



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISIS SENSOR REGANGAN DENGAN TEKNIK
PENCACATAN BERBASIS SERAT OPTIK *MULTIMODE
STEP-INDEX***

Muhadha Shalatin
NRP 0111134000065

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISIS SENSOR REGANGAN DENGAN TEKNIK
PENCACATAN BERBASIS SERAT OPTIK
*MULTIMODE STEP-INDEX***

Muhadha Shalatin
NRP 0111134000065

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SF 141501

**AN ANALYSIS OF STRAIN SENSOR WITH
ARRANGEMENT OF BENDING AND
IMPERFECTION IN A FIBER OPTIC
MULTIMODE STEP INDEX**

Muhadha Shalatin
NRP 0111134000065

Advisor
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

Department of Physics
Faculty of Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**ANALISIS SENSOR REGANGAN DENGAN TEKNIK
PENCACATAN BERBASIS SERAT OPTIK MULTIMODE
STEP-INDEX**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata 1
Departemen Fisika,
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHADHA SHALATIN

NRP. 0111134000065

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

NIP. 19650619 198903.1.001



(.....)



ANALISIS SENSOR REGANGAN DENGAN TEKNIK PENCACATAN BERBASIS SERAT OPTIK *MULTIMODE STEP-INDEX*

Nama : Muhadha Shalatin
NRP : 01111340000065
Jurusan : Fisika, FIA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr.rer.nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

Abstrak

Penelitian sensor regangan dengan variasi pencacatan pada serat optik *multimode step index* tipe FD-620-10 yang memiliki diameter serat 1 mm telah dilakukan. *Cladding* serat optik diberikan pencacatan dengan variasi pencacatan sebanyak 1 sampai 5 buah dengan lebar pencacatan 3 mm dan jarak antar pencacatan dibuat dengan ukuran yang sama yaitu sebesar 1 cm. Untuk mengetahui besaran daya keluaran akibat regangan digunakan LED (*Light Emitting Diode*) panjang gelombang 660 nm sebagai sumber cahaya, *microdisplacement*, dan BF5R-D1-N sebagai detektor cahaya. Pengukuran sensor regangan berbasis serat optik menunjukkan bahwa sensitivitas dengan pencacatan lebih bagus dari fiber optik normal.

Kata kunci—BF5R-D1-N, Sensor Regangan, Serat Optik, Teknik Pencacatan

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

AN ANALYSIS OF STRAIN SENSOR WITH ARRAGEMENT OF BENDING AND INPERFECTION IN A FIBER OPTIC MULTIMODE STEP INDEX

Name : Muhadha Shalatin
NRP : 0111134000065
Major : Physics, FIA-ITS
Advisor : Prof. Dr.rer.nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc

Abstrak

Research of strain sensor with arrangement of bending and imperfection in a fiber optic multimode step index type FD-620-10 fiber with a diameter of 1 mm have been developed. The imperfection Cladding fiber optics are varied from 1 to 5 with a width of 3 mm. An evaluation on the output power of the fiber optics caused by the displacement which induced the bending alongside the fiber optic's structural imperfection was determined. The LED (Light Emitting Diode) wavelength 660 nm is used as light source, microdisplacement, and BF5R-D1-N as a light detector. Measurement of optical fiber strain sensor show that the sensitivity with imperfection better than normal fiber optic.

Keywords— BF5RD1-N, Strain Sensor, Fiber Optik, Arragment of bending and Imperfection

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan karena dengan rahma Allah SWT, pelaksanaan Tugas Akhir pada semester ganjil 2017/2018 ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu sejak awal perumusan masalah hingga penulisan laporan tugas akhir dengan judul “**Analisis Sensor Regangan Dengan Teknik Pencacatan Berbasis Serat Optik *Multimode Step-Index***” ini telah selesai. Pihak tersebut antara lain :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sukarji dan Ibu Titin Rohatin serta Teh Fitriana Istiqomah yang telah memberikan segala yang terbaik bagi penulis, baik doa, dukungan moril dan materiil, serta pengertian yang tak pernah putus kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M. Eng. Sc selaku dosen pembimbing selalu memberikan bimbingan dan arahan yang membangun bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Melania S. Muntini, MT dan Ibu Yanurita Dwi H, M. Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan arahan yang membangun bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P, M. Eng. dan Bapak Suasmoro selaku Ketua Departemen dan Dosen Wali saya di Departemen Fisika ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Supernova 2013 yang telah menjadi angkatan terbaik dan keluarga penulis selama di Fisika FIA ITS, sukses adalah keharusan bagi kita.
6. Asisten Laboran Optoelektronika, Miftahul Ghofar yang selalu siap sedia membantu penulis dalam hal penyediaan material maupun alat saat pengerjaan Tugas Akhir.

7. Teman-teman laboratorium Optoelektronika, Nura, Wafa, Luqman, Astrid, Puput, Clarissa, Tia, dan adek-adek optik 2014 yang telah banyak membantu dan memberikan dorongan kepada penulis.
8. Sahabat-sahabat penulis yaitu Nurin, Mandah, Lita, Mbak Ira, Mbak Ni'ma, Befie Mbak Gita, Rifka, Nabilla, Fajar, Bayu, Fikri, Agung, Hana, Enis, Winny, Rika, Annas, dan Sofi yang telah memberikan dukungan tulus dan mendengar keluh kesah penulis.
9. Segenap keluarga Kopma dr. Angka ITS, SOSMAS BEM ITS, LMB ITS, FOSIF ITS dan Komunitas Peduli Sekitar yang telah memberikan arti tentang kekeluargaan dan organisasi.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak, baik pihak terkait penelitian, maupun khalayak umum khususnya masyarakat Indonesia. Amiin, Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Serat Optik	5
2.2 Pembiasan dan Pemantulan Dalam Total	6
2.3 <i>Numerical Aperture</i>	7
2.4 <i>Makrobending</i> dan <i>Mikrobending</i>	8
2.5 Gelombang Evanescent dalam serat optk.....	10
2.6 <i>Light Emitting Diode (LED)</i>	12
2.7 <i>Optical Power Meter</i>	13
2.8 Regangan.....	14
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Tahap-Tahap Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Pengelupasan <i>Coating</i> pada serat optik	16

