perormance Plastic optical fiber coupler based on heating and pressing* (Kim,KT., 2011) dan *fabrication and characterization of NxN plastic optical fiber star coupler based on fused combining* (Kim,KT., 2013).

Metode *heating and pressing* ini belum banyak digunakan, para peneliti, namun ada juga yang telah menggunakannya salah satunya mengenai studi awal fabrikasi dan karakterisasi directional coupler konfigurasi 4x4 serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 (Nuraini, 2017). Dimana pada penelitian ini hanya konfigurasi 4x4 saja yang berhasil dilakukan, namun konfigurasi 2x2 dan 6x6 belum berhasil dilakukan karena berbagai penyebab (Nuraini, 2017). *Directional coupler* serat optik dengan metode heating and pressing belum banyak digunakan oleh peneliti-peneliti Indonesia.

Penelitian mengenai fabrikasi directional coupler 6x6 sendiri belum banyak dilakukan. Penelitian mengenai directional coupler 6x6 salah satunya dilakukan oleh Maulana pada tahun 2017 dengan menggunakan metode *Fused Biconical Tapered* dengan hasil *excess loss* yang cukup besar dikarenakan goresan goresan benang dapat melukai *core* yang akan decoupling. Namun penelitian ini juga menghasilkan, pada daerah coupling 35 mm dengan input A1, panjang daerah coupling 45mm dengan input B1, panjang daerah kopling 50 mm dengan input F1 dan panjang daerah *coupling* 55 mm dengan input F1 dapat digunakan

sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya (Maulana, 2017). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan fabrikasi *directional coupler* serat optik plastik *step index multimode* konfigurasi 6x6 dengan metode *heating and pressing* dengan pemolesan menggunakan *acetone*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana fabrikasi *directional coupler* dari serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 konfigurasi 6x6 dengan metode *heating and pressing*?
2. Bagaimana hasil karakterisasi *directional coupler* dari serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 konfigurasi 6x6 yang telah difabrikasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. Memfabrikasi *directional coupler* dari serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 konfigurasi 6x6 dengan metode *heating and pressing*.
2. Mengetahui hasil karakterisasi *directional coupler* dari serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 konfigurasi 6x6 yang telah difabrikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberi kebermanfaatannya diantaranya hasil fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 6x6 dapat dimanfaatkan sebagai piranti pembagi daya (*power splitter*) atau pembagi berkas (*beam splitter*), sensor serat optik, serta piranti

serat optik lainnya yang dapat menggunakan *directional coupler* 6x6.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Fabrikasi *directional coupler* dilakukan menggunakan serat optik plastic *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang daerah *coupling* 33 mm, 35mm, dan 45 mm dengan menggunakan metode *heating and pressing*.
2. Karakterisasi *directional coupler* menggunakan BF5R-D1-N merupakan sensor khusus untuk mengetahui dan menganalisis daya keluaran yang diterima dari serat optik. BF5R-D1-N ini merupakan sensor buatan autronics. Sumber yang digunakan yaitu *digital indicating type fiber optic sensor* (BF5R-D1-N) yang disambungkan ke power supply. Sensor ini juga memiliki lubang input berupa cahaya merah 660 nm dan lubang outputnya berupa fotodetektor dengan mengetahui intensitas keluaran pada keenam port dan intensitas keluaran balikan pada kelima port sehingga diperoleh parameter *coupling ratio* (CR), *directivity* (D), *excess loss* (Le) dan *insertion loss* (Lins).

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

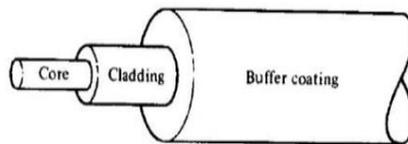
1. BAB I PENDAHULUAN, berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi tentang teori-teori yang menunjang penelitian dan dapat membantu proses analisis data yang didapatkan pada penelitian.
3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN, berisi tentang peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian dan uraian lengkap tahapan penelitian.

4. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN, berisi tentang data hasil penelitian serta dilakukan analisis dan pembahasan.
5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi tentang kesimpulan dari penelitian untuk menjawab tujuan, dan saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.7 Serat Optik

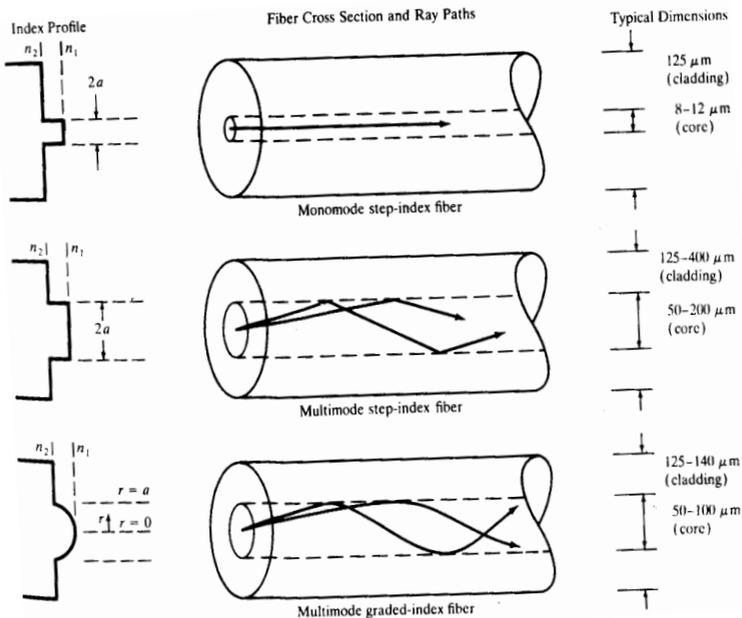
Serat Optik merupakan pandu gelombang dielektrik yang dapat digunakan sebagai media transmisi gelombang cahaya. Serat optik ini berbentuk silinder. Serat optik ada yang terbuat dari kaca dan ada juga yang terbuat dari plastik. Serat optik memiliki tiga bagian yaitu inti (*core*), kulit (*cladding*) dan jaket (*coating*). Inti serat optik merupakan jalur utama terjadinya pemanduan gelombang cahaya yang memiliki indeks bias terbesar n_1 . Kulit serat optik memiliki indeks bias yang lebih kecil dari n_1 yaitu disebut dengan n_2 . Jaket serat optik berfungsi sebagai pelindung inti dan kulit serat optik. Susunan serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur dasar penyusun serat optik (Keiser, 1991)

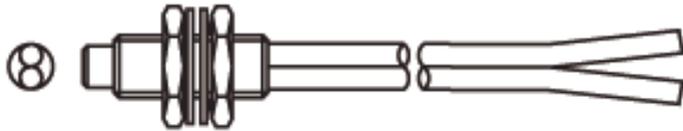
Serat optik memiliki banyak macam, baik berdasarkan struktur dan sifat transmisinya maupun berdasarkan penjalaran gelombang yang melalui inti serat optik tersebut. Serat optik berdasarkan struktur dan sifat transmisinya dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu serat optik moda tunggal atau *single mode* dan serat optik moda jamak atau *multi mode* (Keiser, 1991). Serat optik single mode memiliki ukuran inti yang kecil sehingga hanya dapat menyalurkan satu moda saja. Skala ukuran dari serat optik single mode ini adalah micrometer. Serat optik multi mode memiliki ukuran inti yang lebih besar dari serat optik single mode, sehingga dapat menyalurkan lebih dari satu moda. Skala ukuran dari serat optik multi mode adalah millimeter (Crisp dan Elliott, 2005).

Serat optik berdasarkan penjarangan gelombang yang melalui inti serat optik dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu serat optik *step index* dan serat optik *graded index*. Serat optik *step index* merupakan serat optik yang memiliki inti dengan indeks bias homogen (n_1) dan terjadi perubahan indeks bias secara tak tentu antara inti dan cladding. Serat optik *graded index* memiliki inti dengan indeks bias paling besar, semakin ke arah cladding semakin kecil. Pada dasarnya cahaya disebarkan melalui core dengan cara pemantulan dalam total (Leno dan Frank, 1993). Selisih indeks bias antara inti dan cladding didefinisikan sebagai fraksi indeks bias. Perbandingan struktur serat optik multimode *step index* dan *graded index* serta distribusi index diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur serat optik multimode *step-index* dan *graded-index* (Keiser, 1991)

2.1.1 Serat Optik FD-620-10



Gambar 2.3 Serat optik FD-620-10

Serat optik plastik FD-620-10 merupakan serat optik kabel *duplex* dengan *core* tunggal setiap ulirnya buatan Autonics yang didesain dengan *core* memiliki indeks bias yang lebih tinggi dibandingkan *cladding*-nya. Berkas cahaya pada satu sisi akan terpandu hingga pada sisi lainnya dengan cara pemantulan dalam total pada perbatasan *core* dan *cladding*. Serat optik FD-620-10 memiliki sudut keluaran 60° yang memiliki bentuk seperti kerucut. *Coating* atau pelindung terbuat dari karet silion atau *vinly chloride*. *Core* dan *cladding* serat optik terbuat dari resin sintetik poly akrilik. Spesifikasi material penyusun *core plexyglass* yang memiliki indeks bias 1,492 dan suhu transisi sekitar 1050C dan material *cladding* memiliki indeks bias 1,42 dengan *numerical aperture* 0,5 (Maulana, 2017)

2.2 Pemantulan Dalam Total

Cahaya yang merambat di dalam serat optik dipengaruhi oleh indeks bias medium dielektrik. Kecepatan cahaya yang merambat di dalam medium yang rapat lebih kecil dari pada pada medium yang renggang (Widodo, 1995). Indeks bias pada medium didapatkan dari persamaan berikut ini:

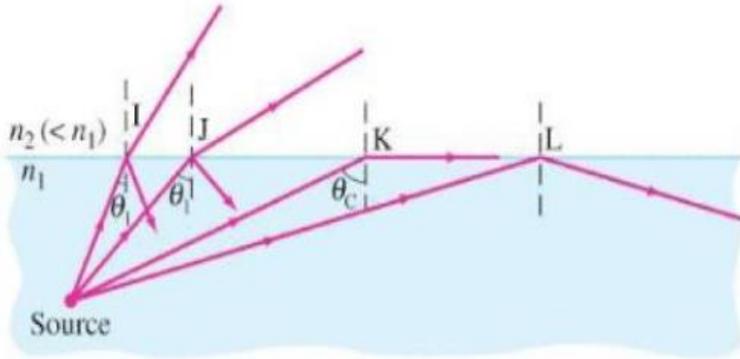
$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

c merupakan kecepatan cahaya di dalam ruang hampa yang memiliki nilai 3×10^8 m/s. v merupakan kecepatan cahaya di dalam medium. Nilai n selalu lebih besar dari 1, untuk kaca memiliki indeks bias antara 1,4-1,5.

Pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik berdasarkan pada prinsip pemantulan dalam total, pemantulan

dalam total dapat terjadi jika indeks bias medium sinar datang (inti) harus lebih besar dari pada indeks bias medium sinar bias (cladding). Hukum Snellius menentukan transmisi gelombang melalui bidang batas dua medium dielektrik yang berbeda. Persamaan hukum Snellius ditunjukkan pada persamaan 2.2 (Powers, 1997).

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (2.2)$$



Gambar 2.4 Pemantulan dan Pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium. Untuk $n_2 < n_1$, berkas cahaya dipantulkan dengan sudut $\theta_i > \theta_c$ (Giancoli, 2005)

θ_i adalah sudut datang sinar dan θ_t adalah sudut bias. Dari hubungan ini, θ_t dapat mencapai sudut 90° ketika θ_i mencapai nilai:

$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

Dimana θ_c disebut sudut kritis sinar datang. Sinar datang dengan sudut yang sama atau lebih besar dari sudut kritis akan dipantulkan kembali ke medium 1, inilah prinsip pemantulan dalam total yang dapat memandu cahaya pada serat optik tanpa adanya rugi daya. Sedangkan cahaya dengan sudut datang dibawah sudut kritis, sebagian akan dibiaskan dan sebagian akan dipantulkan. Rugi daya terjadi disebabkan karena adanya cahaya

yang diteruskan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Powers, 1997).

2.3 Numerical Aperture

Hal yang perlu diperhatikan agar sinar dapat terpandu di dalam core serat optik yaitu sudut sinar masukan yang maksimum, sehingga dihasilkan sinar yang membentuk sudut kritis. Sehingga hukum snellius juga diterapkan pada bidang batas antara medium udara dan core sebagai berikut;

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sin \phi_t \quad (2.4)$$

Karena $\phi_t = \frac{\pi}{2} - \theta_c$, maka persamaan (2.4) menjadi :

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \cos \theta_c \quad (2.5)$$

Dengan menggunakan relasi trigonometri

$$\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1 \quad (2.6)$$

Persamaan (2.5) menjadi :

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \quad (2.7)$$

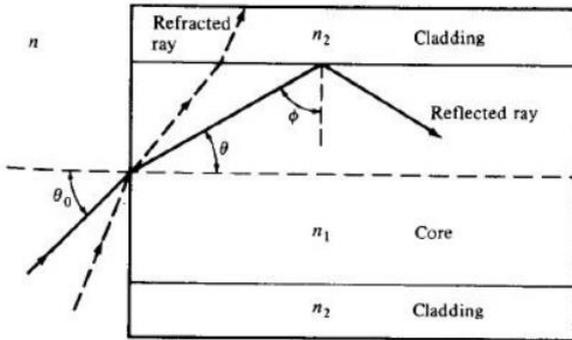
Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.7), maka didapatkan :

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.8)$$

Maka sinar yang memiliki sudut masukan θ_0 lebih kecil dari pada $\theta_{0,max}$ akan dipantulkan seluruhnya pada bidang antar muka core-cladding. Persamaan (2.8) didefinisikan sebagai tingkap numeric atau numerical aperture (NA) yang menyatakan hubungan sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium, yaitu medium udara, inti dan cladding serat optik (Keiser, 1991).

$$NA = n_0 \sin \theta_{0,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.9)$$



Gambar 2.5 Mekanisme perambatan sinar pada serat optik step-index (Keiser, 1991)

Perbedaan indeks bias antara inti core dan cladding (Δ) didefinisikan sebagai fraksi indeks bias yang dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.10)$$

Selisih nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil. Untuk nilai $\Delta < 1$, disebut sebagai desain pandu gelombang yang terpandu lemah (Power, 1997). Nilai Δ untuk serat optik multimode berkisar pada rentang 1% hingga 3%, sedangkan untuk serat optik singlemode berkisar pada rentang 0,2% hingga 1% (Keiser, 1991). Dengan demikian persamaan (2.9) juga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.11)$$

Nilai NA pada serat optik step-index berkisar pada rentang 0,2 hingga 0,5 sedangkan pada serat optik grade index berada sekitar 0,2 (Hoss, 1993). Untuk serat optik step index multimode dari bahan plastik berdiameter core besar, nilai NA berkisar pada rentang 0,3-0,5 (Krohn, 2000).

2.4 Pandu Gelombang Koordinat Silinder

Serat optik merupakan media pemanduan gelombang yang berbentuk koordinat silinder. Untuk menganalisis pemanduan

gelombang pada serat optik tersebut dibutuhkan persamaan Maxwell yang memberikan hubungan antara medan magnet dan medan listrik. Dengan mengasumsikan sebuah bahan dielektrik isotropic, linier, muatan bebas dan yang tidak memiliki arus, bentuk persamaan Maxwell sebagai berikut:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.12)$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\nabla \cdot D = 0 \quad (2.14)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.15)$$

$$D = \epsilon E \text{ dan } B = \mu H \quad (2.16)$$

Parameter ϵ adalah permitivitas medium / konstanta dielektrik dan μ adalah permeabilitas medium (Keiser,1991). Pada persamaan (2.12) dan (2.13) menunjukkan bahwa antara medan listrik E dan medan magnet H saling terkopel satu sama lain. Dengan menerapkan operasi *curl* pada persamaan (2.12) dan menggunakan persamaan (2.13) dan dihasilkan :

$$\nabla \times (\nabla \times E) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times H) = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

Dengan menggunakan identitas vector sebagai berikut :

$$\nabla \times (\nabla \times A) = \nabla (\nabla \cdot A) - \nabla^2 A \quad (2.18)$$

, maka :

$$\nabla \times (\nabla \times E) = \nabla (\nabla \cdot E) - \nabla^2 E \quad (2.19)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14) bahwa $(\nabla \cdot E = 0)$, sehingga persamaan (2.17) menjadi:

$$\nabla^2 E = \epsilon \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.20)$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dengan menggunakan operasi *curl* pada persamaan (2.15), didapatkan :

$$\nabla^2 H = \epsilon \mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (2.21)$$

Persamaan (2.20) dan (2.21) tersebut disebut persamaan gelombang (Keiser, 1991). Pandu gelombang optik biasanya tersusun dari bahan dielektrik yang bersifat nonmagnetik, sehingga permeabilitas sama dengan permeabilitas ruang hampa,yaitu :

$$\mu = \mu_0 \quad (2.22)$$

Dengan memanfaatkan hubungan permitivitas listrik, yaitu:

$$\epsilon = \epsilon_0 n^2 \quad (2.23)$$

Maka persamaan (2.20) dapat dinyatakan dalam bentuk

$$\nabla^2 E = \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.24)$$

Karena kecepatan cahaya di dalam medium dinyatakan sebagai :

$$v = \frac{c}{n} \quad (2.25)$$

Dengan

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.26)$$

Maka persamaan (2.24) dapat ditulis sebagai :

$$\nabla^2 E = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.27)$$

Dan persamaan (2.21) ditulis sebagai:

$$\nabla^2 H = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (2.28)$$

Persamaan (2.27) dan (2.28) menunjukkan bahwa medan listrik E dan medan magnet H tidak saling terkopel satu sama lain (Lee, 1986). Secara umum persamaan (2.27) dan (2.28) dapat ditulis dalam persamaan:

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (2.29)$$

Ψ mempresentasikan medan harmonic E dan H yang tidak saling terkopel. Jika,

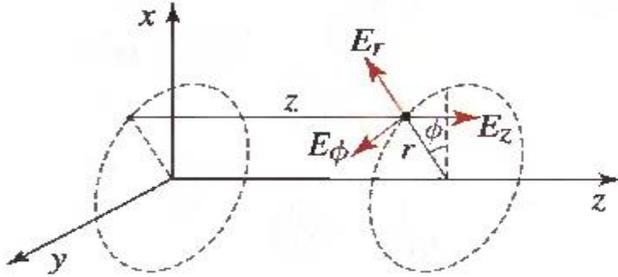
$$\psi = U e^{-i\omega t} \quad (2.30)$$

Maka dari persamaan (2.29) didapatkan persamaan:

$$\nabla^2 U + n^2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 U = 0 \quad (2.31)$$

$$\nabla^2 U + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (2.32)$$

Dengan $= \frac{\omega}{v}$, merupakan konstanta perambatan. Dari hubungan $n = \frac{c}{v}$ dan $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$, maka didapatkan $k = nk_0$ dengan indeks 0 yang menunjukkan medium vakum.



Gambar 2.6 Geometri serat optik dalam koordinat silinder (Saleh dan Teich, 2007).

Serat optik memiliki bentuk geometri berupa silinder, seperti pada gambar diatas. Gambar 2.5 memperlihatkan bahwa $n = n_1$ untuk $r < a$ pada inti serat optik, dan $n = n_2$ untuk $r > a$ pada cladding serat optik. Pada koordinat silinder, persamaan Helmholtz memiliki bentuk:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (2.33)$$

Dengan $U = U(r, \phi, z)$ merupakan amplitudo kompleks pada medan listrik (E) dan medan magnet (H). r, ϕ, z menyatakan posisi pada koordinat silinder. Pada persamaan(2.33), U mempresentasikan E_z dan H_z yaitu medan listrik dan medan magnet ke arah sumbu z . Jika diasumsikan amplitudo kompleks merambat ke arah z dinyatakan dalam bentuk:

$$U = U(r, \phi, z) = U(r) e^{-j(l\phi + \beta z)} \quad (2.34)$$

β merupakan konstanta perambatan, dan $l=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ menunjukkan periodisitas θ , dengan periode 2π dengan mensubstitusi persamaan (2.14) ke dalam persamaan (2.13) didapatkan persamaan diferensial biasa untuk $u(r)$;

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left(n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0 \quad (2.35)$$

Syarat gelombang terpancu adalah $n_2 k_0 < \beta < n_2 k_0$ untuk itu didefinisikan parameter sebagai berikut (Saleh and Teich, 2007);

$$k_\tau^2 = n_1^2 + k_0^2 - \beta^2 \quad (2.36)$$

Dan

$$\gamma^2 = \beta^2 - n_2^2 k_0^2 \quad (2.37)$$

Untuk gelombang terpandu k_τ^2 dan γ^2 bernilai positif, k_τ dan γ bernilai real. k_τ menyatakan komponen transversal gelombang yang terpandu di dalam inti serat optik. γ menyatakan komponen transversal gelombang yang berada di cladding serat optik atau yang disebut gelombang *evanescent*. Dengan demikian persamaan (2.35) dapat dipisahkan antara di inti(core) serat optik dan di cladding. Sehingga menjadi persamaan berikut;

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left(k_\tau^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0, r < a \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left(\gamma^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0, r > a \quad (2.39)$$

Persamaan (2.38) dan (2.39) berbentuk persamaan Bessel dengan solusi berupa fungsi Bessel. Agar fungsi tidak bernilai ∞ , di $r = 0$ (core) dan di $r \rightarrow \infty$ (cladding), maka solusi batasnya sebagai berikut;

$$U(r) \propto \begin{cases} J_l(k_\tau r), & r < a \\ J_l(\gamma r), & r > a \end{cases} \quad (2.40)$$

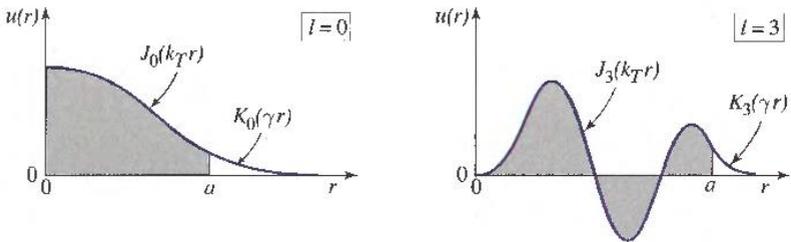
Dimana $J_l(x)$ merupakan fungsi Bessel jenis pertama dan orde 1, dan $k_l(x)$ merupakan fungsi Bessel yang termodifikasi jenis kedua dan orde 1. Pada batas $x \gg 1$, fungsi $J_l(x)$ beresilasi seperti fungsi sinus atau cosinus tetapi dengan amplitudo yang semakin berkurang dan $k_l(x)$ meluruh secara eksponensial dengan meningkatnya x (Saleh dan Teich, 1991).

$$J_l(x) \approx \left[\frac{2}{\pi x} \right]^{\frac{1}{2}} \cos \left[x - \left(l + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{2} \right], \quad x \gg 1 \quad (2.41)$$

$$K_l(x) \approx \left[\frac{\partial}{2x} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{4l^2 - 1}{8x} \right] e^{-x}, \quad x \gg 1 \quad (2.42)$$

Untuk nilai K_τ yang besar, distribusi medan di dalam core beresilasi secara cepat. Jika γ besar, maka penurunan amplitudo medan terjadi secara cepat sehingga penetrasi medan dalam bentuk gelombang di dalam cladding menjadi kecil.

Distribusi amplitudo medan di inti serat optik dan pada cladding serat optik untuk $l = 0$ dan $l = 3$ dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Distribusi radial amplitudo medan di core dan di cladding untuk orde 0 dan 3 (Saleh and Teich, 2007)

Jika persamaan (2.36) dan (2.37) dijumlahkan, maka diperoleh persamaan berikut:

$$K_{\tau}^2 + \gamma^2 = (n_1^2 - n_2^2)k_0^2 = (NA)^2 k_0^2 \quad (2.43)$$

Ruas kanan pada persamaan (2.23) bernilai konstan, sehingga jika k_{τ} memiliki nilai yang semakin besar maka γ bernilai semakin kecil, pada keadaan ini penetrasi medan ke cladding menjadi besar. Jika persamaan (2.23) dikalikan dengan a yang didefinisikan sebagai parameter V yang berkaitan dengan keadaan cut off (cut off parameter) atau frekuensi yang ternormalisasi yang didefinisikan sebagai berikut:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (2.44)$$

a merupakan jari-jari teras, λ merupakan panjang gelombang. Sedangkan jumlah moda yang terpandu dalam serat optik didefinisikan dengan :

$$M = \frac{4}{\pi^2} V^2 \quad (2.45)$$

Jika V pada serat optik $< 2,408$ maka mode yang dapat dipandu hanya satu dan apabila $V \geq 2,408$ maka mode yang dapat dipandu pada serat optik lebih dari satu (Saleh and Teich, 2007).

2.5 Teori Moda Tergandeng

Untuk menjelaskan teori moda terganggu ditinjau dua buah kanal A dan B dengan lebar gap (S) dan jarak interaksi (Z) seperti pada gambar 2.8. Apabila dua medan listrik gelombang

optik moda TE yang merambat secara sendiri dalam arah z pada kanal A dan B berkonstanta propagasi efektif β_A dan β_B .



Gambar 2.8 Susunan kanal dalam *directional coupler*

Apabila lebar gap cukup besar maka gelombang *evanescent* moda dasar dari kedua kanal di sepanjang daerah gap tidak menimbulkan kopling, sehingga pada masing-masing kanal gelombang optik moda dasar tersebut dapat merambat secara individu, dapat dinyatakan pada persamaan 2.46a dan 2.46b.

$$e_A(x, y, z) = A(0)e_A(x, y)\exp(j\beta_A z) \quad (2.46a)$$

$$e_B(x, y, z) = B(0)e_B(x, y)\exp(j\beta_B z) \quad (2.46b)$$

$e_A(x, y)$ dan $e_B(x, y)$ merupakan komponen medan listrik transversal dari gelombang optik, $A(0)$ dan $B(0)$ adalah amplitudo yang selalu konstan sepanjang perambatannya.

Apabila lebar gap kedua kanal sangat kecil maka gelombang *evanescent* moda dasar disepanjang daerah gap tersebut saling memberikan gangguan (*perturbation*) kopling antar keduanya menyebabkan amplitudo gelombang optik yang merambat pada masing-masing kanal berubah sepanjang jarak rambatnya. Amplitudo yang berubah sepanjang penjarannya tersebut dinyatakan dengan $\frac{\partial A(z)}{\partial z}$ dan $\frac{\partial B(z)}{\partial z}$ dan dinyatakan pada persamaan 2.47a dan 2.47b.

$$\frac{\partial A(z)}{\partial z} = -jK_{AB}B(z)\exp(-2j\delta z) - jK_{AA}A(z) \quad (2.47a)$$

$$\frac{\partial B(z)}{\partial z} = -jK_{BA}A(z)\exp(+2j\delta z) - jK_{BB}B(z) \quad (2.47b)$$

$\frac{\partial A(z)}{\partial z}$ merupakan perubahan amplitudo gelombang A, tetapi dipengaruhi gelombang B, $\frac{\partial B(z)}{\partial z}$ merupakan perubahan amplitudo gelombang B, tetapi dipengaruhi gelombang A. Dengan δ adalah besaran yang menyatakan ketidaksinkronan fasa antar kanal,

$$\delta = \frac{\beta_A - \beta_B}{2} \quad (2.48)$$

Dan K adalah koefisien kopling antar kanal,

$$K_{Ai} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\omega}{4} (\varepsilon_i(x, y) - \varepsilon(x, y)) e_i(x, y) e_A(x, y) dx dy, \quad i = A, B \quad (2.49)$$

Dengan ω merupakan frekuensi optik, $\varepsilon(x, y)$ merupakan tetapan dielektrik daerah gap, $\varepsilon_A(x, y)$ dan $\varepsilon_B(x, y)$ masing-masing adalah tetapan dielektrik kanal A dan kanal B. Untuk kedua kanal yang mempunyai dimensi dan distribusi indeks bias sama (besaran fasa yang sinkron) maka $K_{AB} = K_{BA} = K$. Harga K_{AA} dan K_{BB} diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan harga kopling antar kanal, sehingga persamaan (2.47) menjadi:

$$\frac{\partial A(z)}{\partial z} = -jKB(z) \exp(-2j\delta z) \quad (2.50a)$$

$$\frac{\partial B(z)}{\partial z} = -jKA(z) \exp(+2j\delta z) \quad (2.50b)$$

Dengan mendefinisikan persamaan (2.50) terhadap x dan mengeliminir B(z) atau A(z), maka didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 A(z)}{\partial z^2} + 2j\delta \frac{\partial A(z)}{\partial z} + K^2 A(z) = 0 \quad (2.51a)$$

atau

$$\frac{\partial^2 B(z)}{\partial z^2} - 2j\delta \frac{\partial B(z)}{\partial z} + K^2 B(z) = 0 \quad (2.51b)$$

Penyelesaian persamaan (2.51a) dan (2.51b) adalah,

$$A(z) = (D \exp(j\varsigma) + E \exp(-j\varsigma)) \exp(-j\delta z) \quad (2.52a)$$

dan

$$B(z) = (F \exp(j\varsigma) + G \exp(-j\varsigma)) \exp(+j\delta z) \quad (2.52b)$$

Dengan $\varsigma = K\sqrt{(1 + X^2)}$ dan $X = \frac{\delta}{K}$

Konstanta D, E, F, G besarnya tergantung pada panjang gelombang optik yang melewati kanal-kanal tersebut. Secara fisis

konstanta D, E, F, G menentukan seberapa besar daya gelombang optik yang dirambatkan pada tiap-tiap kanal. Sebagai akibat perubahan amplitudo maka medan listrik gelombang optik moda dasar yang merambat dalam kanal A dan kanal B dapat dinyatakan sebagai,

$$E_A(x, y, z) = A(z)e_A(x, y)\exp(j\beta_A z) \quad (2.53a)$$

$$E_B(x, y, z) = B(z)e_B(x, y)\exp(j\beta_B z) \quad (2.53b)$$

Selanjutnya bila A(z) dan B(z) dalam Persamaan (2.50) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.53) maka didapatkan,

$$E_A(x, y, z) = (D\exp(j\beta_0 z) + E\exp(j\beta_1 z))e_A(x, y) \quad (2.54a)$$

$$E_B(x, y, z) = (F\exp(j\beta_0 z) + G\exp(j\beta_1 z))e_B(x, y) \quad (2.54b)$$

Medan listrik gelombang optik yang merambat dalam directional coupler dapat didekati oleh superposisi dari $E_A(x, y, z)$ dan $E_B(x, y, z)$ dari persamaan (2.53). Persamaan medan listriknya dapat dinyatakan sebagai,

$$E(x, y, z) = e_0(x, y)\exp(j\beta_0 z) + e_1(x, y)\exp(j\beta_1 z) \quad (2.55)$$

Dengan,

$$e_0(x, y) = D e_A(x, y) + F e_B(x, y) \quad (2.56a)$$

$$e_1(x, y) = E e_A(x, y) + G e_B(x, y) \quad (2.56b)$$

$$\beta_0 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} + K\sqrt{1 + X^2} \quad (2.57a)$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} - K\sqrt{1 + X^2} \quad (2.57b)$$

Persamaan ini mempunyai arti bahwa bila lebar gap kedua kanal sangat kecil maka efek kopleng menyebabkan medan listrik gelombang optik dalam directional coupler terdistribusi atas medan listrik pada moda simetri dan anti simetri masing-masing merambat dengan tetapan propagasi efektif β_0 dan β_1 dan komponen medan listrik transversalnya dinyatakan berturut-turut oleh $e_0(x, y)$ dan $e_1(x, y)$. Perambatan moda simetri dan moda anti simetri adalah saling orthogonal, maka dengan menggunakan hubungan normalisasi orthogonalitas didapat $D = -G, E = F$ dan $D^2 + E^2 = 1$, kemudian harga D dan E dapat dinyatakan sebagai,

$$D = \sqrt{\frac{1}{2}\left(1 + \frac{X}{\sqrt{1+X^2}}\right)} \quad (2.58a)$$

$$E = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{X}{\sqrt{1+X^2}}\right)} \quad (2.58b)$$

Selanjutnya dari persamaan (2.54) dapat dinyatakan bahwa pada kanal A dan B, medan listrik gelombang optik yang merambat berbentuk,

$$E_A(x, y, z) = \psi_A(z)e_A(x, y) \quad (2.59a)$$

$$E_B(x, y, z) = \psi_B(z)e_B(x, y) \quad (2.59b)$$

Lengan amplitudo efektif gelombang A dan gelombang B dinyatakan sebagai,

$$\psi_A(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} (D \exp(j\beta_0 z) + E \exp(j\beta_1 z)) \quad (2.60a)$$

$$\psi_B(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} (D \exp(j\beta_0 z) - E \exp(j\beta_1 z)) \quad (2.60b)$$

Pada directional coupler simetri, harga ketidaksinkronan fasa kedua kanal (δ) adalah nol sehingga $X=0$. Dari persamaan (2.57) didapatkan $X=0$, harga β_0 dan β_1 adalah,

$$\beta_0 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} + K \quad (2.61a)$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} - K \quad (2.61b)$$

Sehingga,

$$\Delta\beta = \beta_0 - \beta_1 = 2K \quad (2.62)$$

Dari persamaan (2.58) untuk $X=0$ dipenuhi (Dosen Fisika ITS, 2014)

$$D = E = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.63)$$

Jika ke dalam kanal pertama ditransmisikan gelombang optik, maka sebagian berkasnya ter-*evanescent* ke kanal kedua. Berkas pada kanal kedua tersebut terpandu dan sebagian berkasnya ter-*evanescent* ke kanal pertama lagi. *Overlapping* antar gelombang *evanescent* yang saling berinterferensi mengakibatkan terjadinya proses perpindahan daya antar pandu gelombang kanal penyusun *directional coupler*. Jika interferensinya saling menguatkan akan terbentuk gelombang optik simetri dengan tetapan perambatan β_s , dan ketika interferensinya saling melemahkan maka akan terbentuk gelombang optik asimetri dengan tetapan β_a . Dalam proses perambatannya kedua moda

tersebut saling bersuperposisi. Sampai pada jarak L_c (panjang coupling) puncak superposisi pola medannya terletak pada kanal kedua dan semua dayanya dipindahkan ke kanal kedua dan ketika jaraknya dua kali panjang kopling ($z=2L_c$) semua dayanya terkopel kembali ke kanal pertama, demikian seterusnya (Rubiyanto, 2006).

2.6 Directional Coupler Konfigurasi 6x6

Salah satu peralatan yang merupakan sistem moda terkopel adalah directional coupler. Piranti optik directional coupler tersebut tersusun dari dua pandu gelombang yang saling berdekatan dalam orde panjang gelombang optik. Piranti/divais ini dapat mendistribusikan daya optik ke dua port atau lebih, dan atau sebaliknya mampu mengumpulkan daya optik ke port tunggal. Directional couler ini dapat bersifat aktif maupun pasif (Supadi dkk, 2006). Untuk serat optik tanpa losses persamaan yang berlaku untuk menyatakan besarnya daya yang terkopel adalah sebagai berikut;

$$P_2 = P_0 \sin^2(kz) \quad (2.64)$$

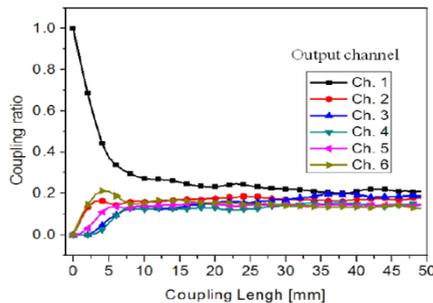
Untuk dua serat optik yang identik berlaku persamaan:

$$P_1 = P_0 - P_2 = P_0 [1 - \sin^2(kz)] = P_0 \cos^2(kz) \quad (2.65)$$

k merupakan koefisien coupling antar dua serat optik. Persamaan (2.47) menunjukkan bahwa fase perambatan daya pada serat optik pertama selalu lebih cepat 90° dibandingkan dengan fase perambatan daya pada serat kedua. Pada saat $z=0$, seluruh daya merambat melalui serat pertama (P_1). Pengurangan keterlambatan fase terjadi secara kontinu untuk setiap kenaikan z , sampai pada jarak tertentu, dimana $kz=\pi/2$. Pada jarak ini seluruh daya yang merambat pada serat optik pertama akan dipindahkan ke serat optik kedua (Sekartedjo dkk, 2007). Persamaan diatas juga menyatakan bahwa kopling dan transfer energy adalah linier dan berlaku prinsip superposisi gelombang (Jones Jr dan Willian B, 1998).

Terdapat banyak metode untuk membuat directional coupler dari bahan serat optik plastik selain Fused Biconical

Tapered, seperti side-polishing, twisting and fusing, molding, mixing rods, using hollow taper waveguide, one dimensional layer cavity, polymer rectangular waveguide. Metode-metode tersebut membutuhkan waktu yang lama dan teknologi yang canggih. Peneliti asal Honam University, Gwangju-Korea, 4 tahun lalu membuat coupler berbahan serat optik plastik konfigurasi 2x2, 4x4 dan 6x6 jenis persegi dengan metode heating and pressing yang menghasilkan rugi daya yang kecil. Pada dasarnya, beberapa serat optik plastik disusun persegi panjang, dan kemudian menyatu menjadi satu bentuk yang solid dengan cara heating and pressing. Pada daerah transisi, hal ini dimaksudkan bahwa setiap serat optik plastik adalah konversi secara adiabatic dari bentuk melingkar asli ke bentuk persegi tanpa perubahan luas penampang. Oleh karena itu tidak ada diskontinuitas structural sepanjang arah membujur dari gabungan, yang mengurangi excess loss. Wilayah gabungan dilapisi dengan epoxy yang memiliki indeks bias rendah, untuk melindungi dari dua kerusakan yaitu kerusakan mekanis dan kerusakan kontaminasi. Berkas optik diwilayah coupling di pandu oleh pemantulan dalam total pada antar muka antara gabungan serat optik plastik dan epoxy yang melapisi. Sebagai hasilnya, jika wilayah yang dikopling panjang maka diharapkan pembauran berkas optik yang lengkap dan membagi sama ke dalam saluran output tanpa kehilangan yang cukup besar. Berikut ini merupakan hasil dari fabrikasi dan karakterisasi yang telah dilakukan pada konfigurasi 6x6 (Kim, KT. 2013).



Gambar

2.9
Hubungan

coupling ratio terhadap panjang kopling konfigurasi 6x6. Gambar diatas menunjukkan hasil dari fabrikasi dan karakterisasi konfigurasi 6x6, bahwa input diberikan pada channel 1, dimana pada waktu itu tidak ada panjang kopling daya masih terkumpul pada channel 1. Sedangkan daya mulai terbagi pada panjang kopling 2,5 mm. hal yang menarik dalam semua kasus adalah nilai coupling ratio diri pada channel 1 selalu lebih tinggi dari pada nilai coupling ratio silang/channel lainnya. Coupling ratio pertama tidak mudah jenuh dibanding dengan yang lainnya. Pada dasarnya coupling ratio tergantung pada kondisi dimana sumber itu dimasukkan. Perbedaannya terletak pada ketika sumber optik mengalami penurunan, sehingga direktivitas dari sumber optik menngkat, panjang daerah gabungan sebaiknya harus ditingkatkan untuk mempertahankan nilai coupling ratio tetap sama (Kim, KT., 2013).

Coupler 6x6 lebih rumit daripada *coupler* 4x4 dan *coupler* 2x2, dikarenakan lebih banyak parameter geometri dan parameter fisis yang mempengaruhi karakteristiknya. Parameter-parameter pokok dalam divais *directional coupler* optik antara lain:

1. *Coupling ratio* (CR) atau *Splitting ratio*, merupakan proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada Port B1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu port A2, port B2 dan port C2 dengan menggunakan persamaan (Crisp,2001):

$$CR = \frac{P_{A2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2} + P_{D2} + P_{E2} + P_{F2})} \quad (2.66)$$

2. *Insertion loss* (L_{ins}) atau *port-to-port loss*, merupakan rugi sisipan yang terjadi karena daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya keluaran tunggal terhadap daya masukannya.

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{port\ keluaran}}{P_{port\ masukan}} \right) dB \quad (2.67)$$

Sebagai contoh, *Insertion loss* pada port B2 adalah :

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) dB \quad (2.68)$$

Selanjutnya rumus ini menunjukkan *Insertion loss* pada port B2 atau *port-to-port loss* antara Port B1 ke Port B2 (Crisp,2001).

3. *Excess loss* (L_e), adalah rugi daya total yang dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{\sum P_j}{P_i} \right) dB \quad (2.69)$$

Dengan P_j adalah daya keluaran dan P_i adalah daya masukan. Misalkan 13mW masuk kedalam perangkat atau input dan daya keluaran hanya 11mW, maka ada rugi daya 2mW. Energy cahaya terhambur dan diserap didalam coupler dan tidak didapatkan di saluran keluaran (Crisp,2001).

4. Direktivitas (*directivity*) atau *Crosstalk*, merupakan hamburan balik yang diukur pada port-port masukan, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$D = C_t = 10 \log \frac{P_{port\ balikan}}{P_{port\ input}} dB \quad (2.70)$$

Ketika daya masukan diberikan pada port A1, maka daya keluaran akan terdeteksi pada A2,B2,C2 bukan pada port B1 dan C1 yang merupakan port masukan lainnya. Namun karena hamburan balik didalam coupler, beberapa energy di pantulkan balik dan terdeteksi oleh port masukan lainnya (Crips, 2001).