3.4	Teknik Pencacatan	17
3.5	Pengamatan Struktur Permukaan	17
3.6	Kalibrasi BF5R-D1-N menggunakan <i>Optical Power Meter</i>	18
3.7	Desain dan Perangkaian Kerangka Alat.....	19
3.8	Pengujian Alat dengan Variasi Pencacatan dan Variasi Regangan	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Analisa Data.....	21
4.1.1	Hasil Uji Kondisi Awal	21
4.1.2	Hasil Kalibasi BF5R-D1-N dengan <i>Optical Power Meter</i>	22
4.1.3	Hasil Pengamatan Pencacatan	25
4.1.4	Hasil Pengukuran Sensor Regangan Serat Optik	27
4.2	Pembahasan	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA		35
BIODATA PENULIS		37
LAMPIRAN A.....		39
LAMPIRAN B.....		49
LAMPIRAN C.....		65
LAMPIRAN D.....		67
LAMPIRAN E.....		69
LAMPIRAN F		71
LAMPIRAN G.....		73

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data intensitas keluaran menggunakan BF5R-D1-N	23
Tabel 4.2 Data daya keluaran menggunakan <i>optical power</i> <i>Meter</i>	23
Tabel 4.3 Nilai Koefisien Korelasi.....	25
Tabel 4.4 Hasil sensitivitas dan resolusi sensor regangan	29

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur serat optik	5
Gambar 2.2 Pembiasaan cahaya pada dua medium.....	6
Gambar 2.3 Gambar 2.4 Perambatan gelombang pada serat optik dalam keadaan normal dan lengkungan	9
Gambar 2.4 Geometri gelombang terbias ke dalam <i>cladding</i> ...	10
Gambar 2.5 Skema penetrasi gelombang <i>evanescent</i> ke dalam <i>cladding</i>	12
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian	15
Gambar 3.2 (a) Akrilik yang digunakan pada penelitian (b) serat optik dengan panjang serat optik 30 cm	17
Gambar 3.3 Mikroskop Stereo	18
Gambar 3.4 Kalibrasi BF5R-D1-N menggunakan <i>Optical Power Meter</i>	19
Gambar 3.5 Skema rangkaian alat.....	20
Gambar 4.1 Pengukuran diameter <i>cladding</i> dan <i>core</i> serat optik	22
Gambar 4.2 BF5R-D1-N	22
Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi BF5R-D1-N menggunakan <i>optical power meter</i>	24
Gambar 4.4 Serat optik yang diberikan satu pencacatan.....	26
Gambar 4.5 Serat optik yang diberikan dua pencacatan (a) salah satu pencacatan pada serat optik (b) serat optik yang diberikan cahaya laser	26
Gambar 4.6 Hubungan regangan dengan daya pada sensor pencacatan	28

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	39
LAMPIRAN B	49
LAMPIRAN C	65
LAMPIRAN D	67
LAMPIRAN E	69
LAMPIRAN F	71
LAMPIRAN G	73

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan serat optik yang pesat menyebabkan aplikasi serat optik saat ini tidak hanya dimanfaatkan sebagai media transmisi tetapi juga sebagai sensor. Sensor regangan menggunakan serat optik memiliki kelebihan dibandingkan dengan sensor lain karena serat optik itu sendiri unggul dalam ukuran yang kecil, tahan terhadap interferensi elektromagnetik dan radiasi cahaya tidak terpengaruh pada sifat bahan sehingga dapat diletakkan dengan bahan komposit secara *non-obstrusive* (tanpa desakan) (Leng Jingsong, 2003).

Serat optik plastik adalah salah satu yang diaplikasikan sebagai sensor karena ringan, fleksibel, relatif murah dan pada prinsipnya setiap serat optik tidak terganggu oleh medan elektromagnet karena hanya mentransmisikan cahaya (Clifford, 1992). Berbagai sistem sensor serat optik telah diteliti dan diaplikasikan untuk berbagai macam pengukuran fisis, diantaranya untuk pengukuran temperatur, getaran, perubahan jarak, indeks bias cairan dan juga regangan suatu bahan. Prinsip kerja serat optik sebagai sensor berbasis pada modulasi intensitas, modulasi panjang gelombang, dan modulasi fase cahaya sebagai isyarat (Krohn, 2000).

Pada penelitian sebelumnya serat optik sebagai sensor pergeseran berbasis modulasi intensitas telah dilakukan dengan memanfaatkan rugi (*losses*) kopling serat optik ke serat optik menggunakan sumber LED dan menggunakan bundle serat optik multimode (Yasin, 2007) dan single mode (A. Rostami, 2007) dengan hasil yang cukup baik tetapi *losses*-nya tinggi. Metode lain dengan *losses* yang lebih rendah dilakukan menggunakan *directional coupler* serat optik *singlemode* berbasis modulasi fase yang menghasilkan sensitivitas yang tinggi tetapi jangkauannya rendah (Baruch M.C, 2002). Aplikasi *directional coupler* serat optik sebagai sensor pergeseran (Hadi P., dkk, 2008).

Sensor serat optik sebagai sensor pergeseran dengan metode yang sederhana juga telah dilakukan yaitu terintegrasi akustik-optik interferometer heterodyne dikembangkan untuk sensor pergeseran (Rubiyanto,2007). Selain itu, sensor berbasis serat optik struktur SMS (Singlemode Multimode Singlemode) dengan pencacatan 1,2,3 pada serat optik dengan memanfaatkan fasilitas pada OTDR dimana pengukuran beberapa titik pergeseran dapat dilakukan secara serempak (Arifin, 2015).