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Pemotong serat optik
2. Cawan petri
3. BF5R-D1-N
4. Penggaris
5. Logam untuk *heating and pressing*
6. DIN rail
7. Selotip
8. Gunting
9. Cutter
10. Power supply
11. kabel jepit buaya
12. hot plate
13. Laser
14. Thermometer
15. Statip
16. Magnetic Holder

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah

1. Serat optik plastik step index multimode tipe FD-620-10 buatan Autonics
2. Aseton
3. Alumunium foil
4. Label
5. Akrilik
6. Pita kawat

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Tahap Fabrikasi

Pada tahap fabrikasi directional coupler ada beberapa langkah yang dilakukan, yaitu;

3.2.1.1 Pemotongan Serat Optik Plastik

Serat optik plastik diukur dengan penggaris kemudian dipotong sepanjang 200 mm sebanyak enam buah dengan menggunakan alat pemotong dan diberi label untuk memudahkan identifikasi. Keenam serat optik plastic tersebut diberi label A,B,C,D,E, dan F. Proses pemotongan serat optik dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.1 Alat pemotong serat optik buatan Autonics



Gambar 3.2 Pemotongan serat optik

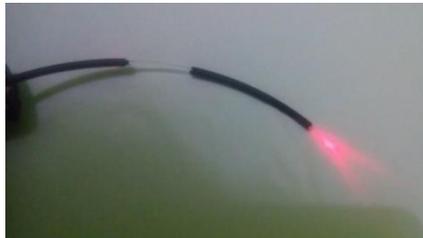
3.2.1.2 Pengupasan Coating

Coating serat optik plastik dikupas di tengah-tengah sepanjang 75 mm dan 55 mm. Pengupasan dilakukan dengan menggunakan alat pengupas serat optik yang terbuat dari akrilik. Serat optik plastik yang akan dikupas diletakkan ditengah-tengah bagian alat tersebut dengan keadaan lurus dan sejajar, lalu

diselotip pada kedua ujung agar tidak geser. Proses pengupasan coating ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengupasan coating serat optik. Setelah dikupas coatingnya dapat dilihat apakah ada cahaya yang bocor atau tidak dengan memberikan sumber cahaya pada salah satu ujung serat optik, seperti ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Serat optik yang telah dikelupas coatingnya.

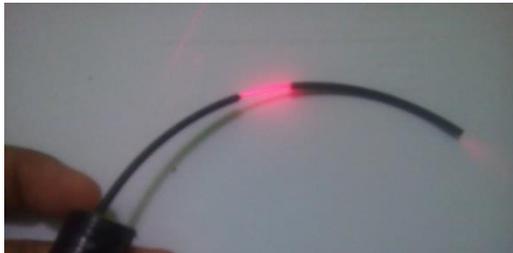
3.2.1.3 Perendaman

Serat optik plastik yang telah dikupas, direndam pada cawan yang berisi cairan aseton. Perendaman ini dilakukan selama ± 60 menit sehingga bagian cladding dapat terkelupas agar permukaan serat optik menjadi rata dan memiliki ketebalan yang sama. Proses perendaman dapat dilihat pada gambar 3.5.



/

Gambar 3.5 Proses perendaman dengan menggunakan aseton. Untuk mengetahui cladding telah terkelupas atau belum, dapat dilakukan dengan memberikan sumber cahaya pada salah satu ujung serat optik. Jika terlihat terang pada bagian yang dikelupas berarti cahaya sudah terhambur keluar, dapat dilihat pada gambar 3.6.

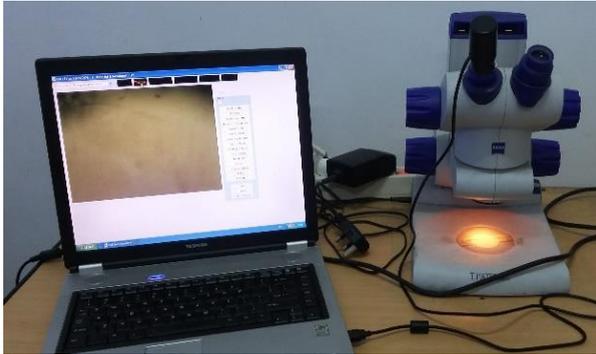


Gambar 3.6 Serat optik yang telah dikelupas claddingnya.

3.2.1.4 Uji Kerataan

Hasil dari pengupasan dan perendaman serat optik plastik tidak dapat dilihat secara jelas dengan mata manusia, sehingga diperlukan pengamatan lebih detail. Pengamatan tersebut dilakukan dengan menggunakan *Stereo Microscope #3 – Carl Zeiss Stemi DV4* dan Mikroskop Optik diperoleh hasil yang lebih terlihat jelas.

Uji kerataan serat optik plastik dilakukan dengan menggunakan *Stereo Microscope #3 – Carl Zeiss Stemi DV4* di Laboratorium Metal Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Proses pengamatan ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses Uji Kerataan

Gambar 3.8 adalah contoh dari hasil pengamatan menggunakan *stereo microscope*. Pada Gambar 3.8 ini memperlihatkan hasil pengamatan pada serat optik yang tidak diberikan sinar laser, sehingga belum diketahui dengan jelas kerataan core serat optik yang telah dipoles. Pengambilan gambar ini menggunakan perbesaran 2000 μm , perbesaran dilakukan untuk memperjelas bagian-bagian serat optik yang diamati.

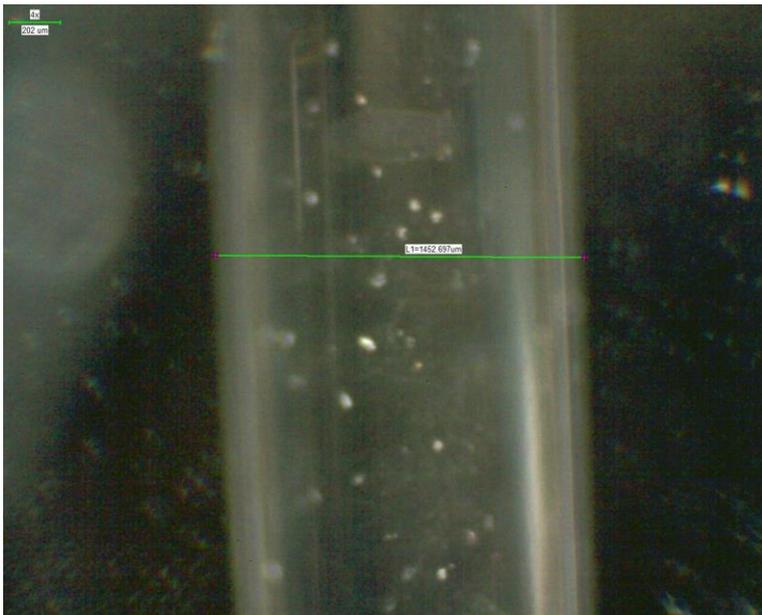


Gambar 3.8 Serat optik hasil pengamatan *stereo microscope*

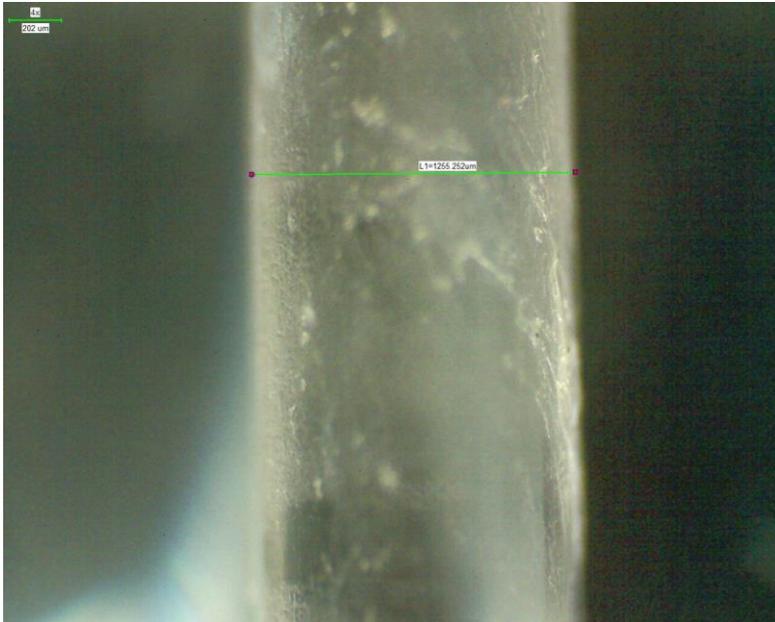
Pengamatan menggunakan mikroskop optik diperoleh hasil diameter core dan cladding serat optik. Pengamatan ini dilakukan di Laboratorium Optoelektronika Departemen Fisika ITS. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 2.10 dan 2.11.



Gambar 3.9 Mikroskop Optik



Gambar 3.10 Core dan cladding dengan diameter 1,45 mm

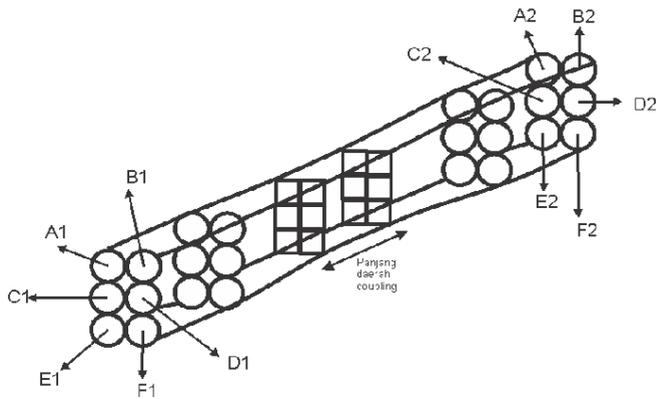


Gambar 3.11 Core dengan diameter 1,25 mm

3.2.1.5 Penggandengan

Tahap penggandengan ini merupakan tahap terakhir fabrikasi *directional coupler* serat optik. Penggandengan dilakukan dengan cara menggandengkan keenam serat optik dengan metode *heating and pressing*. Cetakan logam dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* sampai mencapai suhu konstan $\pm 120^{\circ}$ C. Alat *pressing* ini terdiri dari cetakan *pressing* sebagai tempat meletakkan serat optik dan batang untuk penekan. Panjang cetakan *pressing* sebesar 35 mm dan mempunyai lebar sebesar 17 mm.

Serat optik yang telah direndam dan telah diuji kerataannya kemudian dilakukan penggandengan. Serat optik yang dikupas diletakkan di tempat cetakan *pressing* yang sudah dipanaskan. Serat optik disusun tiga-tiga saling membelakangi seperti gambar 3.12.



Gambar 3.12 Susunan serat optik plastik konfigurasi 6x6 Setelah serat optik ditumpuk kemudian dilakukan penekanan (pressing) dengan alat penekan sampai serat optik terganggu dengan baik. Gambar 3.13 dan 3.14 merupakan proses saat melakukan metode *Heating and Pressing*.



Gambar 3.13 Proses pemanasan cetakan dengan hotplate



Gambar 3.14 Pengandengan serat optik

3.2.2 Tahap Karakterisasi Directional Coupler

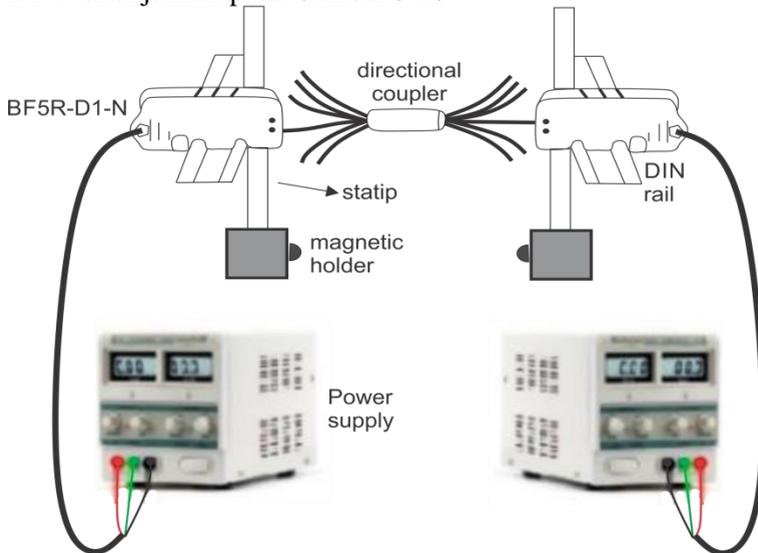
Serat optik yang telah difabrikasi, kemudian dilakukan karakterisasi yang ditunjukkan pada gambar 3.17. Karakterisasi directional coupler serat optik plastik dilakukan dengan menggunakan BF5R-D1-N. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai Coupling Ratio (CR) dan Excess Loss (Le).

BF5R-D1-N ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima oleh serat optik plastik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5R-D1-N yaitu sebagai sumber cahaya dan sebagai fotodetektor. Alat bertipe BF5R-D1-N ini memiliki sumber cahaya LED merah dengan panjang gelombang 660 nm, arus maksimumnya 50 mA, power supply 12-24 Volt DC $\pm 10\%$. Waktu respon BF5R-D1-N ini adalah 500 μ s (standart), dan outputnya Pin (level light) 0-4000.

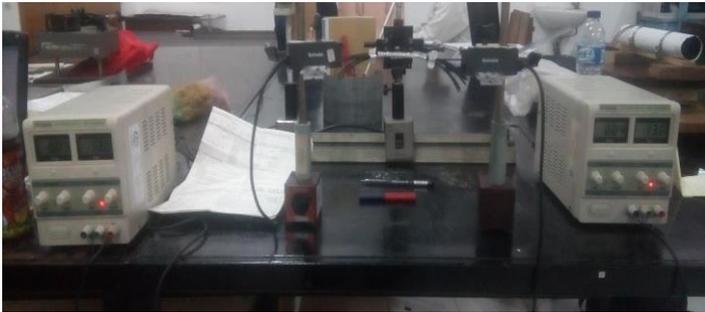


Gambar 3.15 Sensor BF5R-D1-N buatan Autonics

Rangkaian alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ditunjukkan pada Gambar 3.16.



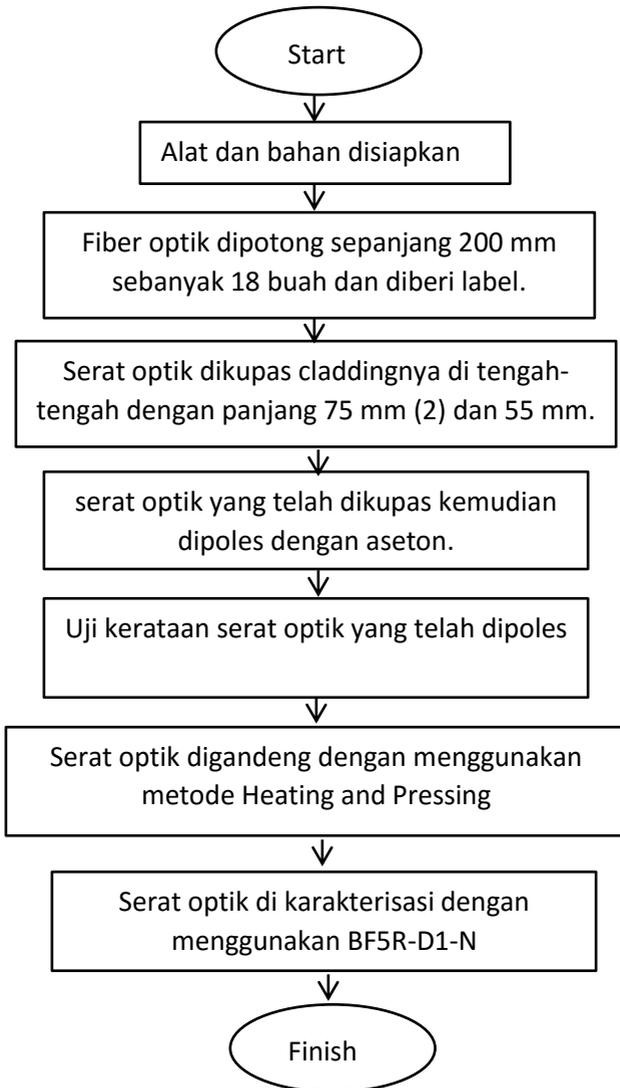
Gambar 3.16 Set up alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada directional coupler



Gambar 3.17 Proses karakterisasi dengan BF5R-D1-N

Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas DIN rail agar dapat berdiri tegak dan sejajar. Sumber tegangan yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah tegangan DC dari power supply sebesar 14,1 Volt, besar tegangan ini berada pada rentang nilai tegangan kerja BF5R-D1-N. Untuk mengetahui karakteristik dari directional coupler yang telah difabrikasi, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan BF5R-D1-N pada masing-masing port keluaran sebanyak 20 kali pengulangan. BF5R-D1-N yang dihubungkan dengan port masukan A1, B1, C1, D1, E1, dan F1 digunakan sebagai sumber cahaya dan dipasang secara bergantian pada tiap port. Sementara BF5R-D1-N yang dihubungkan dengan port keluaran A2, B2, C2, D2, E2, dan F2 digunakan sebagai detektor dan dipasang secara bergantian pada tiap port, untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan pada port A2, B2, C2, D2, E2, dan F2 dan juga untuk mendeteksi cahaya yang balik pada port A1, B1, C1, D1, E1, dan F1. Pada proses karakterisasi ini diperoleh data besar intensitas cahaya yang masuk dan cahaya yang keluar pada masing-masing port serat optik.

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.18 Diagram Alir Tahapan Penelitian.

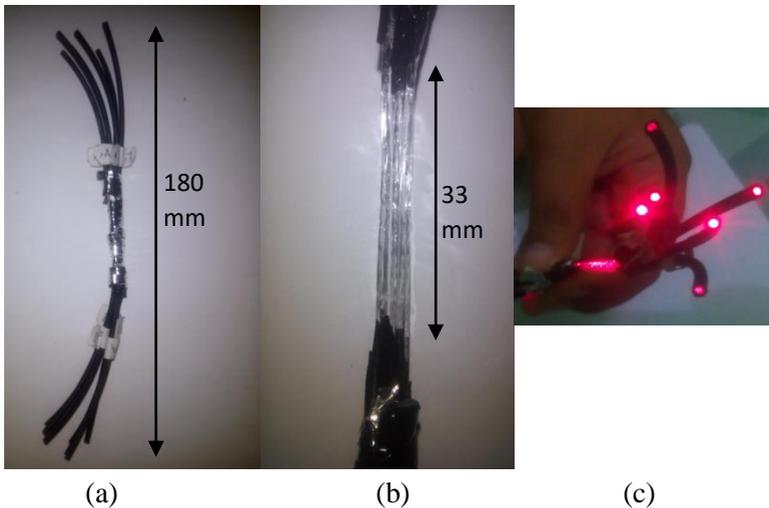
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Fabrikasi *Directional Coupler*

Pada penelitian ini telah difabrikasi 3 buah *directional coupler* dengan variasi panjang kupasan 55 mm dan 75 mm dibungkus dengan alumunium foil, serta panjang kupasan 75 mm tanpa menggunakan alumunium foil. Fabrikasi dilakukan dengan cara memotong fiber sebanyak 18 buah dengan panjang 200 mm menggunakan alat pada Gambar 3.1. Fiber yang telah dipotong kemudian dikupas claddingnya pada bagian tengah sepanjang 75 mm sebanyak 12 buah dan 55 mm sebanyak 6 buah dengan menggunakan alat pengupas ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pada bagian fiber yang telah dikupas coatingnya, kemudian dilakukan perendaman agar bagian claddingnya terkelupas dengan menggunakan *acetone* seperti pada Gambar 3.5. Dan diberikan label agar dapat dilakukan karakterisasi. Setelah dilakukan pengupasan dan perendaman, kemudian serat optik dilihat permukaan *core* nya dengan menggunakan *Stereo Microscope* dan mikroskop optik. Setelah itu dilakukan penggandengan pada bagian serat optik yang telah dikupas menggunakan metode *Heating and Pressing*. Proses penggandengan pun dilakukan dengan memanaskan cetakan wadah dan penekan logam dengan menggunakan hotplate.

Pada fabrikasi *directional coupler* fiber optik konfigurasi 6x6 dengan panjang kupasan 55 mm, menggunakan alumunium foil untuk membungkus core pada panjang kupasan fiber optik dan kemudian diikat dengan pita kawat. Pemanasan cetakan wadah dan logam penekan dengan menggunakan hotplane selama 15 menit dengan suhu 200°C dan diukur suhu pada cetakan $\pm 120^{\circ}\text{C}$. Serat optik yang telah disiapkan tersebut kemudian dilakukan *Heating and Pressing* selama 7 menit. Saat serat optik ditempatkan pada wadah logam, wadah logam tersebut berkurang suhunya menjadi 104,6° C. Setelah selesai *Heating and Pressing*, *Hotplate* dimatikan dan fiber optik dalam wadah didiamkan ± 3

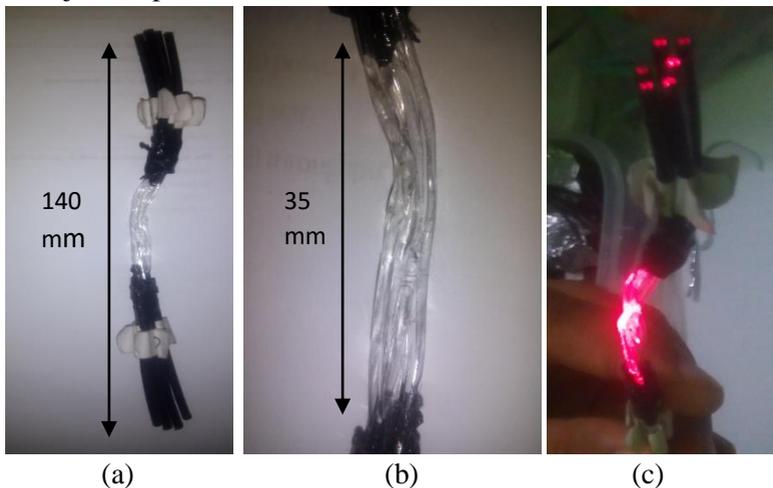
menit agar dingin untuk meminimalisir terjadinya keretakan. Setelah serat optik dapat diambil kemudian dibuka aluminium foilnya untuk melihat apakah fiber tersebut sudah terganggu atau belum dan terjadi kepatahan atau tidak. Fiber yang telah dipanaskan tersebut diukur berapa panjang daerah yang terganggu. Pada fabrikasi ini fiber mengalami penyusutan sepanjang 22 mm, sehingga daerah yang terganggu sepanjang 33 mm. Karena fiber sudah terganggu dan tidak patah serta telah diukur panjang daerah interaksinya, maka aluminium foil dan pita kawat dipasang kembali untuk dilakukan karakterisasi. Hasil fabrikasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil fabrikasi *directional coupler* panjang kupasan 55 mm (a) dibungkus aluminium foil (b) aluminium foil dibuka panjang interaksi 33 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port

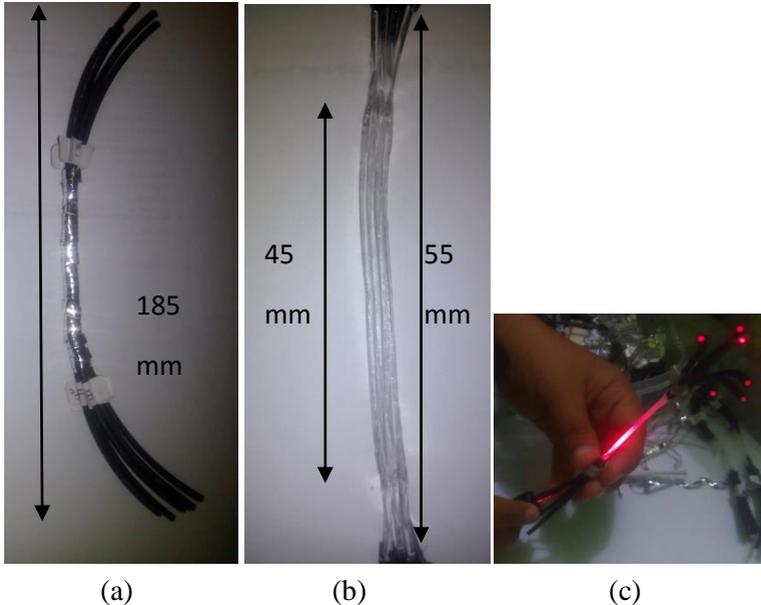
Pada fabrikasi *directional coupler* serat optik konfigurasi 6x6 dengan panjang kupasan 75 mm tanpa menggunakan pembungkus aluminium foil, hanya dilakukan pengikatan dengan pita kawat dibagian kanan dan kiri pada batas daerah panjang kupasan. Pemanasan cetakan wadah dan logam penekan dengan

menggunakan hotplane selama 15 menit dengan suhu 200°C dan diukur panas pada logam hanya $\pm 125,8^{\circ}\text{C}$. Serat optik yang telah disiapkan tersebut kemudian dilakukan *Heating and Pressing* selama 15 menit. Saat serat optik ditempatkan pada wadah logam, wadah logam tersebut berkurang suhunya menjadi $105,5^{\circ}\text{C}$. Perlakuan pada fabrikasi *directional coupler* dengan panjang kupasan 55mm juga dilakukan pada fabrikasi ini. Setelah selesai *Heating and Pressing*, *Hotplate* dimatikan dan fiber optik dalam wadah didiamkan dulu di wadah agar dingin untuk meminimalisir terjadinya keretakan, jika pengambilannya terlalu dipaksakan. Setelah serat optik dapat diambil kemudian serat optik tersebut dapat dilihat langsung, apakah fiber tersebut sudah terganggu atau belum dan terjadi kepatahan atau tidak. Fiber yang telah dipanaskan tersebut juga diukur berapa panjang daerah yang terganggu. Pada fabrikasi ini fiber mengalami penyusutan sepanjang 40 mm, sehingga daerah yang terganggu sepanjang 35 mm, dan kemudian dilakukan karakterisasi. Hasil fabrikasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil fabrikasi *directional coupler* panjang kupasan 75 mm (a) tidak dibungkus alumunium foil (b) panjang interaksi 35 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port

Pada fabrikasi *directional coupler* serat optik konfigurasi 6x6 dengan panjang kupasan 75 mm menggunakan pembungkus alumunium foil dan dilakukan pengikatan pita kawat pada daerah panjang kupasan. Pemanasan cetakan menggunakan hotplane selama 15 menit dengan suhu 200°C dan diukur suhu pada cetakan hanya $\pm 122,5^{\circ}$ C. Serat optik yang telah disiapkan tersebut kemudian dilakukan *Heating and Pressing* selama 10 menit. Saat serat optik ditempatkan pada wadah logam, wadah logam tersebut berkurang suhunya menjadi 106,2°C. Setelah selesai *Heating and Pressing*, *Hotplate* dimatikan dan fiber optik dalam wadah didiamkan dulu diwadah agar dingin untuk meminimalisir terjadinya keretakan. Setelah serat optik dapat diambil kemudian perlu untuk membuka alumunium foilnya untuk melihat apakah fiber tersebut sudah terganggu atau belum dan terjadi kepatahan atau tidak. Fiber yang telah dipanaskan tersebut juga diukur berapa panjang daerah yang terganggu, dan pada fabrikasi ini fiber mengalami penyusutan sepanjang 20 mm, daerah yang terganggu ditengah sepanjang 45 mm dan ada daerah yang tidak terganggu di kanan kiri sebelah daerah yang terganggu sepanjang 10 mm atau 5 mm dikanan dan 5mm dikiri. Karena fiber sudah terganggu dan tidak patah juga telah diukur panjang daerah couplingnya, maka alumunium foil dan pita kawat dipasang kembali untuk dilakukan karakterisasi. Pada saat karakterisasi nilai intensitas outputnya terlalu besar melebihi batas semua sehingga lapisan alumunium dilepas dan diganti dengan kertas gelap dan diikat kembali dengan pita kawat dan kemudian dikarakterisasi dengan BF5R-D1-N. Pemakaian alumunium foil untuk membungkus serat optik yang akan diganggu bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan serat optik setelah dilakukan *heating and pressing*. Serat optik yang menggunakan alumunium foil memiliki stuktur konfigurasi yang rapi dan lurus. Jika tidak menggunakan alumunium foil serat optik yang terkena panas akan melengkung-lengkung sehingga konfigurasinya tidak jelas. Hasil fabrikasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil fabrikasi *directional coupler* panjang kupasan 75 mm (a) dibungkus aluminium foil (b) panjang interaksi 45 mm (c) diberi sinar masukan disalah satu port.

4.2 Karakterisasi *Directional Coupler*

Proses karakterisasi *directional coupler* ini menggunakan 2 buah BF5R-D1-N. BF5R-D1-N (1) sebagai input dan BF5R-D1-N (2) sebagai output. Sinyal input BF5R-D1-N (1) diberikan pada port A1, B1, C1, D1, E1, dan F1 secara bergantian. Sinyal output pada port A2, B2, C2, D2, E2, dan F2 dikarakterisasi oleh BF5R-D1-N (2). Pada proses karakterisasi, display BF5R-D1-N (2) menampilkan nilai intensitas cahaya pada port-port serat optik hasil penggandengan. Sementara itu, BF5R-D1-N (1) selain sebagai input dapat juga digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya yang balik ke tiap port-port input yang nilainya ditampilkan pada display.

BF5R-D1-N sebagai sumber input dapat diukur dengan menggunakan serat optik tanpa perlakuan apapun. Mula-mula BF5R-D1-N di set dengan menggunakan *mode* sensitifitas *auto* dan respon standar dengan waktu respon 500 mikro detik. Pada *mode* ini, BF5R-D1-N memiliki kekurangan yaitu hanya dapat menunjukkan nilai maksimum sampai angka *incident light level* 4000 dan juga pada layar *incident light level* hanya mampu berubah dalam periode 0.5 detik, sehingga untuk proses pengambilan data yang akurat dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan fitur *set value* dan fitur data bank. Fitur *set value* merupakan fitur dengan metode pengambilan data dengan cara menentukan nilai-nilai yang memenuhi kriteria, selama proses pengambilan data direkam dan secara otomatis *display* akan menunjukkan hanya satu buah nilai yang telah diproses. Sedangkan fitur data bank merupakan fitur yang dapat merekam data pada saat proses pengambilan data, data-data tersebut dapat terekam ini kemudian dapat dilihat satu per satu, setelah proses perekaman data selesai. Untuk memudahkan pengambilan data digunakan *mode set value* untuk mengambil data. Nilai yang didapatkan untuk mendapatkan nilai input hanya ± 2200 au. Mengingat nilai input tersebut sangat kecil dan lebih kecil dari total output yang didapat, maka dilakukan *setting* ulang pada BF5R-D1-N dengan *mode* yang berbeda.

Mengingat nilai input yang didapatkan tadi sangat kecil, maka *mode* waktu respon diturunkan untuk dapat menampilkan *incident light level* maksimal yaitu 10000. Untuk menampilkan *incident light level* sampai 10000 agar mendapat nilai input yang lebih besar dari 4000 au maka BF5R-D1-N dapat di *setting* dengan *mode long*. Untuk alur pengaturan secara lengkap pada *mode long* dapat dilihat pada *datasheet* BF5R-D1-N pada lampiran 1. Dari pengukuran dengan menggunakan *mode long* ini telah diperoleh intensitas cahaya sumber yaitu 9437 au, yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Display intensitas cahaya input dengan *mode long* menggunakan BF5R-D1-N

Dari hasil karakterisasi yang telah dilakukan didapatkan nilai intensitas cahaya pada tiap-tiap *port* pada *directional coupler* yang telah difabrikasi yang dapat dilihat pada tabel 4.1 - 4.12.

Tabel 4.1 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port A1

panjang daerah interaksi (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	2041	1236	1070	796	701	510
35	1428	688	1885	766	778	1064
45	630	604	585	700	648	668

Tabel 4.2 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port B1

panjang daerah	Output (au)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	1596	1943	1660	720	772	646
35	933	785	1165	868	940	1091
45	512	530	385	658	546	600

Tabel 4.3 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port C1

panjang daerah	Output (au)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	802	691	1162	737	705	338
35	830	622	1087	621	812	1180
45	603	560	607	692	682	691

Tabel 4.4 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port D1

panjang daerah	Output (au)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	919	1388	1452	2265	1068	806
35	952	968	1590	1538	1470	1042
45	587	608	558	812	658	736

Tabel 4.5 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port E1

panjang daerah	Output (au)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	370	972	805	1129	2137	1936
35	993	885	1650	1224	1868	1362

45	528	503	579	634	718	694
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabel 4.6 Data intensitas cahaya pada port output *directional coupler* dengan input port F1

panjang daerah	Output (au)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	368	962	1586	1072	1898	1158
35	1095	870	1023	1188	1175	2026
45	390	394	395	501	441	450

Tabel 4.7 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port A1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	B1	C1	D1	E1	F1
33	554	80	177	104	330
35	470	134	82	115	199
45	785	722	814	799	749

Tabel 4.8 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port B1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	A1	C1	D1	E1	F1
33	288	187	228	239	269
35	182	117	247	106	126
45	826	752	784	726	878

Tabel 4.9 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port C1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	A1	B1	D1	E1	F1
33	61	72	170	27	120

35	120	140	75	247	313
45	812	799	804	733	807

Tabel 4.10 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port D1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	E1	F1
33	144	244	170	213	332
35	257	224	180	191	192
45	805	720	835	739	730

Tabel 4.11 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port E1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	F1
33	131	308	92	257	235
35	192	222	265	169	154
45	744	855	819	751	841

Tabel 4.12 Data intensitas cahaya balikan pada *directional coupler* dengan input port F1

panjang daerah	Output Balikan (au)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	E1
33	134	186	125	232	361
35	241	248	308	325	264
45	435	470	475	492	551

Nilai persentase daya *directional coupler* pada variasi panjang daerah interaksi dapat dilihat pada tabel 4.13 - 4.24.

Tabel 4.13 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port A1

panjang daerah	Output (%)
----------------	------------

interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	21.63	13.1	11.34	8.43	7.43	5.4
35	15.13	7.29	19.97	8.12	8.24	11.3
45	6.676	6.4	6.199	7.42	6.87	7.08

Tabel 4.14 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port B1

panjang daerah	Output (%)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	16.91	20.59	17.59	7.63	8.18	6.85
35	9.887	8.318	12.35	9.2	9.96	11.6
45	5.425	5.616	4.08	6.97	5.79	6.36

Tabel 4.15 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port C1

panjang daerah	Output (%)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	8.498	7.322	12.31	7.81	7.47	3.58
35	8.795	6.591	11.52	6.58	8.6	12.5
45	6.39	5.934	6.432	7.33	7.23	7.32

Tabel 4.16 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port D1

panjang daerah	Output (%)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	9.738	14.71	15.39	24	11.3	8.54
35	10.09	10.26	16.85	16.3	15.6	11
45	6.22	6.443	5.913	8.6	6.97	7.8

Tabel 4.17 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port E1

panjang daerah	Output (%)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	3.921	10.3	8.53	12	22.6	20.5
35	10.52	9.378	17.48	13	19.8	14.4
45	5.595	5.33	6.135	6.72	7.61	7.35

Tabel 4.18 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port F1

panjang daerah	Output (%)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	3.9	10.19	16.81	11.4	20.1	12.3
35	11.6	9.219	10.84	12.6	12.5	21.5
45	4.133	4.175	4.186	5.31	4.67	4.77

Tabel 4.19 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port A1

panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	B1	C1	D1	E1	F1
33	5.8705	0.8477	1.8756	1.102	3.4969
35	4.9804	1.4199	0.8689	1.2186	2.1087
45	8.3183	7.6507	8.6256	8.4667	7.9368

Tabel 4.20 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port B1

panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	A1	C1	D1	E1	F1
33	3.0518	1.9816	2.416	2.5326	2.8505
35	1.9286	1.2398	2.6174	1.1232	1.3352
45	8.7528	7.9686	8.3077	7.6931	9.3038

Tabel 4.21 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port C1

panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	A1	B1	D1	E1	F1
33	0.6464	0.763	1.8014	0.2861	1.2716
35	1.2716	1.4835	0.7947	2.6174	3.3167
45	8.6044	8.4667	8.5197	7.7673	8.5514

Tabel 4.22 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port D1

panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	E1	F1
33	1.5259	2.5856	1.8014	2.2571	3.5181
35	2.7233	2.3736	1.9074	2.0239	2.0345
45	8.5303	7.6295	8.8482	7.8309	7.7355

Tabel 4.23 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port E1

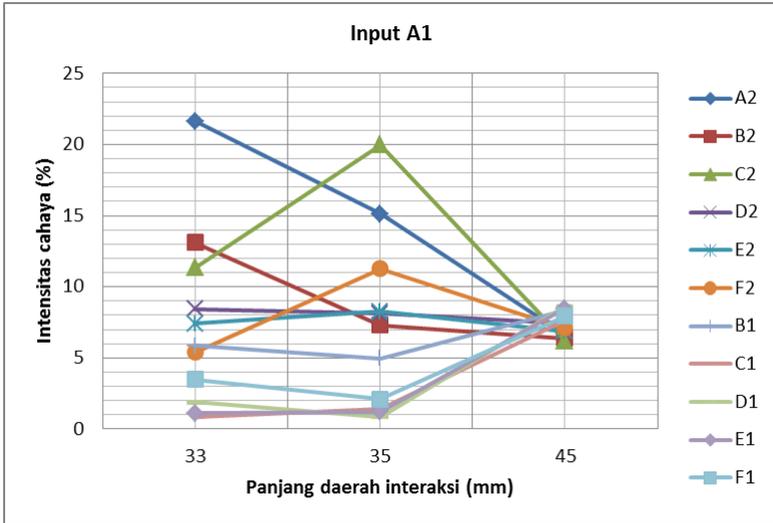
panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	F1
33	1.3882	3.2637	0.9749	2.7233	2.4902
35	2.0345	2.3524	2.8081	1.7908	1.6319
45	7.8839	9.0601	8.6786	7.958	8.9117

Tabel 4.24 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port F1

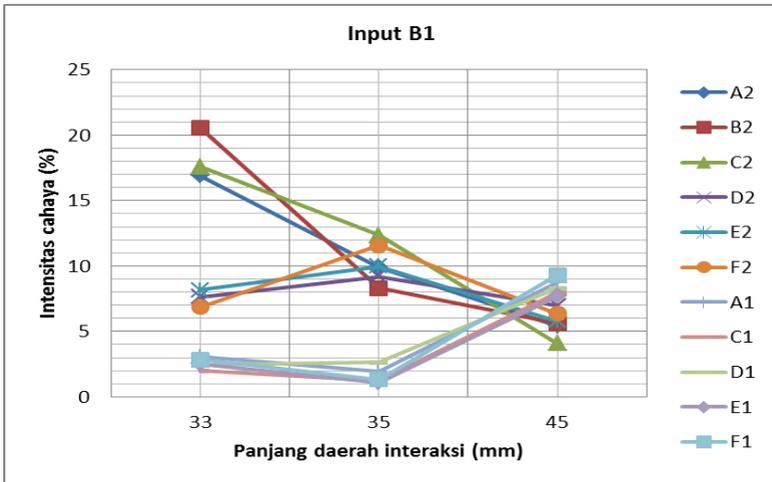
panjang daerah	Balikan (%)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	E1
33	1.4199	1.971	1.3246	2.4584	3.8254
35	2.5538	2.628	3.2637	3.4439	2.7975

45	4.6095	4.9804	5.0334	5.2135	5.8387
----	--------	--------	--------	--------	--------

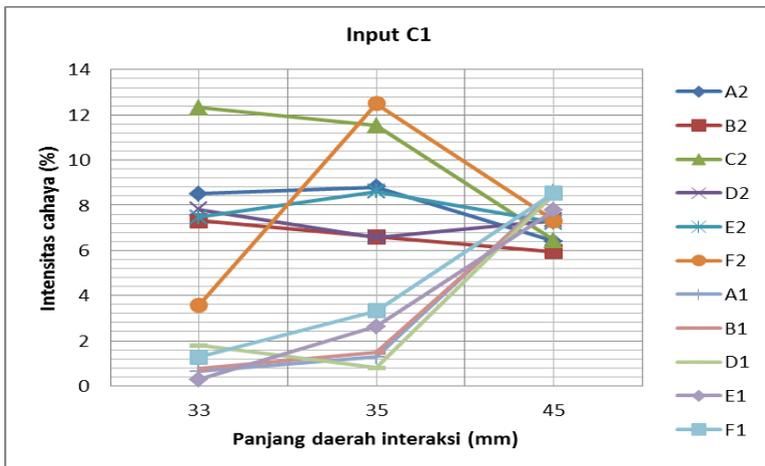
Dari data-data persentase intensitas cahaya yang telah diperoleh, maka dapat dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara panjang daerah *coupling* terhadap prosentase intensitas cahaya dapat dilihat Gambar 4.5 - 4.10



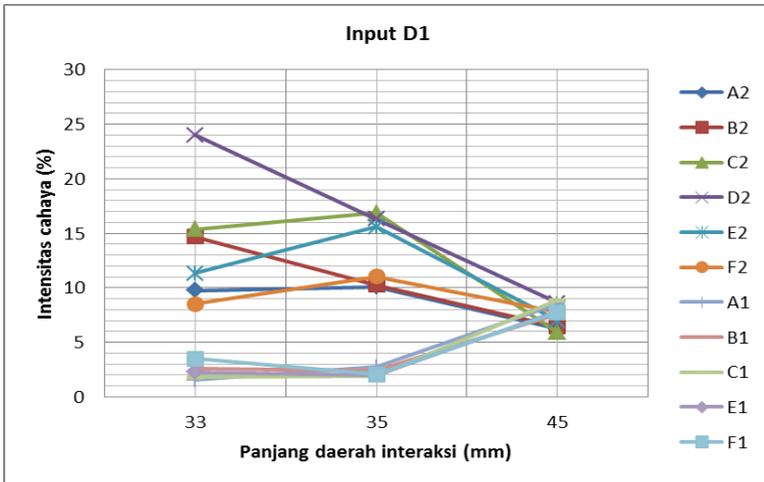
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input A1



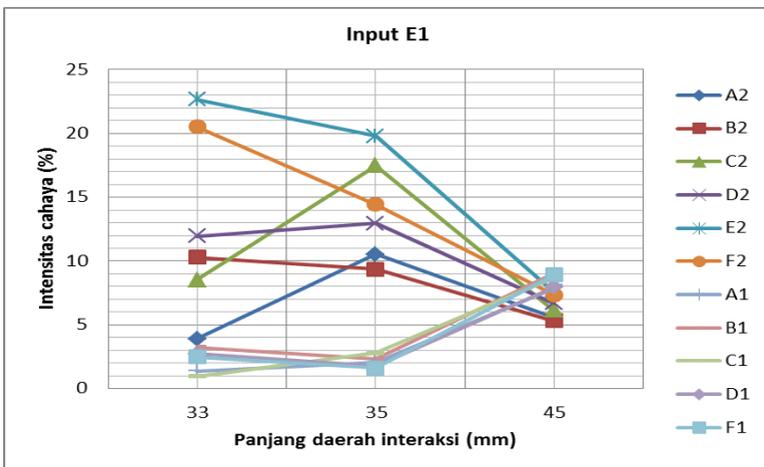
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input B1