Berbagai jenis sensor serat optik untuk mengukur regangan (*Strain*) dan pergeseran (*Displacement*) telah banyak dikembangkan. Regangan didefinisikan sebagai depormasi benda yang dapat dinormalkan kebentuk semula dalam satu dimensi atau perbandingan perubahan panjang dengan panjang mula-mula benda tersebut. Sedangkan pergeseran didefinisikan sebagai perubahan posisi suatu objek dengan mempertimbangkan besar dan arah dari posisi awal ke posisi akhir (D'hooge dkk, 2000). Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen sensor regangan dengan teknik pencacatan pada serat optik plastik menggunakan sumber cahaya LED dan detektor cahaya dari BF5R-D1-N sehingga tingkat sensitivitas lebih utamakan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perancangan sensor regangan menggunakan serat optik multimode step index yang memiliki keunggulan teknik pengukuran yang sederhana, fabrikasi mudah, biaya murah dan sensitivitas tinggi.
2. Pengukuran intensitas cahaya serat optik menggunakan variasi banyaknya pencacatan serta variasi regangan.
3. Akuisisi data dan karakteristik sensor serat optik multimode step index untuk mengukur tingkat sensitivitas serat optik dengan teknik pencacatan

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis serat optik yang digunakan serat optik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan diameter *core* 0,88 mm dan diameter gabungan *cladding* dan *core* 1 mm.
2. Alat ukur daya keluaran yang digunakan yaitu BF5R-D1-N.
3. Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan LED merah dengan panjang gelombang 660 nm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi pencacatan pada serat optik.
2. Mengetahui sensitivitas serat optik yang terdeteksi akibat dari pencacatan.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan tentang desain dan fabrikasi sensor regangan dengan pengaruh teknik pencacatan serta tingkat sensitivitas pada sensor tersebut dengan variasi banyak pencacatan serat optik.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi tentang gambaran umum keseluruhan dari penelitian ini. Bab I merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan terakhir sistematika penulisan. Bab II adalah tinjauan pustaka yang berisi tentang dasar teori yang melandasi penelitian ini serta sebagai acuan dari penelitian ini. Bab III berisi metodologi penelitian. Bab IV berisi hasil penelitian dan pembahasan. Bab V berisi kesimpulan dan saran.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

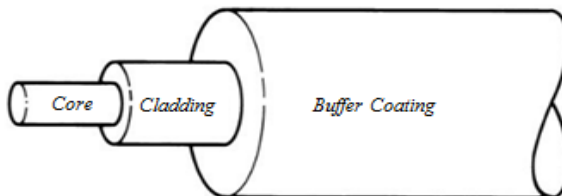
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan helaian optik murni yang sangat tipis dan dapat memtransmisikan cahaya. Bagian-bagian sebuah serat optik tunggal terdiri dari inti (bagian tipis yang berada ditengah serat yang digunakan sebagai jalan cahaya), selubung (bagian optikal terluar yang mengelilingi inti yang berfungsi untuk memantulkan cahaya kembali ke inti), serta jaket (jaket plastik yang melindungi serat dari temperatur dan kerusakan) (Nugraha, 2006). Pada awalnya serat optik plastik tidak begitu diminati karena redamannya yang besar. Namun akhir-akhir ini setelah dipelajari lebih mendalam tentang serat optik polimer mengalami peningkatan dengan mengurangi kerugian ekstrinsiknya.

Syarat yang harus dipenuhi oleh bagian *cladding* ini adalah indeks bias *core* (n_{cr}) harus selalu lebih besar dari indeks bias *cladding* (n_{cl}). Hal ini bertujuan agar terjadi pantulan dalam total pada cahaya didalam *core* sehingga tidak lolos menembus *cladding*. Dalam keadaan ideal tidak terdapat energi yang hilang di dalam *core*. Adapun bagian pelengkap yang terdapat pada serat optik adalah jaket (*coating*), yakni bagian terluar yang berfungsi melindungi bagian *core* dan *cladding* dari kerusakan akibat pengaruh eksternal dari serat optik (Abramczyk, 2008).

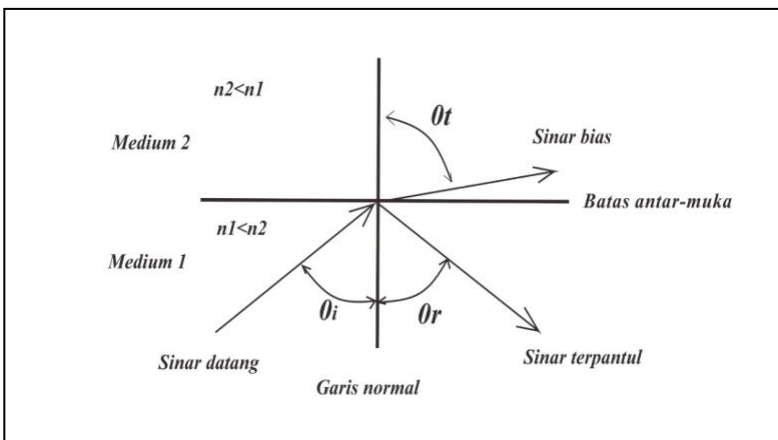


Gambar 2.1 Struktur serat optik (Keiser, 1993)

Jenis serat optik berdasarkan struktur indeks bias core yaitu *step index* dan *graded index*. Pada serat optik *step index* mempunyai satu indeks bias yang homogen baik ditengah core sampai batas *core* dan *cladding*. Sedangkan *graded index* memiliki indeks bias berubah pada *core* nya, indeks bias semakin besar saat mendekati ke tengah sumbu *core* dan menurun secara gradual pada batas core dengan *cladding* (Power,1997).

2.2 Pembiasan dan Pemantulan Dalam Total

Perambatan cahaya didalam serat optik terkait dengan indeks bias dielektrik medium. Indeks bias medium didefinisikan sebagai rasio kecepatan cahaya didalam hampa terhadap kecepatan cahaya didalam medium. Kecepatan cahaya dalam medium rapat lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan cahaya dalam medium renggang. Bila sinar datang pada batas antar muka antara dua dielektrik yang indeks biasnya berbeda (misal kaca dan udara), maka terjadi pembiasaan seperti berikut ini



Gambar 2.2 Pembiasan cahaya pada dua medium
(Abramczyk, 2008)

Lintasan cahaya melalui dua medium berbeda dengan indeks bias medium berbeda dengan indeks bias medium satu (n_1) dan indeks bias medium dua (n_2) akan mengalami pembiasan sebesar sudut tertentu yang dijelaskan berdasarkan persamaan Snellius :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.1)$$

Apabila perambatan cahaya bergerak dari medium rapat (n_2) dengan sudut datang terhadap normal bidang (θ_2) menuju medium kurang rapat (n_1) maka dibiaskan sebesar (θ_1). Karena $n_2 > n_1$. Sudut bias (θ_1) akan lebih besar dari sudut datang (θ_2). Hingga suatu ketika memenuhi suatu kondisi sudut datang kritis (θ_c) adalah sudut yang menghasilkan sudut bias (θ_1) bernilai 90° , dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_1}{n_2} \quad (2.2)$$

Bila sudut datang lebih besar dari pada sudut kritis maka cahaya dipantulkan kembali ke medium dielektrik asal dengan sudut pantul yang nilainya sama dengan sudut datang cahaya. Fenomena ini dikenal dengan pantulan dalam total pada cahaya yang melalui dua medium berbeda (Widodo, 1995).