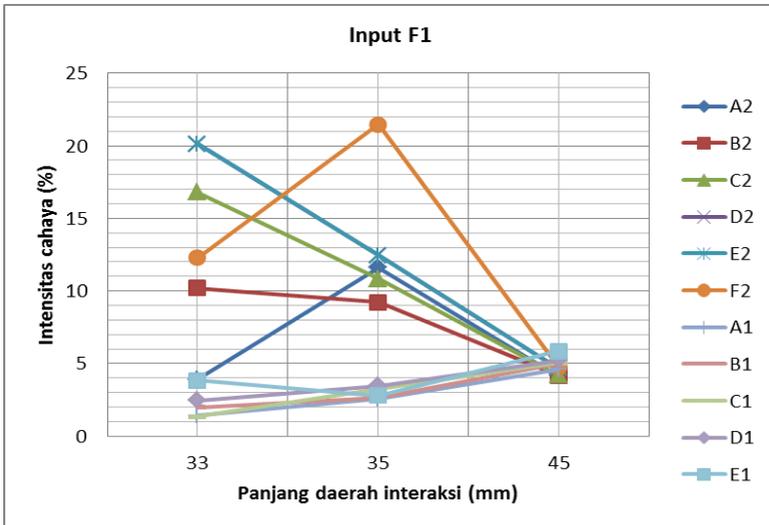
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input C1



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input D1



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input E1

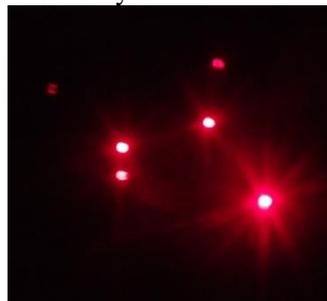


Gambar 4.10 Grafik hubungan antara intensitas cahaya output dan balikan terhadap panjang daerah interaksi dengan menggunakan input F1

Dari data-data di atas dapat dilihat pada masing-masing variasi panjang daerah coupling yang menunjukkan input yang dapat mengeluarkan output yang paling besar, seperti pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 33 mm pada input D1 menghasilkan intensitas cahaya pada output dengan jumlah yang paling besar dibandingkan dengan port port input lainnya, Gambar 4.11 - 4.13 berikut hasil ilustrasinya:

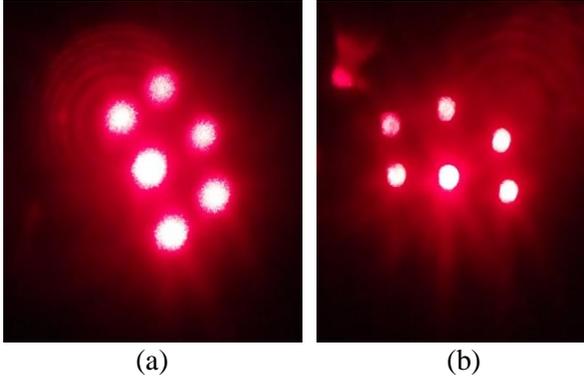


(a)

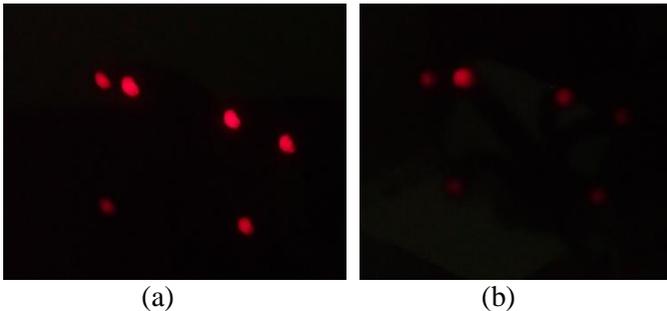


(b)

Gambar 4.11 Ilustrasi intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 33 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port D1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port C1.



Gambar 4.12 Ilustrasi intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 35 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port E1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port C1.



Gambar 4.13 Intensitas cahaya pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 45 mm (a) intensitas cahaya output paling terang saat input port D1 (b) intensitas cahaya output paling gelap saat input port F1.

Dari data-data yang telah diperoleh dan telah dihitung prosentasenya, kemudian dapat dihitung excess loss berdasarkan satuan decibel dengan menggunakan persamaan 2.66 pada tiap-tiap port serat optik yang telah difabrikasi directional coupler konfigurasi 6x6. Data excess loss disajikan pada tabel 4.25

Tabel 4.25 Data *exceeds loss* (dB) dari directional coupler yang telah difabrikasi

panjang daerah	Excess Loss (dB)					
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	E1	F1
33	-1.7	-1.1	-3.3	-0.77	-1.09	-1.27
35	-1.5	-2.1	-2.6	-0.96	-0.73	-1.07
45	-3.9	-4.7	-3.9	-3.77	-4.12	-5.65

Kemudian dapat dihitung nilai-nilai parameter directional coupler yang lain adalah *Coupling Ratio (CR)*, *Insertion Loss (Lins)* dan *Directivity* pada persamaan (2.68), (2.69) dan (2.70). Data hasil perhitungan CR tersebut disajikan dalam tabel 4.26 - 4.28.

Tabel 4.26 Data hasil perhitungan *Coupling Ratio (CR)* dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 33 mm

Input	Coupling Ratio (CR)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0.32	0.19	0.168	0.13	0.11	0.08
B1	0.22	0.26	0.226	0.1	0.11	0.088
C1	0.18	0.16	0.262	0.17	0.16	0.076
D1	0.12	0.18	0.184	0.29	0.14	0.102
E1	0.05	0.13	0.11	0.15	0.29	0.263
F1	0.05	0.14	0.225	0.15	0.27	0.164

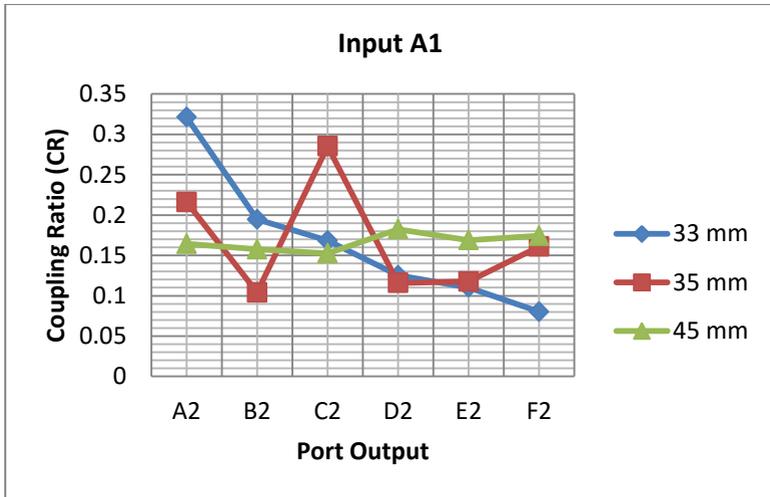
Tabel 4.27 Data hasil perhitungan *Coupling Ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 35 mm

Input	Coupling Ratio (CR)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0.216	0.104	0.285	0.116	0.118	0.161
B1	0.161	0.136	0.201	0.15	0.163	0.189
C1	0.161	0.121	0.211	0.121	0.158	0.229
D1	0.126	0.128	0.21	0.203	0.194	0.138
E1	0.124	0.111	0.207	0.153	0.234	0.171
F1	0.148	0.118	0.139	0.161	0.159	0.275

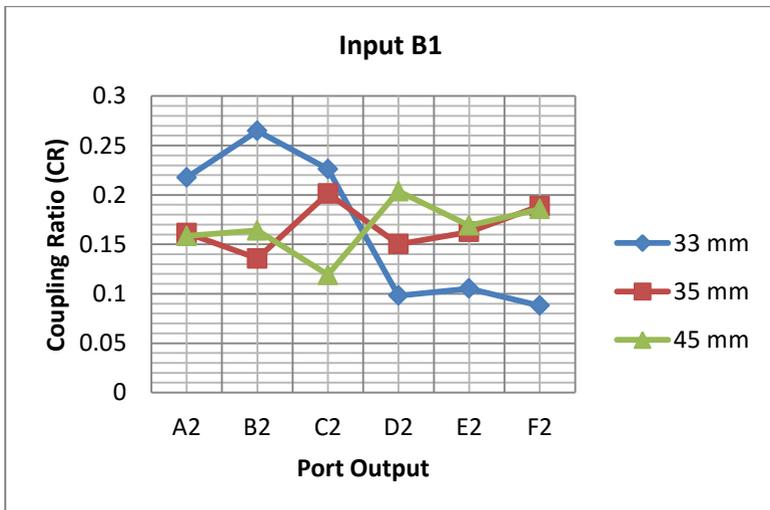
Tabel 4.28 Data hasil perhitungan *Coupling Ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah interaksi 45 mm

Input	Coupling Ratio (CR)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0.164	0.157	0.153	0.183	0.169	0.174
B1	0.158	0.164	0.119	0.204	0.169	0.186
C1	0.157	0.146	0.158	0.18	0.178	0.18
D1	0.148	0.154	0.141	0.205	0.166	0.186
E1	0.144	0.138	0.158	0.173	0.196	0.19
F1	0.152	0.153	0.154	0.195	0.172	0.175

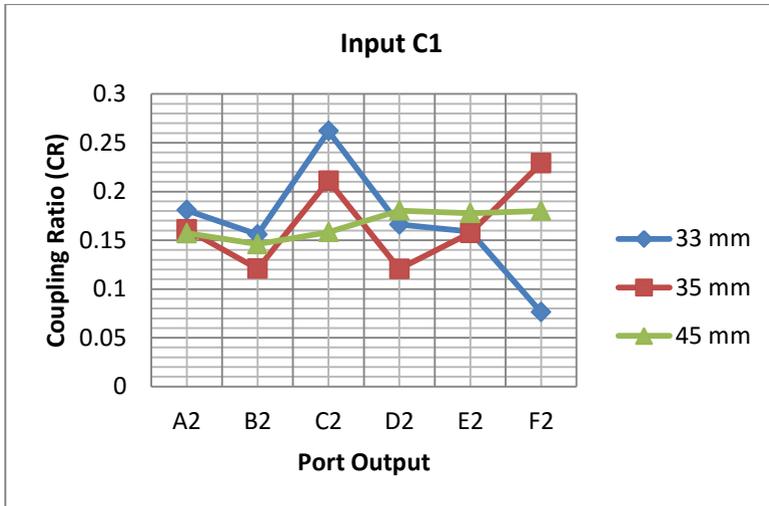
Dari data-data *coupling ratio* yang telah didapatkan, maka dapat dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara *coupling ratio* terhadap panjang daerah *coupling*. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.14 - 4.19



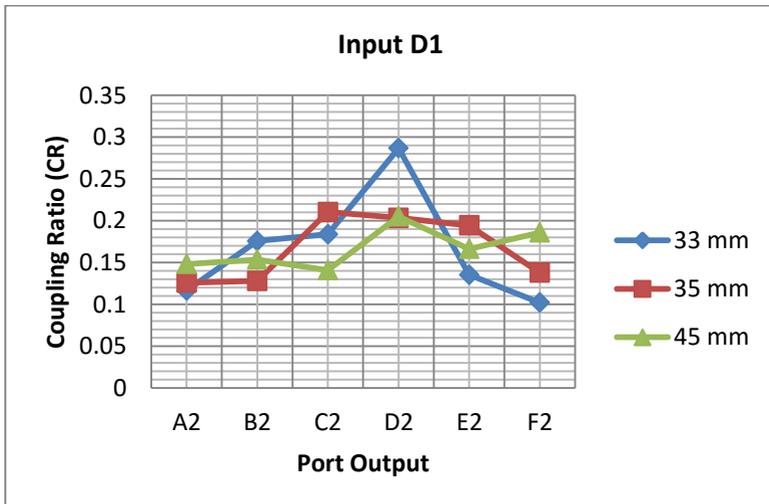
Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input A1



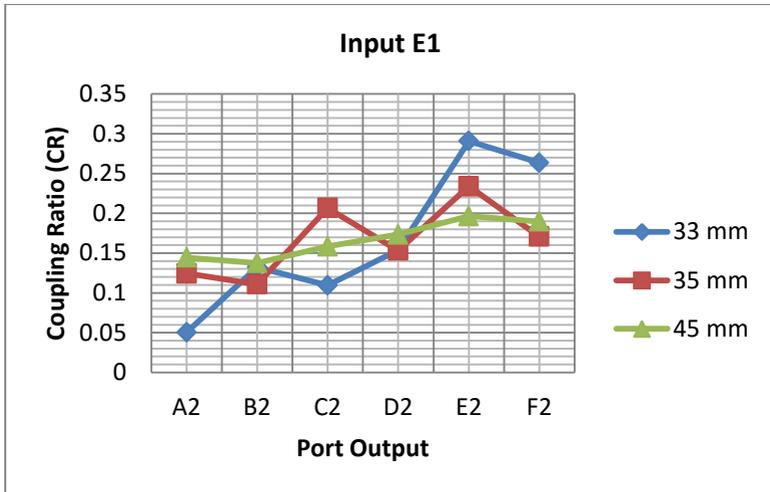
Gambar 4.15 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input B1



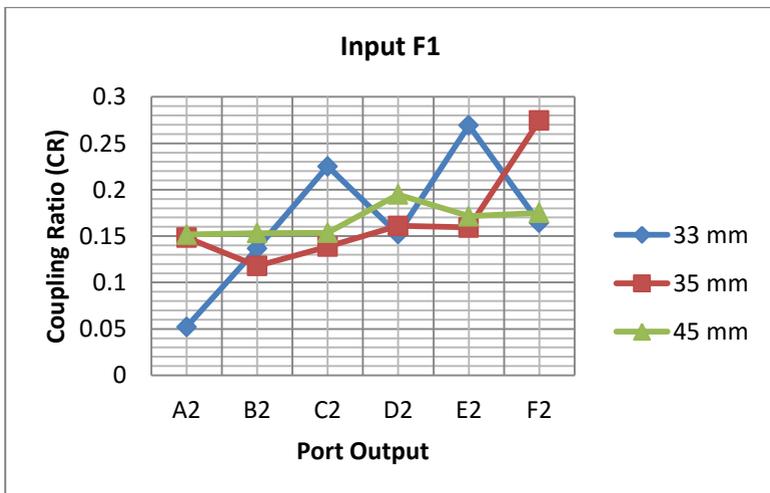
Gambar 4.16 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input C1



Gambar 4.17 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input D1

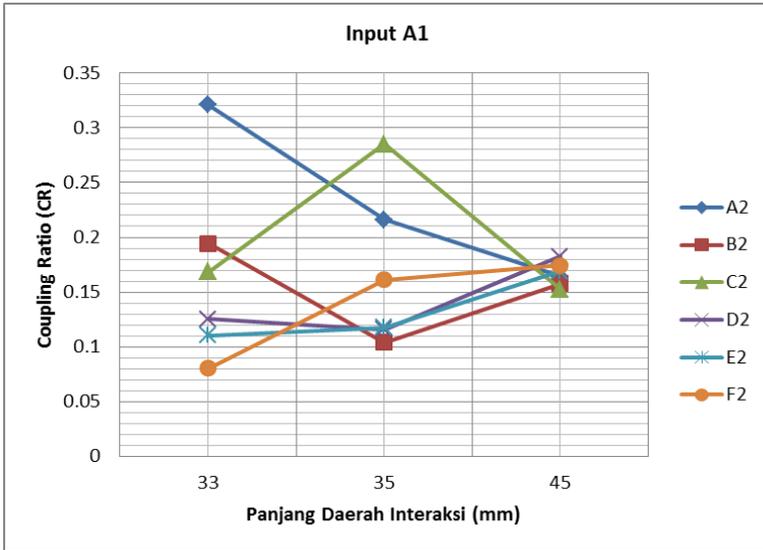


Gambar 4.18 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input E1

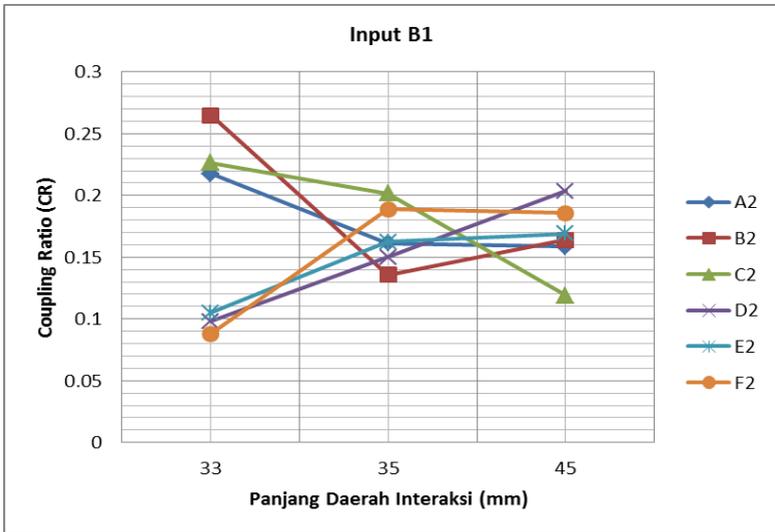


Gambar 4.19 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap port output pada variasi panjang interaksi pada port input F1

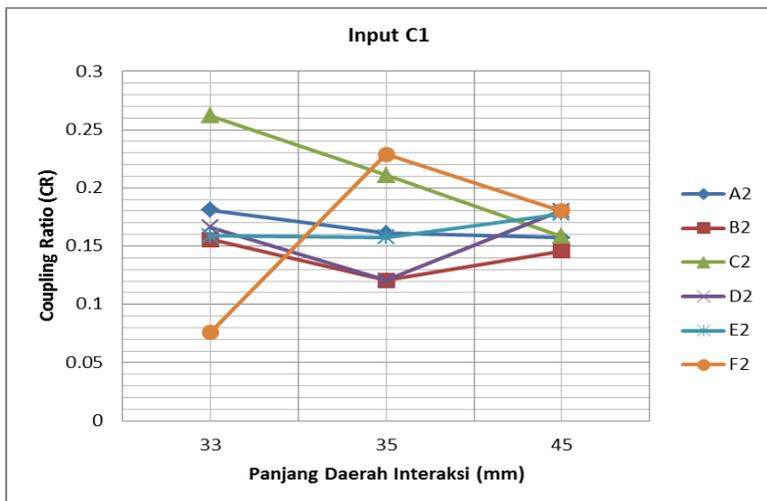
Selain itu, dapat juga dibuat hubungan nilai *coupling ratio* dengan panjang daerah *coupling*. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20 - 4.25



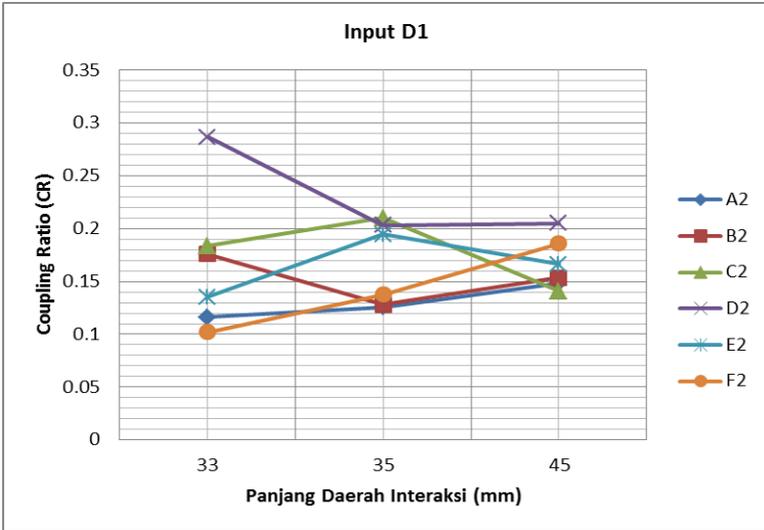
Gambar 4.20 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port A1



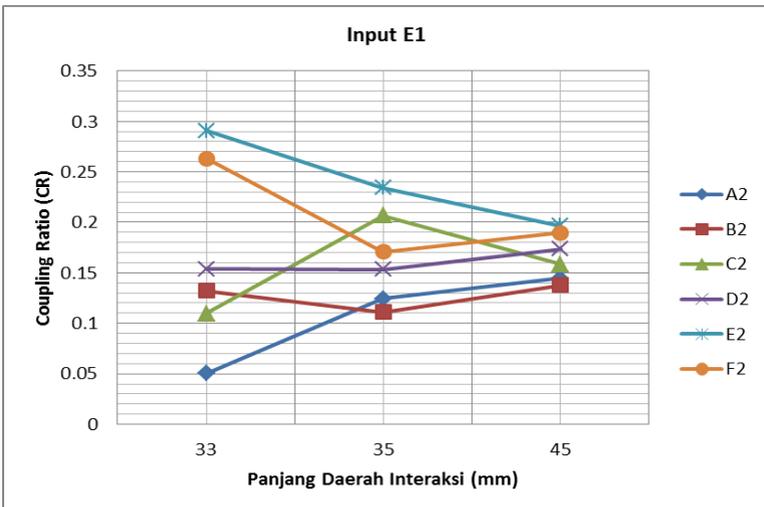
Gambar 4.21 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port B1



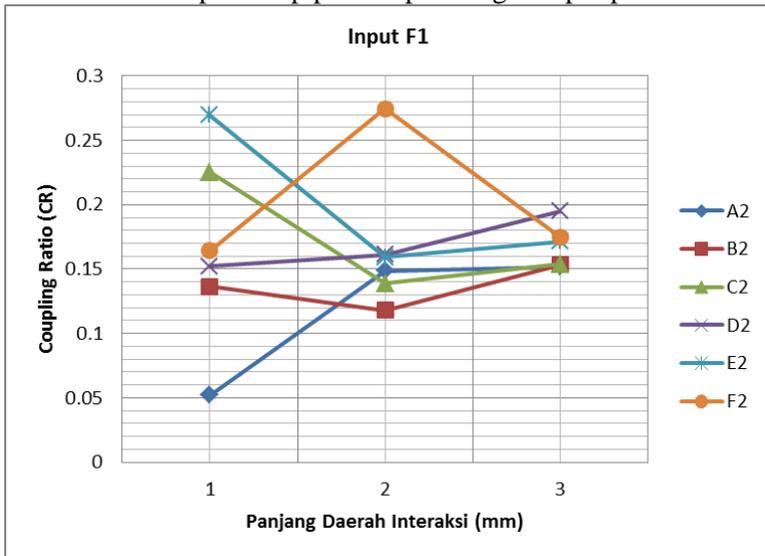
Gambar 4.22 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port C1



Gambar 4.23 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port D1



Gambar 4.24 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port E1



Gambar 4.25 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah interaksi pada tiap port output dengan input port F1

Nilai parameter *directional coupler* untuk *Insertion loss* dan *Directivity* juga telah dilakukan perhitungan, data disajikan pada tabel 4.29 – 4.40

Tabel 4.29 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input A1

panjang daerah interaksi (mm)	Insertion Loss(dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-6.65	-8.83	-9.5	-10.7	-11.3	-12.7
35	-8.2	-11.4	-7	-10.9	-10.8	-9.48
45	-11.8	-11.9	-12	-11.3	-11.6	-11.5

Tabel 4.30 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input B1

panjang daerah	Insertion Loss(dB)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-7.72	-6.86	-7.5	-11.2	-10.9	-11.6
35	-10	-10.8	-9.1	-10.4	-10	-9.37
45	-12.7	-12.5	-14	-11.6	-12.4	-12

Tabel 4.31 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input C1

panjang daerah	Insertion Loss(dB)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-10.7	-11.4	-9.1	-11.1	-11.3	-14.5
35	-10.6	-11.8	-9.4	-11.8	-10.7	-9.03
45	-11.9	-12.3	-12	-11.3	-11.4	-11.4

Tabel 4.32 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input D1

panjang daerah	Insertion Loss(dB)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-10.1	-8.32	-8.1	-6.2	-9.46	-10.7
35	-9.96	-9.89	-7.7	-7.88	-8.08	-9.57
45	-12.1	-11.9	-12	-10.7	-11.6	-11.1

Tabel 4.33 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input E1

panjang daerah	Insertion Loss(dB)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-14.1	-9.87	-11	-9.22	-6.45	-6.88
35	-9.78	-10.3	-7.6	-8.87	-7.03	-8.41
45	-12.5	-12.7	-12	-11.7	-11.2	-11.3

Tabel 4.34 Data hasil perhitungan *Insertion Loss directional coupler* pada input F1

panjang daerah	Insertion Loss(dB)					
interaksi (mm)	A2	B2	C2	D2	E2	F2
33	-14.1	-9.92	-7.7	-9.45	-6.97	-9.11
35	-9.35	-10.4	-9.6	-9	-9.05	-6.68
45	-13.8	-13.8	-14	-12.7	-13.3	-13.2

Tabel 4.35 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input A1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	B1	C1	D1	E1	F1
33	-12.3	-20.7	-17.3	-19.6	-14.6
35	-13	-18.5	-20.6	-19.1	-16.8
45	-10.8	-11.2	-10.6	-10.7	-11

Tabel 4.36 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input B1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	A1	C1	D1	E1	F1
33	-15.2	-17	-16.2	-16	-15.5
35	-17.1	-19.1	-15.8	-19.5	-18.7
45	-10.6	-11	-10.8	-11.1	-10.3

Tabel 4.37 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input C1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	E1	F1
33	-21.9	-21.2	-17.4	-25.4	-19
35	-19	-18.3	-21	-15.8	-14.8

45	-10.7	-10.7	-10.7	-11.1	-10.7
----	-------	-------	-------	-------	-------

Tabel 4.38 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input D1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	F1
33	-18.2	-15.9	-17.4	-16.5	-14.5
35	-15.6	-16.2	-17.2	-16.9	-16.9
45	-10.7	-11.2	-10.5	-11.1	-11.1

Tabel 4.39 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input E1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	F1
33	-18.6	-14.9	-20.1	-15.6	-16
35	-16.9	-16.3	-15.5	-17.5	-17.9
45	-11	-10.4	-10.6	-11	-10.5

Tabel 4.40 Data hasil perhitungan *Directivity directional coupler* pada input F1

panjang daerah	Directivity (dB)				
interaksi (mm)	A1	B1	C1	D1	E1
33	-18.5	-17.1	-18.8	-16.1	-14.2
35	-15.9	-15.8	-14.9	-14.6	-15.5
45	-13.4	-13	-13	-12.8	-12.3

4.3 Pembahasan

Pada *directional coupler* dengan panjang daerah interaksi 33 mm didapatkan bahwa proporsi intensitas cahaya yang lebih dominan adalah pada output yang memiliki label yang sama dengan inputnya, dapat dilihat pada tabel 4.1 - 4.6. Jika input diberikan pada port A1 maka output tersebar pada A2, namun hal

tersebut tak berlaku pada pemberian input pada F1. Saat input cahaya diberikan pada F1 hasil intensitas cahaya terbesar berada pada port E2. Hal tersebut disebabkan karena adanya lengkungan yang terlalu tajam akibat dari *Heating and Pressing*. Cahaya pada port F banyak berpindah ke port E karena port E dan F bersebelahan, sehingga intensitas cahaya output lebih banyak dideteksi di port E2. Lengkungan pada serat optik biasanya disebut dengan *bending*. Ketika proses perpindahan daya gelombang optik sesuai dengan teori moda terkopel, dimana core yang digabung dengan core serat optik lainnya, sehingga tidak ada celah antar core. Pada daerah core yang digabung ini terjadi kebocoran gelombang, yaitu moda orde tinggi pada serat optik yang satu berpindah ke serat optik yang lainnya sedangkan mode orde rendah tetap terpandu pada serat optik awal. Kebocoran gelombang dapat semakin besar apabila melewati daerah *bending*, sehingga daya gelombang optik yang dipindah ke serat optik lainnya lebih besar. Hal tersebut terjadi pada saat input menggunakan port F1. Untuk nilai parameter *directional coupler*, *Coupling Ratio* yang didapatkan pada hasil fabrikasi ini nilai proporsi daya *directional coupler* yang sesuai dengan teori moda terkopel. Dapat dilihat pada tabel 4.26 dan gambar 4.14 *directional coupler* yang diberi input A1 memiliki nilai *coupling ratio* yang paling besar pada output A2, terbesar kedua berada pada B2 dan C2, terbesar ketiga pada D2 dan E2, dan yang paling rendah F2. Hal tersebut dikarenakan lebar *gap* yang kecil pada daerah *coupling*, atau bisa disebut berhimpit, dalam hal ini seperti antara core A berhimpit dengan core B dan C. Begitu juga dengan port F, dapat dilihat pada tabel 4.26 dan gambar 4.19 meskipun nilai output terbesar adalah E2 namun dalam hal parameter *Coupling Ratio* nilai antara E2 dan F2 tidak beda jauh dikarenakan lebar *gap* yang kecil. Adanya *coupling* berpengaruh terhadap perambatan daya gelombang optik disepanjang core. Jika diberikan gelombang optik yang masuk pada *input* A1, maka sebagian berkas cahaya ter-*evanescent* menuju core C dan B sepanjang daerah *coupling*. Berkas pada core C dan B terpandu

dan sebagian berkasnya akan ter-*evanescent* kembali pada port A. *Overlapping* antar gelombang *evanescent* yang saling berinterferensi mengakibatkan terjadinya proses perpindahan daya antar *core* tersebut. Pada *core* D yang terletak diagonal dengan *core* A, memiliki lebar gap yang lebih besar dibanding dengan antara *core* A dengan *core* B dan C, itu terjadi apabila proses fabrikasi tersusun sempurna, dimana hal tersebut menyebabkan daya pada *core* D lebih dominan mendapatkan efek *coupling* dengan *core* C dan B yang berada disebelahnya. Dan ada kemungkinan lain yaitu, jika *core* D memiliki jarak yang cukup jauh dengan *core* A maka disepanjang tidak menimbulkan efek *coupling* antara *core* A dan D, sehingga daya pada *core* D memang hanya akibat dari efek gandengan dari *core* C dan D saja. Interaksi efek *coupling* ini saling mempengaruhi antara *core* yang satu dengan *core* yang berada di sebelahnya sepanjang daerah *coupling*, sehingga jika *core* yang terletak jauh dari *core* input yang diberikan maka nilai *coupling ratio* yang diperoleh juga kecil. Nilai *coupling ratio* pada fabrikasi ini dengan input D1 yaitu 0,12: 0,18: 0,184: 0,29: 0,14: 0,102, sesuai dengan rentang nilai *coupling ratio* yang telah dilakukan (Kim,KT. 2013) dapat dilihat pada gambar 2.9, sehingga hasil fabrikasi yang telah dilakukan ini dapat digunakan sebagai pembagi berkas dan pembagi daya cahaya. Pada gambar grafik 4.14 - 4.19, dapat dilihat bahwa pada input A1 memiliki persebaran daya yang anti simetri dengan F1, B1 anti simetri dengan E1, dan C1 anti simetri dengan D1.

Pada *directional coupler* hasil fabrikasi dengan panjang interaksi 33 mm memiliki rugi daya yang cukup kecil dari rentang -2,6 - -0,73 dB, dapat dilihat pada tabel 4.25. Rugi-rugi daya ini biasa disebut dengan *Excess Loss* (Le). Rugi daya disebabkan bagian *core* yang ikut tergores sedikit dibagian ujung-ujung batas daerah kupasan saat proses pengupasan *cladding*. Penggunaan aluminium foil dan pita kawat saat proses karakterisasi juga mempengaruhi intensitas cahaya yang akan dihasilkan di port-port output. Cahaya yang dipantulkan aluminium foil dipantulkan

kembali ke dalam core kemudian terpandu menuju port output dan dipantulkan keluar selain *core* yang menyebabkan rugi daya. Pantulan cahaya yang kembali menuju core tidak hanya terpandu menuju port output, tetapi juga port balikan. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 4.7- tabel 4.12 Hasil intensitas cahaya pada port balikan disebut dengan *directivity / cross talk*. Data hasil perhitungan *Directivity* terdapat pada tabel 4.35- 4.40.

Pada *directional coupler* panjang daerah interaksi 35 mm memiliki proporsi intensitas cahaya yang dominan pada port C, E, dan F. Hasil intensitas cahaya output yang dihasilkan tidak sesuai dengan port masukan. Hal ini disebabkan karena struktur fiber yang tergangung melilit-melilit sehingga tidak dapat diidentifikasi secara benar struktur couling yang dibuat. Fakta lain dikarenakan wadah logam dan penekan untuk *heating and pressing* tidak presisi dengan serat optik. Jika tidak menggunakan aluminium foil untuk saat pemanasan berlangsung, maka serat optik akan mengalami pengerutan dan melengkung dengan arah yang tidak teratur yang menyebabkan serat optik memiliki banyak lengkungan pada daerah *coupling*. Lengkungan-lengkungan tersebut menyebabkan sulit dilakukan karakterisasi. Namun setelah dilakukan perhitungan dapat diketahui ada satu port input yang menghasilkan nilai *Coupling Ratio* yang sesuai dengan (Kim,KT, 2013) yaitu dengan menggunakan input port E1, yaitu dengan nilai 0,124; 0,11; 0,21; 0,15; 0,23; 0,17, pada input ini intensitas cahaya keluaran sesuai dengan moda terkopel dimana hasil keluaran terbesar pada port yang sama yaitu port E2. Pada *coupling ratio* dengan menggunakan input E1 sesuai dengan moda terkopel dengan nilai *coupling* paling besar pada E2, terbesar kedua pada F2 dan C2, terbesar ketiga D2 dan A2, sedangkan yang paling kecil pada B2. Nilai intensitas cahaya keluaran yang lebih dominan besar pada output port C, E, dan F dikarenakan 3 *core* ini melintir ke dalam atau ke tengah konfigurasi sehingga berhimpitan dengan semua fiber yang menyebabkan perpindahan cahaya efek *coupling* semakin banyak. Sedangkan pada *core* port A, B, dan D melintir keluar sehingga

hanya berhimpitan dengan 1 *core* lain disebelahnya yang menyebabkan nilai intensitas cahaya dan nilai *coupling ratio*-nya kecil. Selain dengan menggunakan input port E1, menggunakan input port B1 dan input port D1 juga memiliki perbandingan nilai proporsi daya yang rata pada tiap port. Nilai perbandingan Coupling Ratio menggunakan input port B1 adalah 0.161; 0.136; 0.201; 0.15; 0.163. Nilai perbandingan Coupling Ratio menggunakan input port D1 adalah 0.189. 0.126; 0.128; 0.21; 0.203; 0.194; 0.138. Jadi *directional coupler* panjang interaksi 35 mm dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya jika menggunakan input port B1, port D1, dan port E1.

Pada *directional coupler* panjang interaksi 45 mm memiliki proporsi intensitas cahaya yang hampir sama pada semua port keluaran tetapi memiliki intensitas cahaya balik yang lebih besar dari output. Hal ini disebabkan struktur penggandengan yang kurang pas diakibatkan karena *Heating and Pressing* dan adanya panjang daerah kupasan sepanjang 10 mm yang tidak terdangdeng dikanan dan kiri yang menyebabkan cahaya dipantulkan kembali menuju *core* namun terpandu menuju port balikan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai gambar 4.10. Awal pengukuran fabrikasi menggunakan pembungkus alumunium foil sehingga pantulan yang terjadi terlalu banyak dan menyebabkan nilai hasil intensitas cahaya besar di semua titik. Kemudian diganti dengan kertas berwarna gelap sehingga dapat meminimalisir terjadinya pantulan cahaya. Sehingga didapatkan data pada Tabel 4.1-4.6. Nilai *coupling ratio* yang terbesar pada port D, meskipun port input bukan port D. Hal ini terjadi karena proses *Heating and Pressing* membuat bentuk struktur fabrikasi berubah. Port D lebih dominan karena *core* D bergeser letaknya menjadi berhimpitan dengan *core* B, *core* F, dan *core* A, sehingga terjadi interaksi efek *coupling*, jika input menggunakan input D1. Hasil *coupling ratio* menggunakan input D1 sesuai dengan rentang nilai *coupling ratio* (Kim,KT, 2013), yaitu 0,148; 0,154; 0,141; 0,205; 0,166; 0,186. Selain dengan menggunakan input port D1, menggunakan input port A1, B1, C1, E1, dan F1 juga

memiliki perbandingan nilai proporsi daya yang rata pada tiap port. Jadi *directional coupler* panjang interaksi 45 mm dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Fabrikasi *directional coupler* serat optik konfigurasi 6x6 dengan metode heating and pressing dengan variasi panjang kupasan 55 mm dengan menggunakan alumunium foil, 75 mm tanpa menggunakan alumunium foil, dan 75 mm dengan menggunakan alumunium foil. Panjang kupasan yang dibuat mengalami penyusutan setelah proses penggandengan, sehingga terbentuklah daerah panjang coupling secara berturut yaitu: 33 mm, 35 mm, dan 45 mm.
2. Karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 6x6 menggunakan BF5R-D1-N didapatkan hasil bahwa pada panjang daerah interaksi 33 mm memiliki perbandingan Coupling Ratio = 0,12; 0,18; 0,18; 0,29; 0,14; 0,102, dengan input D1, panjang daerah interaksi 35 mm memiliki perbandingan Coupling Ratio = 0.161; 0.136; 0.201; 0.15; 0.163; 0.189 Input B1, 0.126; 0.128; 0.21; 0.203; 0.194; 0.138 Input D1 dan 0,12; 0,11; 0,207; 0,153; 0,234; 0,17 dengan input E1, dan panjang daerah interaksi 45 mm dengan input A1, B1, C1, D1, E1, F1 dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini disarankan:

1. Pada *directional coupler* 6x6 metode heating and pressing dibuat lebih banyak variasi panjang kupasan dan variasi beban pressing.
2. Pada *directional coupler* metode heating and pressing dibuat dengan konfigurasi lingkaran.
3. Pada karakterisasi *directional coupler* 6x6 menggunakan 12 buah BF5R-D1-N.

4. Membuat dan memakai cetakan untuk *heating and pressing* sesuai dengan ukuran *coupler* konfigurasi 6x6.
5. Suhu yang dipakai lebih rendah dari penelitian ini dengan lama waktu pemanasan yang lebih cepat tanpa merubah struktur serat optik dan serat optik tetap lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Crisp, J., dan Elliott, B. 2005, **Introduction to Fiber Optics**, Jordan Hill, Oxford.
- Dosen Fisika ITS. **Diktat Kuliah Fotonika**. Surabaya. ITS.
- Giancoli, Douglas, C. 2005. **Physics : Principles with Applications Sixth Edition**. New Jersey, Prentice-Hall.
- Hoss, R. 1993. **Fiber Optics 2nd Edition**. Oxford: Jordan Hill.
- Jones Jr dan Willian B, 1998, **Introduction to Optical Fiber Communication Systems**, Holt, Rinehart & Winston, University Michigan.
- Kim, Kwang Taek, dkk., 2013. **Fabrication and Characterization of NxN Plastic Optical Fiber Star Coupler based on Fused Combining**. Korean Journal of Optics and Photonics, Vol.24 No.1 Daegu, Korea.
- Kim, K.T., Han, B. J., 2011, **High-Permormance Plastic Optical Fiber Coupler Based on Heating and Pressing**. IEEE Photonics Technology Letter, Vol.23 No. 24.
- Keiser, G., 1991, **Optical Fiber Communication 2nd Edition**, Mc Graw Hill, New York.
- Krohn D.A., 2000, **Fiber Optic Sensors : Fundamentals and Applications, 3rd**, Isa, Pennsylvania State University.
- Leno dan Frank, 1993, **Introduction to Optics, 2nd edition**, Prentice-Hall, United State America.
- Nuraini, Elis., 2017, **Studi Awal Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Konfigurasi 4x4 Serat Optik Plastik Step Index Multimode Tipe FD-620-10 Menggunakan metode Heating and Pressing**, Tugas Akhir, ITS Surabaya.
- Maulana, Achmad., 2017, **Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Konfigurasi 6x6 Pada Bahan Serat Optik Plastik Multimode Step Index FD-620-10**, Tugas Akhir. ITS Surabaya.
- Powers, John, 1997. **An Introduction To Fiber Optic System 2nd Edition**, Mc. Graw Hill, New York.

- Rohedi, A. Y., 1997, **Perancangan Directional Coupler untuk Aplikasi WDM Struktur 4x4**, Thesis, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Rubiyanto, A., dkk., 2006, **Analisis Directional Coupler Sebagai Pembagi Daya untuk Mode TE**, Jurnal Fisika dan Aplikasinya Volume 2, Nomer 1, Januari, ITS Surabaya
- Saleh, B.E.A., Teich, M.C., 2007, **Fundamentals of Photonics**. John Wiley & Sons, New York.
- Sekartedjo dkk, 2007, **Study of Switching Characteristics in Directional Coupler**, International Symposium of Modern Optics and ITS Applications (ISMOA), Departement of Physics ITB Agust 6-10-2007, Bandung.
- Suematzu, Y., Iga, K., 1982, **Introduction to Optical Fiber Communication**, John Willey & Sons, Inc.
- Supadi, Pramono, Y. hadi, Yudhoyono, G., 2006, **Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler sebagai Divais Pembagi Daya**, Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 060106-1-060106-6.
- Widodo, 1995, **Optoelektronika**, Yogyakarta, Penerbit Andi.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Sheet BF5R-D1-N

BF5 Series

Fiber Optic Amplifier

Dual digital display type fiber optic amplifiers

■ Features

- Dual-display for light incident level and setting value(BF□□-D)
- Minute object sensing available with 1/10,000 high resolution
- Enables to detect with high-speed(20,000 times per sec.) moving objects
- 4 response speeds
 - Ultra fast mode(50 μ s), high speed mode(150 μ s), standard mode(500 μ s), long distance mode(4ms)
- Long lasting amplifier regardless of element's life degradation or temperature change
- Multiple sensitivity setting modes available
 - auto tuning, 1 point(maximum sensitivity), 2 point, positioning teaching
- Up to 8 units enable to stack with mutual interference prevention function using side connectors
- Auto channel setting function for multiple installations
- Slim design(W10×H30×L70mm)

⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



■ Specifications

Display type	Dual Display type			Single Display type
◻ NPN open collector output	BF6R-D1-N	BF6G-D1-N	BF6B-D1-N	BF6R-S1-N
◻ PNP open collector output	BF6R-D1-P	BF6G-D1-P	BF6B-D1-P	BF6R-S1-P
Light source	Red LED (660nm, modulated)	Green LED (530nm, modulated)	Blue LED (470nm, modulated)	Red LED (660nm, modulated)
Power supply	12-24VDC±10%			
Current consumption	Max. 50mA			
Operation mode	Light ON / Dark ON Selectable			
Control output	NPN or PNP open collector			
Protection circuit	Reverse polarity protection, overcurrent protection, surge absorption			
Response time	Ultra Fast: 50 μ s(only for dual display type), Fast: 150 μ s, STD: 500 μ s, Long: 4ms			
Display method	◻Incident light level: Red, 4digit, 7segment ◻SV: Green, 4digit, 7segment ◻Main output indicator: Red LED		◻Incident light level / SV: Red, 4digit, 7segment ◻Main output indicator: Red LED	
Display function	Incident light level / SV display (4,000/10,000 resolution), Percentage display, High/Low peak value display, Normal / Reversed display (only for dual display type)			
Sensitivity setting	Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (Auto tuning, 1 point, 2 point teaching, positioning teaching)		Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (auto tuning)	
Mutual interference prevention	Max. 8 unit sets (Automatically set regardless of response time)			
Initializing	Initializing to factory mode			
Energy saving	Normal / Energy saving 1 / Energy saving 2			
Timer	OFF, OFF Delay, ON Delay, One-shot		OFF, 10ms OFF Delay timer, 40ms OFF Delay timer	
Insulation resistance	Min. 20M Ω at 50V/DC megger)			
Dielectric strength	1,000VAC 50/60Hz for 1 min.			
Vibration	1.5mm amplitude or 300m/s ² at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each X, Y, Z directions for 2 hours			
Shock	500m/s ² (approx. 50G) in each X, Y, Z directions for 3 times			
Environment	Ambient illumination	Incandescent lamp: Max. 3000 lx Sunlight: Max. 11000 lx (received illumination)		
	Ambient temperature	-10 to 50°C, storage: -20 to 70°C		
	Ambient humidity	35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH		
Protection	IP40(IEC standards)			
Material	Case: PBT, Cover: PC			
Fiber cable	Min. 2kgf			
Tightening torque	Min. 2kgf			
Accessory	Connector type wire(04, 3-wire, length: 2m) (AWG22, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 60, Insulator out diameter: ϕ 1.25), Slide connector			
Approval	CE			
Unit weight	Approx. 20g			

※The temperature or humidity mentioned in Environment indicates a non freezing or condensation environment.