2.3 Numerical Aperture

Aperatur numerik dari sebuah serat optik adalah parameter yang mengukur kemampuan serat optik untuk mengumpulkan sinar cahaya. Sudut penerimaan juga mengindikasikan seberapa banyaknya cahaya yang dapat diterima masuk ke dalam serat optik. Sehingga, seharusnya terdapat suatu hubungan yang jelas dan mudah di antara aperatur numerik dan sudut penerimaan, karena kedua besaran ini mengukur dua hal pada dasarnya sama. Rumus matematika apertur numerik diturunkan berdasarkan

indeks bias inti dan indeks bias selubung. Rumus matematika operator numerik yaitu

$$NA = \sqrt{n^2_{inti} + n^2_{selubung}} \quad (2.3)$$

Menghitung sudut penerimaan : sudut penerimaan = $\arcsin(NA)$ (Elliott dkk,2008).

Nilai NA untuk serat optik *step index* berkisar antara 0,2 – 0,5 dan serat optik *graded index* di sekitar 0,2 (Hoos,1993). Untuk serat optik *step index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar nilai NA antara 0,3 – 0,5 (Krohn, 2000).

2.4 Makrobending dan Mikrobending

Kerusakan yang terjadi pada serat optik bisa terjadi sewaktu-waktu misalnya pembengkokkan pada serat optik. Terdapat dua jenis pembengkokkan yaitu (a) *Makrobending*, terjadi ketika pembengkokkan yang besar dengan lingkaran melebihi diameter Serat tersebut. Contohnya ketika serat optik membentuk lingkaran. (b) *Mikrobending*, ketika permukaan serat mengalami kenaikan atau penurunan pada posisi semula atau pencacatan serat.

Pada *makrobending* dilakukan pelekukan yang sangat besar sehingga terjadi pengurangan penyinaran kerana banyak sinar yang keluar dan mengalami kenaikan esponen sampai pada kelengkungan kritis. Jika jari-jari lekukan sangat kecil melewati satu titik, maka tiba-tiba sinar hilang karena terlalu besar kelekukannya.

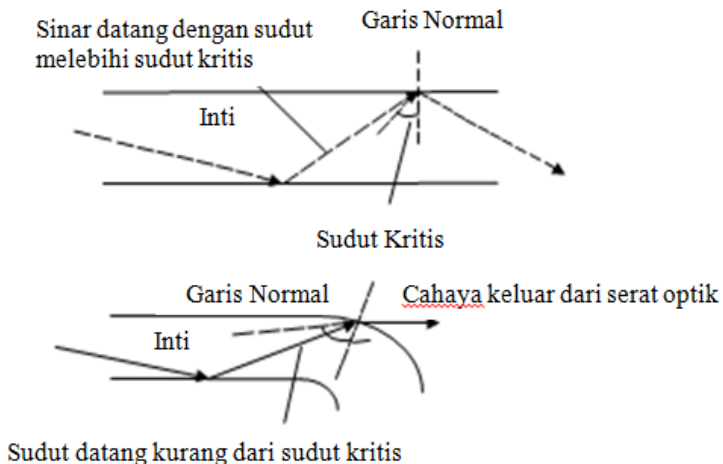
Jari-jari terkecil yang diperbolehkan untuk lekukan kabel selalu disebutkan didalam spesifikasi kabel. Ada parameter yang perlu diperhatikan yaitu parameter ini selalu memiliki dua nilai, jari-jari lekukan yang lebih kecil diperolehkan ketika telah selesai dipasang dan tidak lagi menderita tekanan oleh gaya tarik. Untuk kabel-kabel ringan nilai jari-jari lekukan untuk penggunaan pasca-instalasi adalah 50 mm sedangkan saat instalasi adalah 70

mm, untuk kabel-kabel besar luar ruangan jari-jari lengkungan terkecil adalah sekitar 175 mm setelah instalasi dan 350 mm saat instalasi (Elliott,2008).

Analisis penjalaran gelombang dalam pandu gelombang dielektrik didasarkan pada model tak terhingga tanpa perubahan arah perjalanan, sehingga gelombang cahaya dipandu dengan pemantulan internal sempurna. Jika serat optik melengkung, kondisi pantulan internal sempurna mengalami atenuasi, atenuasi serat optik terjadi karena sudut datang lebih besar daripada sudut kritis. Rugi lengkungan dapat direpresentasikan dengan konstanta atenuasi

$$\alpha_b = M \exp [-R/R_0] \quad (2.4)$$

dimana M konstanta, R jari-jari lengkungan. Jari-jari kritis R_0 adalah fungsi panjang gelombang dan kedalaman penetrasi dari gelombang *evanescent* ke dalam *cladding*.

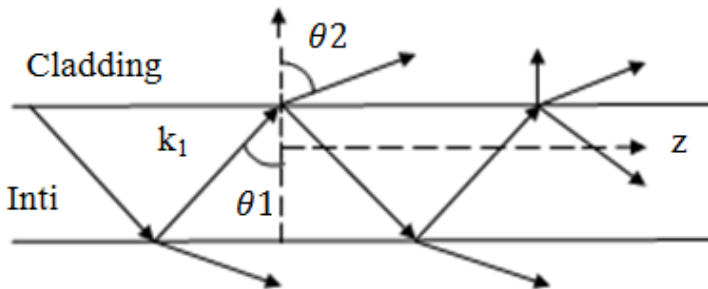


Gambar 2.3 Perambatan gelombang pada serat optik dalam keadaan normal dan lengkung

Lengkungan tajam pada sebuah kabel serat optik dapat menyebabkan timbulnya rugi daya yang besar dan terjadinya kerusakan mekanis (pecahnya serat optik). Garis normal pada serat optik selalu terhadap permukaan inti (bidang batas inti-*cladding*). Jika inti dilengkungkan, seperti dalam Gambar 2.3, maka garis normal akan berubah arahnya mengikuti permukaan inti. Akibatnya cahaya yang merambat dengan sudut aman, menjadi kurang dari kritis dan mengakibatkan cahaya dapat menembus inti dan keluar dari serat optik.