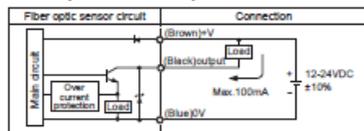


(A) Photo electric sensor
(B) PNP output model
(C) Direction sensor
(D) Proximity sensor
(E) Pressure sensor
(F) Motor encoder
(G) Connector Bracket
(H) Temp. controller
(I) SSI Power controller
(J) Counter
(K) Timer
(L) Pulse meter
(M) Tachio/Speed/Pulse meter
(N) Display unit
(O) Motor controller
(P) Switching mode power supply
(Q) Resistor (output Diode/Comparator)
(R) Graphical panel
(S) Field effect device
(T) Software
(U) Other

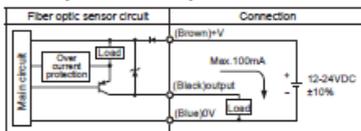
BF5 Series

Control output diagram

• NPN open collector output



• PNP open collector output

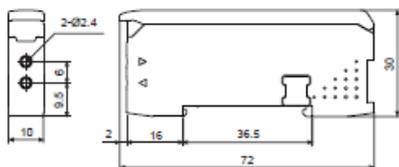


Dimensions

• BF5□-D1-□



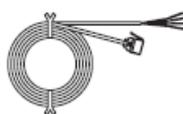
• BF5R-S1-□



(unit: mm)

• Accessories

- Connector type wire (length: 2m)



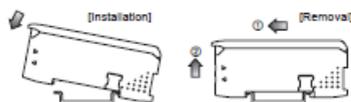
- Side connector



Installations

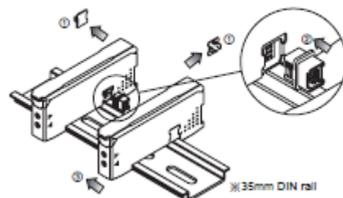
① Amplifier unit mounting

- Installation: Hang up the backside holder on the DIN rail and press the unit toward the DIN rail.
- Removal: Slide the back part of the unit as the ① figure and lift up the unit as the ② figure.



② Amplifier unit connection

- Remove the side cover at the connecting side as the figure ① and connect the side connector as the figure ②.
- After mounting the unit on the DIN rail, push gently both units to fasten each other.
- ※ Make sure that connections between the unit case and connectors correctly. Improper connection may cause malfunction of channel setting and mutual interference prevention functions.
- ※ Do not supply the power while connecting / disconnecting amplifier units.



Fiber Optic Amplifier

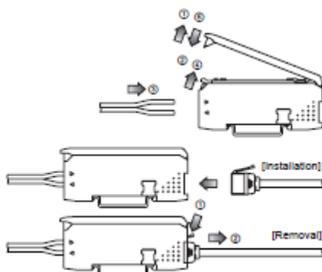
③ Fiber cable connection

- Lift up the protective cover ① and push down the lock lever to the direction of ② to release the lock setting.
- Insert the cable to the direction of ③ with slightly moving up and down 15°, and gently press into the unit until the cable is completely inserted (inserted length: around 13mm).

- Lift up the lock lever to lock the lock setting ④ and close the protective cover to ⑤.

④ Wire connector connection

- Insert the connector into the amplifier unit until it clicks into right position.
- When removing the connector, pull out the connector to the ① direction with pressing the lever downside to the ② direction.



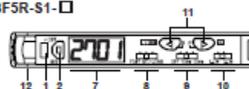
■ Part descriptions

• BF5□-D1-□



- Control output Indicator (Red)**
: Used to indicate control output provided by comparing 3V and actual incident light level
- Sensitivity setting key**
: Used to execute each operation and to set sensing sensitivity
- PV display part (4 Digit, Red, 7 segments)**
: Used to indicate incident light level and parameters
- 3V display part (4 Digit, Green, 7 segments)**
: Used to indicate 3V and setting data
- Up/down key**
• Used to up/down setting values
• Used to Fine-adjusting sensitivity
- MODE key**
• Used to enter into program mode / data Bank mode
• Used to move each parameter

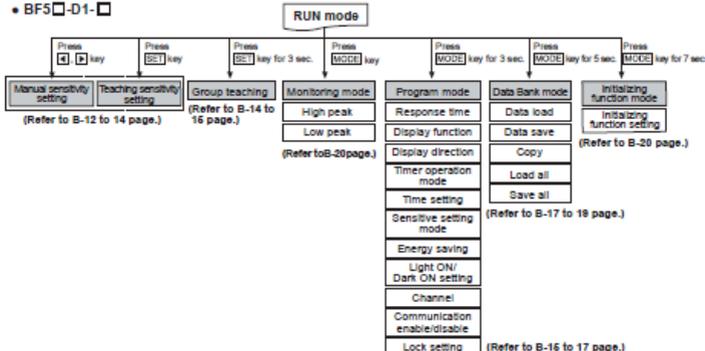
• BF5R-S1-□



- PV/3V display part (4 Digit, Red, 7 segments)**
: Used to indicate incident light level / 3V and parameters
- Response time setting switch** : FAST, STD, LONG
- Timer setting switch**
: Used to select OFF Delay time (OFF, 10ms, 40ms)
- Operation mode setting switch**
: Used to select Light ON / Dark ON
- Up/Down key**
• Used to up/down setting values
• Used to enter into each mode
• Used to Fine-adjusting sensitivity
- Look lever**

■ Parameter setting

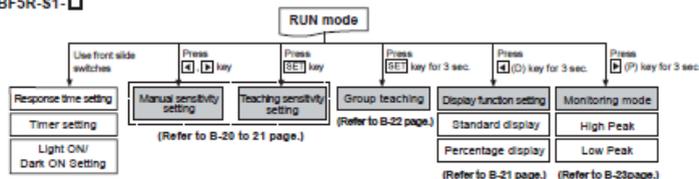
• BF5□-D1-□



(A)	Photo electric sensor
(B)	Opt. sensor
(C)	Optical sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Bracket
(H)	Opto. Controller
(I)	Signal Power Controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tactical Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Receiver Controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Repeater network interface controller
(R)	Optical Light panel
(S)	Fiber network device
(T)	Software
(U)	Other

BF5 Series

• BF5R-S1-□



Dual display type (※Refer to B-12 to 20 page.)

■ Sensitivity setting mode

※ There are two methods available for sensitivity setting - manual/teaching sensitivity setting.
Select the method most suitable for your application.

Ⓞ Manual sensitivity setting (Fine-adjusting sensitivity)

- The setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjusting sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV display part during setting.



- ① Press the [G] and [D] keys to set the value.
- ② There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3 sec. after completing setting, last set value flashes twice (every 0.5 sec) and automatically saved it and returned to RUN mode.

Ⓞ Teaching sensitivity setting (Auto-tuning, One-point, Two-point, Positioning)

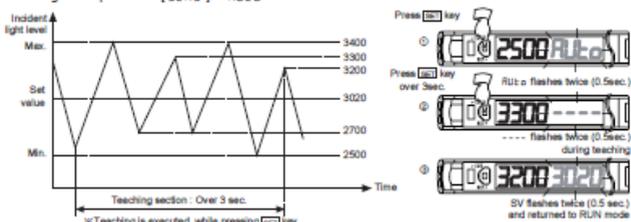
- How to enter into sensitivity setting mode in RUN mode
Press the [SET] key once and the selected teaching mode parameter flashes twice on the SV display part.
※ Refer to [B-12 to 14] pages for each teaching sensitivity setting.
- Teaching should be executed for over 3 sec.
- ※ If teach mode is executed for less than 3 sec., teach mode parameter flashes twice and be on standby to execute completion of teach mode.
- Current incident light level is indicated on PV display part while teaching is in the process.
- If incident light level is received under 10 digit while teaching is in the process, it is automatically returned to RUN mode and previous setting value is retained after $E_{r/L}$ flashes twice.
- ※ If there is no key operation for 60 sec after entering into teaching mode, it is automatically return to RUN mode.

1) Auto-tune teach mode

- ※ Suitable when incident level of sensing object is not stable or when sensing fast moving objects.
- ※ Auto-tune automatically sets the sensitivity using the average value of the Incident light level within a certain time period.

$$\text{Set_value} = \frac{P1+P2+ \dots +Pn-1+Pn}{n}$$

- Set Teaching mode parameter[SE_n5] to RUN mode.

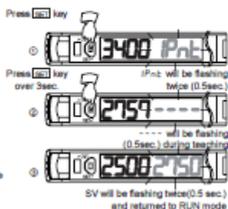
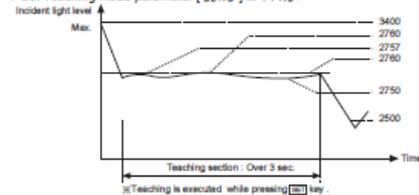


Fiber Optic Amplifier

2) One-point teach mode

※ One of teaching modes that sets the maximum sensitivity by teaching one sensitivity setting point when setting the SV with no sensing object (Reflective) or when setting the SV with incident light level 0 (Through-beam) / Suitable for the applications required little effect of dust or background.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 1 PnL.



※ SV range for sensing distance.

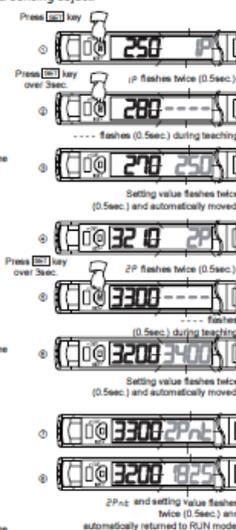
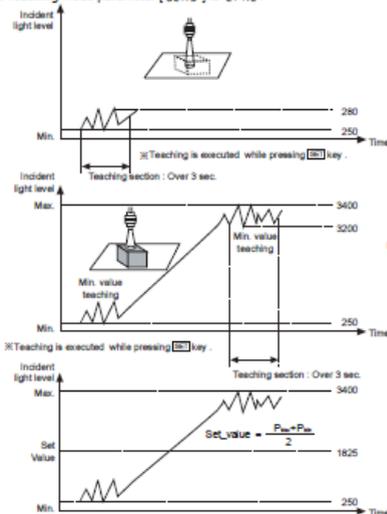
Response Time	Teaching when incident light level is 0	Teaching when incident light level is saturated
UF St	In case incident light level is 0, set to 10 digit.	In case incident light level is saturated, set to 3980 digit.
F St	In case incident light level is 0, set to 10 digit.	In case incident light level is saturated, set to 3980 digit.
St of	In case incident light level is 0, set to 5 digit.	In case incident light level is saturated, set to 9980 digit.
LoG	In case incident light level is 0, set to 5 digit.	In case incident light level is saturated, set to 9980 digit.

3) Two-point teach mode

※ Suitable when Incident light level is stable or when sensing object is slow or at stopped position.

※ One of teaching modes that sets the sensitivity using average value of two incident light levels obtained from two point teaching - one point with a sensing object and the other point without a sensing object.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 2 PnL.



※ Make sure that two point teaching must be done within 60 sec after one point teaching. If not, teaching mode is cancelled and it returns to RUN mode.

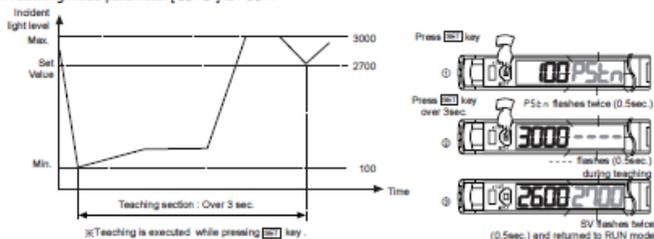
(R) Photo sensor

BF5 Series

4) Positioning teach mode

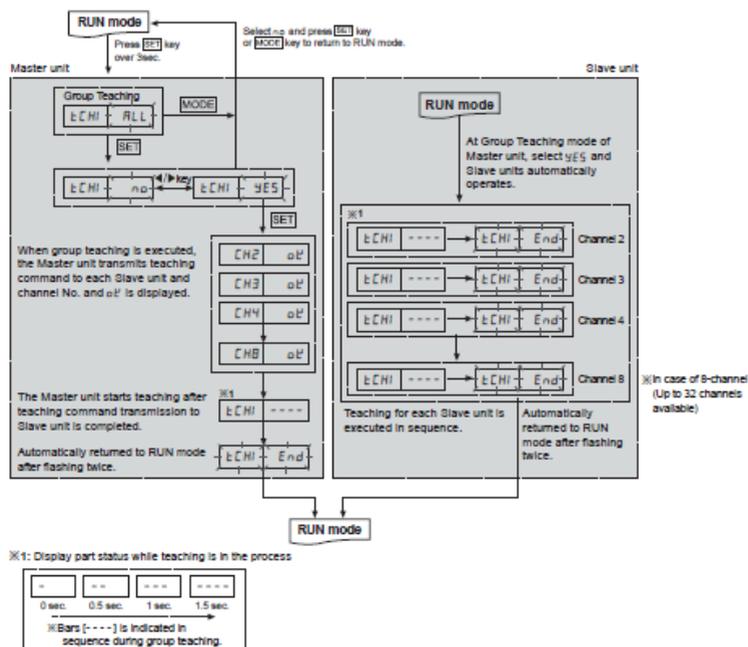
※ One of teaching modes that sets the sensitivity to 90% of max. incident light level when sensing an object with a hole on the surface (Through-beam) or sensing a moving object having curve (Reflective).

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to P5En.



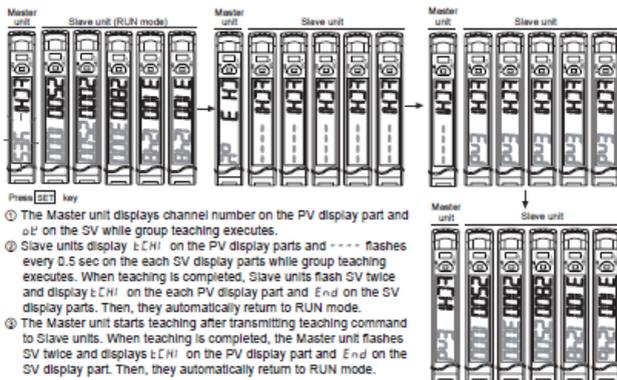
■ Group teach mode

A function to set the sensitivity of Slave amplifier units according to the command of Master amplifier unit (a certain amplifier unit) in a successive and collective way.



Fiber Optic Amplifier

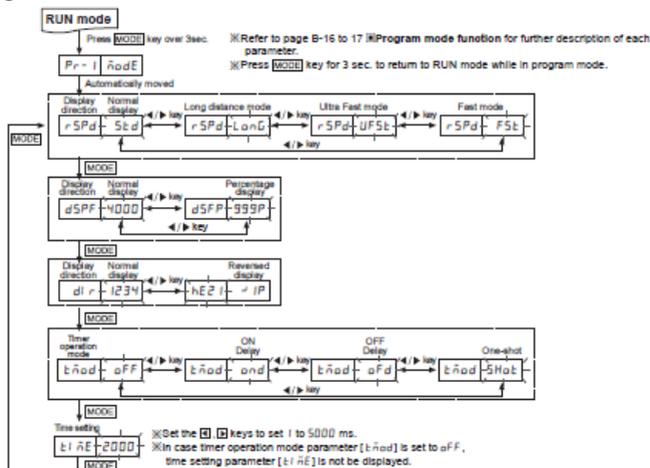
Master / Slave unit display during group teach mode



Program mode setting

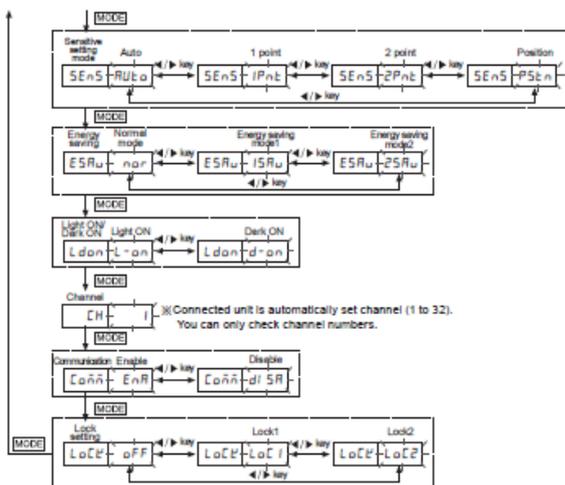
- When entering into program mode, parameters lights ON on the PV display part and setting values flashes every 0.5 sec. on SV display part. Use the **[↑]**, **[↓]** keys to set each setting value.
- Press the **[LOCK]** key one time after setting each parameter to save each setting and enter into next mode.
- If the key lock is set, unlock the key lock before setting parameters.

Program mode flow



(A)	Photo electric sensor
(B)	Heat sensor
(C)	Distance sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Presence sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Contracted Social
(H)	Net-work controller
(I)	SRK Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tachy Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Slipper motor & Drive Controller
(R)	Display/Logic panel
(S)	Field network device
(T)	Software
(U)	Other

BF5 Series



■ Program mode function

Ⓢ Response time setting [r5Pd]

A function to set the response time of control output - 4 response modes selectable.

- Ultra Fast [UF5t] mode : 50 μ s
- Fast [F5t] mode : 150 μ s
- Standard [Std] mode : 500 μ s
- Long distance [Loñ] mode : 4 ms

Ⓢ Display function [d5PF]

A function to select incident light level display mode on PV display wndow. Standard display [0000] / Percentage display [999P]

- Display range of standard mode : 0 to 4000 (0 to 9999, in case of long distance mode)
- Display range of percentage mode : 0P to 999P (Decimal point is not displayed)

Ⓢ Display direction setting function [dlr]

A function to reverse the display direction to suit the unit installation location: Normal display / Reversed display selectable.

※Reversed display is upside-down(180°) display of normal display.

Ⓢ Timer function [Timer operation mode: tñod, Time setting: tñE]

Used when external device's response time is too late or when control output time is too short due to small sensing object - 3 modes are available.

- Timer Off [oFF]
- On Delay [ond]: Delays control output ON time from OFF for a certain period of setting time
- Off Delay [oFd]: Delays control output OFF time from ON for a certain period of setting time
- One-shot [5Hob]: Turns control output ON or OFF within a certain period of setting time
- Setting time [tñE]: 1 to 5000ms

• Time chart



※Setting time : T>Td, T>Td', T>Td''

Fiber Optic Amplifier

Ⓒ Energy saving function [E5Ru]

A function to save unit's power consumption by reducing power supply to display parts in case of no setting input within 60 sec.

• Selectable from 2 power saving modes

- Normal mode [nor]: Main output indicator(OUT), PV/SV display part ON
- Energy saving mode 1 [15Ru]: Main output indicator(OUT) and PV display part ON
- Energy saving mode 2 [25Ru]: Main output indicator(OUT) ON

Ⓒ Light ON / Dark ON switching function [LdOn]

A function to set Light ON - control output is ON when incident light level is higher than setting value Dark ON - control output is ON when incident light level is lower than setting value.

Ⓒ Communication enable / disable setting function [COnn]

A function to set communication write [enable(EOn)] / disable[Off 5R] for Slave amplifier units while certain instructions (Load/Save/Copy) or Group teaching is in progress by the Master amplifier unit.