2.5 Gelombang *Evanescent* dalam Serat Optik

Dalam penjalarnya di dalam serat optik, gelombang mengalami pantulan internal sempurna berulang-berulang pada batas inti-*cladding*. Namun demikian, medan listrik tidak benar-benar hilang pada batas kedua bahan dielektrik (inti-*cladding*) walaupun komponen-komponen gelombang yang menjalar terpantul internal sempurna pada batas inti-*cladding*.



Gambar 2.4 Geometri gelombang terbias ke dalam *cladding*

Tinjau gelombang terbias yang ditransmisikan melintasi batas ke dalam *cladding* ketika sudut datang (θ_1) lebih kecil daripada sudut kritis (θ_c), normal terhadap bidang batas inti-*cladding* (Gambar 2.4).

Kedalaman penetrasi ini merupakan jarak tembus gelombang *evanescent* ke dalam *cladding* tegak lurus terdapat bidang batas inti-*cladding*. Merupakan fungsi dari panjang gelombang cahaya dan sudut datang. Secara matematis dituliskan sebagai,

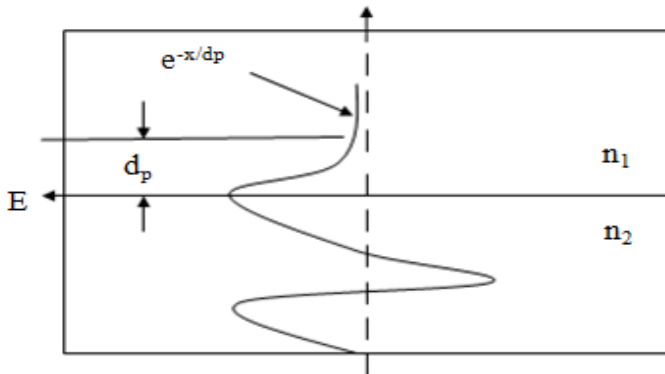
$$d_p = \frac{\lambda}{2\pi n_2 \sqrt{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \sin^2 \theta_1 - 1}} \quad (2.5)$$

Pada dasarnya, gelombang *evanescent* ini muncul dari akibat superposisi berkas datang dengan berkas cahaya yang mengalami refleksi internal pada batas inti-*cladding*. Gelombang berdiri yang dihasilkan disebut gelombang *evanescent*, menembus ke dalam medium kedua diluar inti dan meluruh (*dacays*) cepat dalam arah tegak lurus bidang batas inti-*cladding*. Intensitas medan atau gelombang *evanescent* meluruh secara eksponensial terhadap jarak tegak lurus bidang batas menurut persamaan

$$I_z = I_o \exp\left(-\frac{x}{d_p}\right) \quad (2.6)$$

Dimana x adalah jarak normal terhadap antara muka (interface) inti *cladding*. I_o adalah amplitudo gelombang pada $x=0$. Kedalaman penetrasi d_p gelombang *evanescent* lebih kecil daripada λ , nilainya meningkat tajam ketika sudut datang θ mendekati sudut kritis $\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ (Yu dkk.2008).

Gelombang *evanescent* dapat menembus suatu jarak yang signifikan ke dalam *cladding* sebuah serat optik, yang bergantung pada indeks bias inti dan *cladding*. Panjang gelombang cahaya λ dan sudut datang dari inti (θ) normal terhadap bidang batas inti *cladding* ditunjukkan Gambar 2.5. Gelombang *evanescent* ini merupakan gelombang yang hilang pada pemanduan gelombang di dalam serat optik.



Gambar 2.5 Skema penetrasi gelombang *evanescent* ke dalam *cladding* (Yu dkk.2008)

2.6 Light Emitting Diode (LED)

LED adalah sebuah jenis dioda yang dapat memancarkan cahaya monokromatik. LED akan menyala bila mendapatkan arus bias maju atau arus listik mengalir dari anoda ke katoda. Pembawa muatan elektron dan lubang (*hole*) mengalir ke sambungan dari elektroda dengan beda tegangan. Ketika elektron bertemu dengan lubang, maka energi jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah dan melepaskan energi dalam bentuk foton. Panjang gelombang yang dipancarkan dengan warna yang bergantung pada celah pita energi dari bahan yang membentuk sambungan PN. LED memiliki karakteristik yang berbeda menurut warna yang dihasilkan. Semakin tinggi arus mengalir pada LED, maka semakin terang pula cahaya yang dihasilkan. LED dapat memberikan keluaran cahaya dalam spektrum cahaya tampak seperti halnya dalam panjang gelombang 850 nm, 1300 nm, dan 1550 nm. Dibandingkan dengan laser, LED memiliki keluaran daya yang lebih kecil, kecepatan *switching* yang lebih lambat, dan spektrum yang lebih besar. Kekurangan ini membuatnya lebih

sedikit digunakan pada link data dan telekomunikasi berkecepatan tinggi. Namun demikian, LED dipergunakan secara luas untuk sistem-sistem rentang pendek dan menengah yang menggunakan serat kaca dan plastik karena lebih sederhana, murah, handal, dan tidak terlalu tergantung pada temperatur (Widodo, 1995).

2.7 Optikal Power Meter

Optikal Power Meter yaitu suatu alat yang digunakan untuk menentukan *loss* (rugi) daya cahaya pada saluran serat optik. Untuk mengukur redaman menggunakan satuan dB (desibel) yaitu perbandingan daya, tegangan maupun arus antara dua titik dalam bentuk logaritma. Satuan desibel tidak absolut karena hanya membandingkan level masukan dan keluaran suatu sistem. Untuk satuan absolut adalah sebagai berikut: (a) dBm menyatakan perbandingan antara level suatu level suatu sinyal yang diukur denan sinyal referensi 1 mW.

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \frac{P_1}{1 \text{ mW}} \quad (2.7)$$

(b) dBW menyatakan level daya terhadap referensi daya 1 Watt.

Daya (dBm) = $10 \log P (\text{watt}) / 1 \text{ watt}$

Redaman diukur dalam satuan desibel (dB). *Loss* atau redaman dinyatakan :

$$\text{Loss} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (2.8)$$

$$\text{Loss} = 10 \log (P_{\text{in}} / P_{\text{out}}) \quad (2.9)$$

Keterangan :

Loss = besarnya redaman atau daya yang hilang (dB)

P_{in} = daya masukan

P_{out} = daya keluaran

(J.Laferriere dkk 2011).

2.8 Regangan

Regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang mula-mula sensor, seperti persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (2.10)$$

Dimana ΔL adalah perubahan panjang sensor serat optik polimer oleh pergeseran dan L_o adalah panjang mula-mula sensor serat optik polimer. Jika regangan diterapkan pada sensor serat optik untuk menginduksi perubahan panjang, jari-jari inti dan indeks bias, maka dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta L = L \varepsilon \quad (2.11)$$

$$\Delta a = -\sigma \alpha \varepsilon \quad (2.12)$$

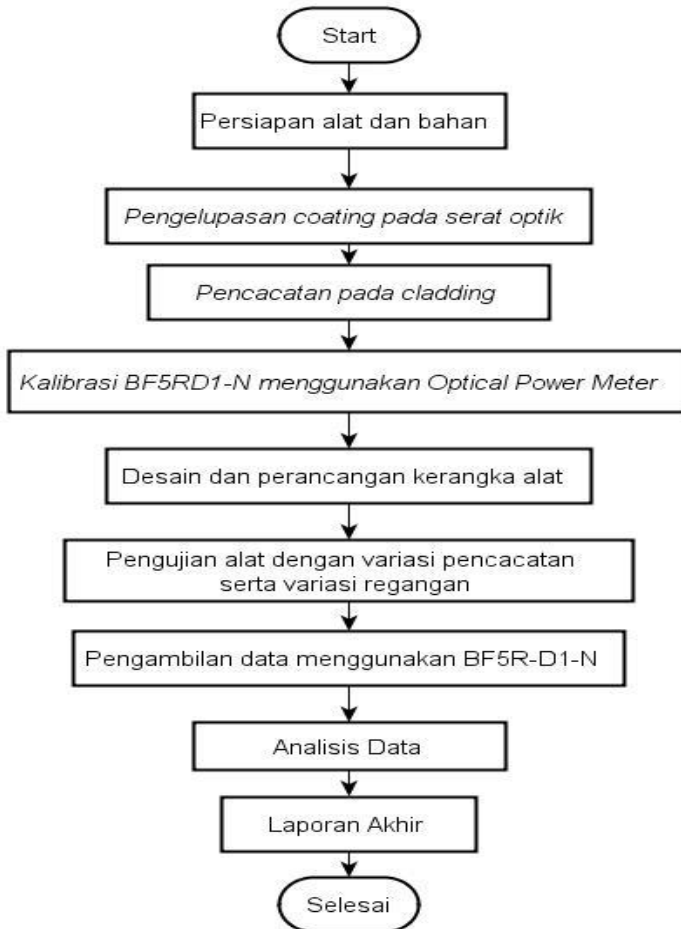
$$\Delta n_i = -\frac{n_i}{2} [P_{12} - \sigma(P_{11} + P_{12})] \varepsilon = -P_e \varepsilon \quad (2.13)$$

dimana L adalah panjang sensor serat optik, a adalah jari-jari serat optik, n_i adalah indeks bias inti atau selubung dari serat optik, P_{11} dan P_{12} adalah koefisien pockels, P_e adalah koefisien regangan optik efektif, dan σ adalah *Poisson ratio* (Arifin, 2015).

BAB III METODOLOGI

3.1 Tahap-tahap Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yang digambarkan seperti pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. BF5RD1-N 2 buah
2. DIN Rail 2 buah
3. *Optical Power Meter*
4. *Power Supply* 2 buah
5. Gunting
6. *Cutter*
7. Akrilik
8. Penggaris 60 cm
9. Mikroskop Stereo
10. *Microdisplacement*
11. Pelat tetap
12. Pisau kecil
13. Jangka sorong
14. Selotip
15. *Fiber cutter*

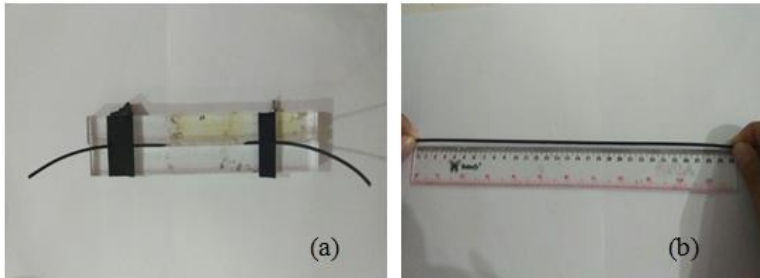
Adapun bahan yang digunakan antara lain :

1. Serat optik tipe FD-620-10 dengan diameter *core* 0,88 mm dan diameter *cladding+core* 1 mm.
2. Alkohol 96%
3. Tissue

3.3 Pengelupasan *Coating* pada Serat Optik

Pada tahap ini panjang serat optik yang digunakan sepanjang 30 cm. Pemotongan serat optik menggunakan *fiber cutter* agar proses pemotongan rata dengan sempurna. Tahap selanjutnya dilakukan pengelupasan coating menggunakan alat kupas berupa akrilik untuk mempermudah pengupasan coating pada serat optik. Alat akrilik ini terdiri dari 2 bagian balok berbentuk seperti gambar 3.2 (a) dengan menggunakan *cutter* proses pengelupasan dilakukan pada bagian tengah sepanjang 8 cm sehingga tersisa *core* dan *cladding* nya saja. Untuk mempermudah pengelupasan diberikan selotip di kedua ujung serat optik. Selain itu, untuk

menjaga kebersihan serat optik yang telah dihilangkan *coating*nya dilakukan sterilisasi menggunakan alkohol berkadar 96% dengan menggunakan tisu. Dalam penelitian ini disiapkan 5 buah serat optik yang sudah dipotong sepanjang 30 cm seperti pada gambar 3.2 (b).