Ⓒ Lock function [LoCP]

Two types of key lock setting are available in order to prevent SV changes due to careless.

	oFF	LoC 1	LoCP
Sensitivity setting	●	○	○
Data Bank mode	●	○	○
Program mode	●	○	○
Parameter initialization	●	○	○

- ※ ●: Check / Setting both available
 ○: Check / Setting both unavailable
 ○: Check available

- In case of [LoCP] mode, it is required to disable the lock function first to enter into parameter mode.

▣ Data Bank setting

A function to save settings for group amplifier units in each data Bank by using Master unit's command or by adjusting one amplifier unit's setting and to load required data Bank when it is necessary without resetting for each unit's parameters and setting values.

- LOAD [LoAd]: Loads preset dataBank [bRbD, 1, 2] and applies it to the amplifier unit.
Detailed Bank parameters can be read and changed.
- SAVE [5RuE]: Saves one amplifier unit settings in one of dataBank [bRbD, 1, 2].
- COPY [CoPy]: Copies the currently loaded Bank by Master's instructions to the other amplifier unit (1:1) or the whole amplifier units (1: M).
- LOAD ALL [LoAl]: Selects one dataBank by Master's instructions loads it to entire group units.
- SAVE ALL [5uAl]: Selects one dataBank by Master's instructions and saves it in entire group units.

※ For BFS□-D1□, three dataBanks are available ([bRbD], [bRb1] and [bRb2]) so that three different sensing object information can be saved. Each Bank can be read and changed, it allows users to detect three different sensing objects with one amplifier unit without resetting each parameter.

※ DataBank function can be executed only if all amplifier units are in RUN mode.

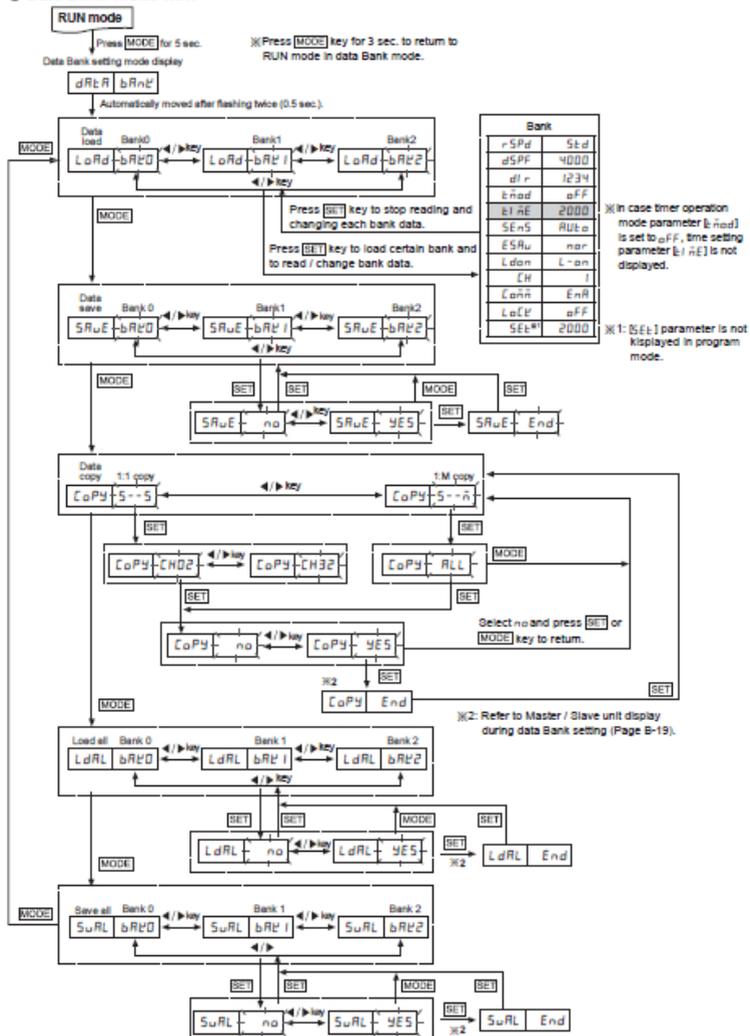
※ Copy/Load All/Save All functions are applicable only if multiple amplifier units are connected.

※ If lock function is set [LoC // LoCP] on amplifier units or if the Slave unit is set to communication disable[Off 5R], Load and Save command for the unit does not execute.

(A)	Photo electric sensor
(B)	Key sensor
(C)	Darkness sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connecticut Socket
(H)	Temp. controller
(I)	Power controller
(L)	Counter
(O)	Other
(P)	Panel meter
(R)	Relay Output Pulse output
(S)	Display unit
(T)	Sensor controller
(U)	Switching mode power supply
(V)	Display module (Display Controller)
(W)	Optical Logic panel
(X)	Panel submark electric
(Y)	Software
(Z)	Other

BF5 Series

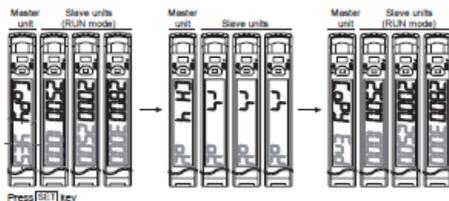
◎ Data Bank mode flow



Fiber Optic Amplifier

⑥ Master / Slave unit display during data Bank setting

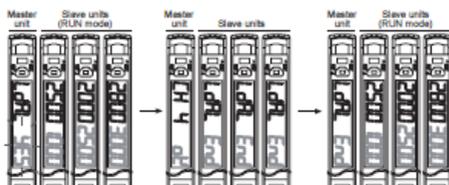
• Copy All



Press **[COPY]** key

- ① While Copy All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **oL** on the SV display part.
- ② While Copy All is executed, the Slave units display **rH** on the PV display part and **oL** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Copy All is completed, the Master unit displays **COPY** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[COPY]** key to return to Data Copy mode.※In case of 1:1 Copy, it progresses as same.

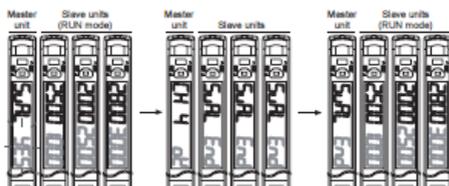
• Load All



Press **[COPY]** key

- ① While Load All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **oL** on the SV display part.
- ② While Load All is executed, the Slave units display **LdRL** on the PV display part and **End** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Load All is completed, the Master unit displays **LdRL** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[COPY]** key to return to Load All mode.

• Save All



Press **[COPY]** key

- ① While Save All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **oL** on the SV display part.
- ② While Save All is executed, the Slave units display **SuRL** on the PV display part and **End** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Save All is completed, the Master unit displays **SuRL** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[COPY]** key to return to Save All mode.

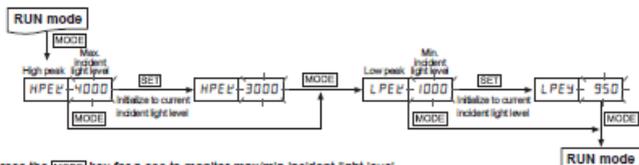
※If communication write enable/disable parameter **[C000]** for the Slave unit is set to disable **d1 5R** while Save All, Load All or Copy is executed, the master unit displays channel number on the PV display part and **d1 5R** on the SV display part.

(A)	Photo electric sensor
(B)	Power sensor
(C)	Overheat sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Socket
(H)	Temp. controller
(I)	SRV Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Vertical Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Service controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Receiver module/Driver Controller
(R)	Display/Logic panel
(S)	Panel network device
(T)	Software
(U)	Other

BF5 Series

High peak, Low peak function

A function to monitor the high/low peak value of incident light level. The monitored high/low peak value can be initialized.



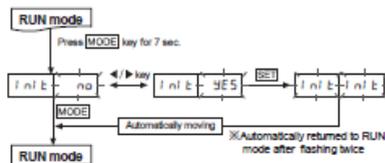
- Press the **MODE** key for a sec to monitor max/min incident light level.
- Press the **MODE** key to initialize max/min value to current incident light level during monitoring.
- Press the **MODE** key to return to RUN mode.

Initializing function

A function to initialize all parameters in memory to default value in case the possibility of mis-setting or mis-operation.
 ※Set lock function [LoLk] to OFF to execute initializing Function.

※High peak value[HPEV] and low peak value[LPEV] shall not be initialized.

Parameter initialize flow



- Press the **MODE** key for 7 sec. In RUN mode, *Init.* parameter turns ON in PV display part and *no* flashes every 0.5sec. on SV display part.
- Press the **MODE** key once again to return to RUN mode without executing initializing Function.
- Select **YES** using the **←**, **→** keys and press the **MODE** key. *Init.* flashes twice on both PV and SV display parts.
- When parameter initialization is completed, it is automatically returned to RUN mode.

Parameter value for initialization (factory default)

Parameter	Factory default	Parameter	Factory default	Parameter	Factory default
rSPd	Std	hAd	aFF	LdAn	L-on
dSPF	4000	SEnS	RUta	CaAn	EnR
dlr	1234	ESRu	nar	LoLk	aFF

SV : 2000, Bank 0 to 2 : Initialized

Single display type (※Refer to B-20 to 22 page.)

Sensitivity setting mode

※There are two methods available for sensitivity setting - manual or teach mode.
 Select the method most suitable for your application.

Manual sensitivity setting (Fine-adjusting sensitivity)

- The setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjust sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV/SV display part during SV setting.



- Press the **←** or **→** key once in RUN mode, then previous SV flashes twice (every 0.5 sec).
- Press the **←** and **→** keys to set the value.
- There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3 sec after completing setting, newly set value flashes twice (every 0.5 sec) and automatically save it and returned to RUN mode.

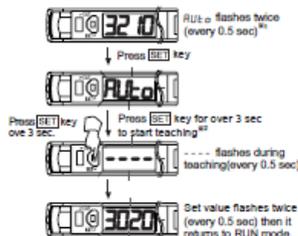
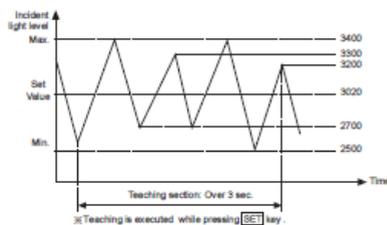
Fiber Optic Amplifier

Ⓢ Teaching sensitivity setting(Auto tuning teaching)

- For BF5R-S1-□ model, teaching sensitivity setting mode is fixed to auto-tuning.
- This mode is easy the sensitivity when incident light level of sensing object is not stable or moved fast.
- One of teaching modes that sets the sensitivity using average value of the maximum and minimum incident light level within a certain time period.

$$\text{Set_value} = \frac{P1+P2+\dots+Pn-1+Pn}{n}$$

- In program mode, set Teaching mode parameter [SEn5] to RUN mode.



- If incident light level is received under 10 digit while teaching is in the process, *ErrL* flashes twice and it returns to RUN mode with the previous SV retained.
- After flashing *ErrL* twice, press the [] key to return to RUN mode without teaching.
- Press the [SET] key over 3 sec in order to get more reliable teaching value.

■ Function

Ⓢ Response time setting

Use front slide switch to set response time.

- Fast(FAST) mode : 150 μ s
- Standard(STD) mode : 500 μ s
- Long distance(LONG) mode : 4ms

Ⓢ Display function (Factory mode: standard display)

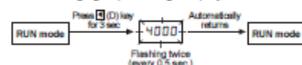
A function to select incident light level display on display part.

- Display range of standard mode : 0 to 9999 (0 to 9999, in case of long distance mode)
- Display range of percentage mode : 0P to 999P (Decimal point in not displayed)

-When changing to standard display mode-



-When changing to percentage display mode-



Ⓢ Timer function

- For the BF5R-S1-□ model(single display type), only OFF Delay mode is available. Select the setting time (OFF/10ms/40ms) using the front slide switch.

Time chart



(A)	Photo electric sensor
(B)	Photo sensor
(C)	Photoless sensor
(D)	Priority sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Socket
(H)	Temp. controller
(I)	Slide Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Factor Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Repeater network (Data) Controller
(R)	Integral Logic panel
(S)	Panel network device
(T)	Software
(U)	Other

BF5 Series

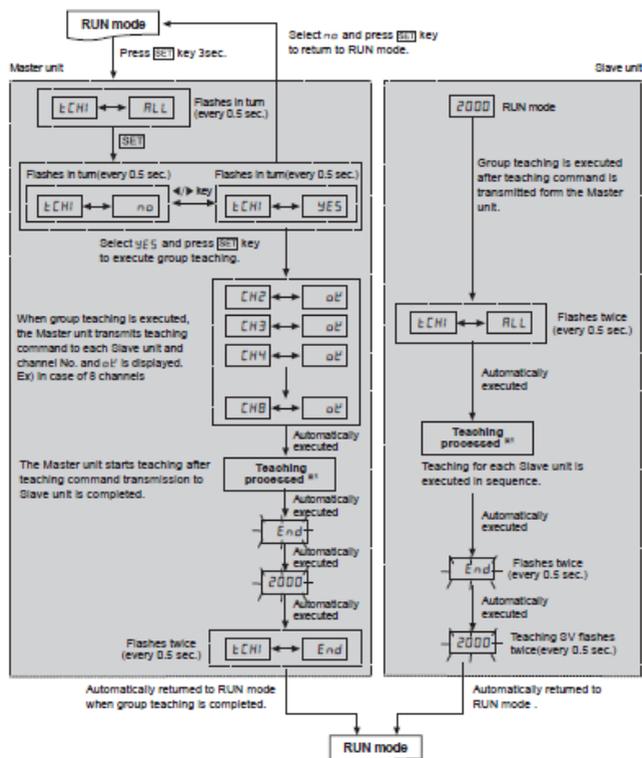
◎ Light ON / Dark ON switching function

A function to set Light ON - control output is ON when incident light level is higher than setting value and Dark ON - control output is ON when incident light level is lower than setting value.

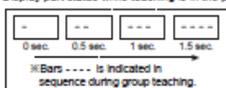
BF5R-S1-□ (Single display type) model uses the front slide switch to set each mode.

■ Group teaching

A function to set the sensitivity of Slave amplifier units according to the command of Master amplifier unit (a certain amplifier unit) in a successive and collective way.



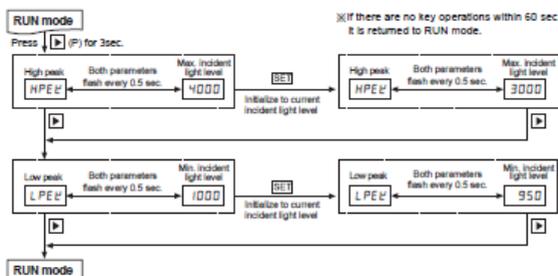
※1: Display part status while teaching is in the process



Fiber Optic Amplifier

High peak, low peak function

A function to monitor the high/low peak value of incident light level. The monitored high/low peak value can be initialized.



Dual display / Single display common features

Program mode function

Amplifier units connection using side connector

In case multiple amplifier units are connected, the power supply for one unit will feed all connected units.

Auto channel setting function

- The channel for each amplifier unit - connected by side connector - is automatically set in a certain direction (→) as soon as power is supplied. Channel number is increasing one by one.
- Auto set channel can be checked in channel parameter in program mode.
- In case of BFSR-S1-□, auto set channel can be checked only when initial power is supplied. (Not available afterwards).
- Channel range : 1 to 32(applied the same to all models)

※Note that auto set channel cannot be changed and the channel No. of each amplifier unit is not saved in case of power OFF.

Mutual interference prevention function

A function to set different light receiving time for each amplifier unit in case of adjacent fiber cable installations in order to prevent mutual interference occurring. (Set automatically when power is turned ON.)

※Mutual Interference function is allowed up to maximum 8 amplifier units regardless of the unit model and response time.

Error code

Error code	Cause	Troubleshooting
Err-L	In case incident light level is below the min. range when teaching.	Increase the incident light level above min. range.
Err	In case overcurrent inflow occurs into output circuit.	Remove overcurrent due to overload.
Err-b	<ul style="list-style-type: none"> • In case Slave is failed to execute Master's instructions due to unstable communication line connection during Group Copy / Load / Save / Teaching. • In case other communication errors occur 	<ul style="list-style-type: none"> • Check amplifier unit's connection again. • Check circuit and hardware around side connector.

(A)	Power electric sensor
(B)	Optic sensor
(C)	Overheat sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Memory recorder
(G)	Connector lockout
(H)	Temp. controller
(I)	SBK/Power Controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Factor Board/ Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Reducing mode power supply
(Q)	Shaper control (Shaper Controller)
(R)	Variable Light panel
(S)	Field network device
(T)	Software
(U)	Other

Lampiran 2. Data Sheet FD-620-10

Fiber Optic Cable

Dimensions

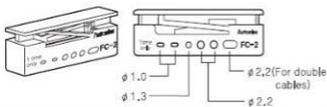
Model	Diffuse reflective
FD-320-05 M3-D0.5 Free cut Adapter	
FD-420-05 M4-D0.5 Free cut Adapter	
FD-620-10 M6-D1.0 Free cut	

Accessory

Fiber cutter

Usage : Free cut type, fiber optic cable cutting

FC-2



Adapter

Adapter : should be used.



Note1)

The inside diameter $\phi 1.0$ (Standard and black)
 The inside diameter $\phi 1.3$ (Only applied to the receiver of FD-320-F1 and dark gray.)

(Unit:mm)

encoder

(N) Stepping motor & Driver & Controller

(O) Graphic panel

(P) Production stoppage models & replacement

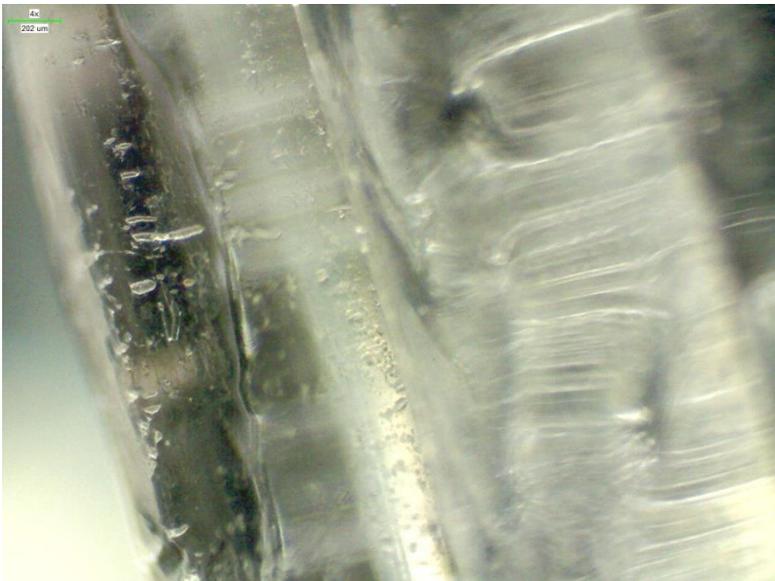
Lampiran 3. Hasil Pengamatan Mikroskop Optik



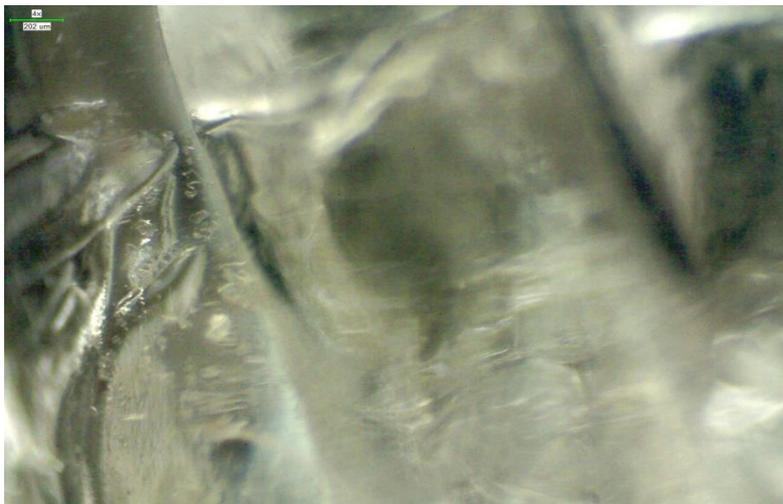
Gambar 1. Panjang daerah interaksi 33 mm



Gambar 2. Panjang daerah interaksi 35 mm



Gambar 3. Panjang daerah interaksi 45 mm



Gambar 4. Batas panjang daerah interaksi 45 mm

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Puji Kumala Pertiwi merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Abu Hasan dan Qumaroh. Penulis lahir di Lamongan, pada tanggal 15 Oktober 1996. Pendidikan formal yang ditempuh penulis adalah TK ABA 23 Dengok Paciran, MIM 04 Blimbing Paciran, MTsN Model Babat, dan MAN Lamongan. Setelah lulus MAN penulis mengikuti seleksi penerimaan mahasiswa baru dan diterima di program S1 jurusan fisika ITS melalui jalur seleksi SBMPTN dengan NRP 1113100101. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa antara lain sebagai staf Perekonomian BEM FMIPA ITS (2014-2015) dan staf BK Keputrian FOSIF ITS (2014-2015). Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar, workshop dan pelatihan seperti pelatihan pra-TD, seminar The Power of Digital Innovation & Entrepreneurship, seminar Smart City for Smart Living, dll. Semasa kuliah S1 penulis pernah melakukan kerja praktek di PT.Telekomunikasi Indonesia Kandatel Sumenep-Madura pada tahun 2017. Apabila pembaca memiliki kritik dan saran atau berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini dengan penulis dapat dihubungi melalui email pujikumala15@gmail.com.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