Gambar 3.2 (a) Akrilik yang digunakan sebagai alat bantu pengupas serat optik (b) serat optik dengan panjang serat optik 30 cm

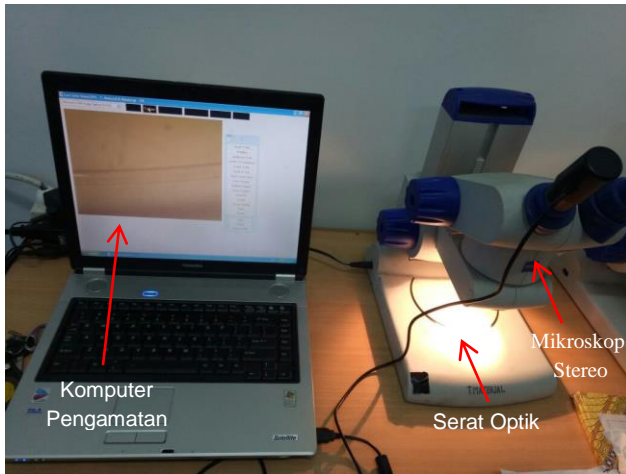
3.4 Teknik Pencacatan

Pencacatan pada struktur serat optik polimer dibuat dengan cara menggoreskan permukaan serat yaitu *cladding* menggunakan pisau kecil dan lancip. Permukaan *cladding* digoreskan sebanyak 20 goresan pada tiap titik nya. Jarak satu titik pencacatan dengan pencacatan lain 1 cm. Terdapat 5 variasi pencacatan yaitu 1 pencacatan, 2 pencacatan, 3 pencacatan, 4 pencacatan dan 5 pencacatan dengan lebar pencacatan yang sama sebesar 3 mm.

3.5 Pengamatan Struktur Permukaan

Sebelum dilakukan perangkaian alat dilakukan pengamatan pada struktur permukaan serat optik. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati bentuk permukaan serat optik yang telah dilakukan pencacatan. Pengujian ini dilakukan di Lab. Metal, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Dalam pengujian ini alat yang digunakan yaitu mikroskop stereo. Bagian serat optik

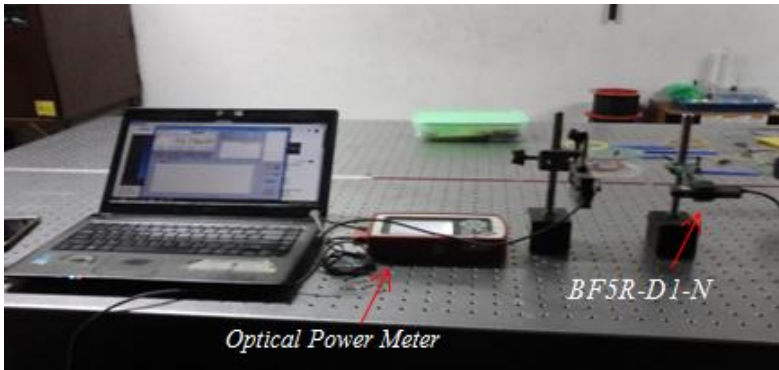
yang telah dilakukan pencacatan diletakkan pada meja preparat pengamatan. Hasil pengamatan dapat diperbesar dengan skala mikro sehingga dapat dilihat pada komputer sepanjang daerah pencacatan.



Gambar 3.3 Mikroskop Stereo

3.6 Kalibrasi BF5R-D1-N Menggunakan *Optical Power Meter*

Proses kalibrasi alat BF5R-D1-N yaitu bertujuan untuk membandingkan daya keluaran dari BF5R-D1-N dengan *optical power meter* sehingga mendapatkan hasil daya keluaran dalam satuan Watt. *Optical power meter* yang digunakan bertipe PM100D dengan *range* panjang gelombang 400 nm sampai dengan 1100 nm.



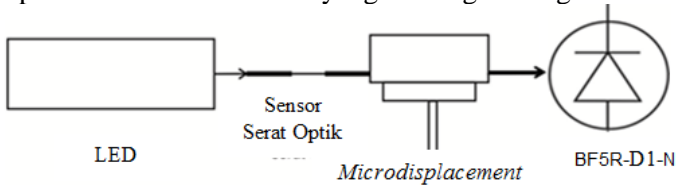
Gambar 3.4 Kalibrasi BF5RD1-N menggunakan
Optical Power Meter

3.7 Desain Dan Perangkaian Kerangka Alat

Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain dan perangkaian alat. Peralatan yang menunjang untuk penelitian ini yaitu *power supply*, serat optik, statip, BF5RD1-N, *microdisplacement* dan *optical power meter*.

1. *Power supply* digunakan sebagai sumber tegangan untuk mengaktifkan laser He-Ne
2. BF5R-D1-N digunakan sebagai sumber cahaya yang berupa LED memiliki panjang gelombang 660 nm.
3. Serat optik polimer yang digunakan *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan diameter *core* 0,88 mm dan diameter *core+cladding* 1 mm.
4. Statip adalah sebuah alat yang dipasang tetap sebagai penahan serat optik dari tarikan *microdisplacement*.
5. *Microdisplacement* digunakan sebagai pengatur pergeseran dalam ukuran mikro meter dan maksimum pergeserannya 1500 μm .
6. Detektor cahaya yang digunakan yaitu BF5R-D1-N.
7. *Optical power meter* digunakan untuk kalibrasi hasil daya keluaran BF5R-D1-N.

Sumber cahaya LED dari BF5RD1-N ditransmisikan melalui serat optik yang diterima oleh detektor cahaya BF5RD1-N yang lain kemudian dilihat daya keluaran berupa intensitas cahaya. Kedua ujung serat optik terhubung dengan LED dan detektor cahaya, sedangkan bagian tengah serat optik (serat optik yang telah dilakukan pencacatan) yang digunakan sebagai sensor terpasang antara plat tetap dan *microdisplacement*. Selanjutnya diukur daya keluaran yang diperoleh dari BF5R-D1-N yang berfungsi sebagai *receive*.



Gambar 3.5 Skema Rangkaian Alat

3.8 Pengujian Alat Dengan Variasi Pencacatan Serta Variasi Regangan

Variasi pencacatan dan variasi regangan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi terhadap rugi daya tersebut. Variasi pencacatan yang diberikan sebanyak 1 sampai 5 pencacatan dengan lebar pencacatan 3 mm dan jarak antar pencacatan dibuat dengan ukuran yang sama yaitu sebesar 1 cm. Pada penelitian ini pengukuran tingkat sensitivitas dari sensor regangan dilakukan dengan beberapa variasi tegangan. Perubahan regangan setiap 1 μm mulai dari 0 μm hingga 13 μm .

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian rancangan sensor regangan serat optik dengan teknik pencacatan telah dilakukan. Dari hasil pengukuran menggunakan BF5R-D1-N diperoleh grafik hubungan daya keluaran dan regangan serta data dalam format excel terdiri dari regangan dan intensitas cahaya yang kemudian dikonversikan menjadi regangan dan daya keluaran. Eksperimen dalam penelitian ini menggunakan metode sederhana, menggunakan sumber cahaya LED infra merah yang bersumber dari BF5R-D1-N, serat optik, dan *microdisplacement*.

4.1 Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan variasi pengambilan data pada serat optik untuk mengetahui tingkat sensitivitas serat optik setelah dilakukan pencacatan. Variasi yang dilakukan antara lain variasi banyaknya pencacatan dan variasi regangan.

4.1.1 Hasil Uji Kondisi Awal

Sebelum dilakukan rancangan sensor regangan serat optik dengan teknik pencacatan terlebih dahulu dilakukan uji kondisi awal sensor serat optik. Sensor serat optik yang digunakan yaitu serat optik plastik *multimode step index* tipe FD-620-10 buatan Autonics dengan menggunakan jangka sorong dilakukan pengukuran secara langsung pada serat optik dan diperoleh diameter *core* sebesar 0,8 mm dan *cladding* 0,2 mm, sehingga diameter gabungan *core* dan *cladding* 1 mm seperti pada Gambar 4.1. Serat optik tipe FD-620-10 ini memiliki indeks bias *core* 1,492 dan indeks bias *cladding* 1,417 dengan nilai *numerical aperture* (NA) sebesar 0,5 dengan sudut keluaran 60° yang memiliki bentuk seperti kerucut. Bahan *core* dan *cladding* serat optik FD-620-10 terbuat dari resin sintetik poli akrilik.



Gambar 4.1 Pengukuran diameter *cladding* dan *core* serat optik

4.1.2 Hasil Kalibrasi BF5RD1-N Menggunakan *Optical Power Meter*

BF5R-D1-N adalah amplifiier fiber optik yang memiliki model *display* tunggal dan *display* ganda. Pada penelitian ini digunakan *display* ganda. prinsip kerja BF5R-D1-N yaitu semikonduktor NPN (Negatif Positif Negatif). Model sumber lampu LED merah, hijau, dan biru. Untuk penelitian ini menggunakan LED merah dengan panjang gelombang 660 nm.



Gambar 4.2 BF5R-D1-N

Kalibrasi ini dilakukan karena nilai yang terbaca pada BF5R-D1-N merupakan nilai tanpa satuan, sehingga dibutuhkan kalibrasi dengan menggunakan *optical power meter* untuk

mendapatkan nilai daya keluaran dengan satuan Watt. Berikut ini hasil kalibrasi BF5R-D1-N menggunakan *optical power meter* dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data intensitas keluaran menggunakan BF5R-D1-N

No	Tegangan (Volt)	Output (au)
1	8	1997
2	8,5	2253
3	9	2325
4	9,5	2432
5	10	2465

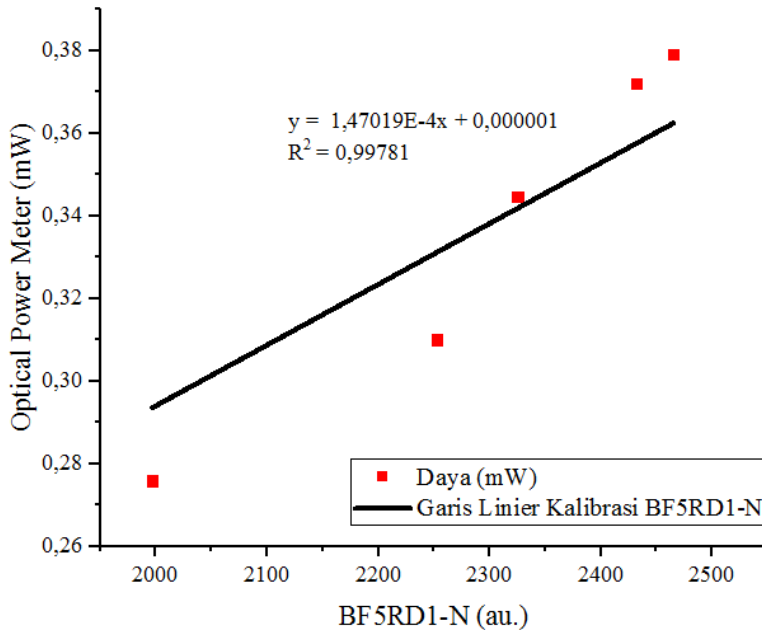
Tabel 4.2 Data daya keluaran menggunakan *optical power meter*

No	Tegangan (Volt)	Output (mW)
1	8	0,276
2	8,5	0,31
3	9	0,345
4	9,5	0,372
5	10	0,379

Pada pengambilan data kalibrasi digunakan lima sampel data berdasarkan perubahan tegangan sebesar 0,5 Volt dimulai dari 8 Volt sebagai batas bawah tegangan dan 10 volt sebagai batas atas tegangan. Penentuan batas bawah dan batas atas dikarenakan apabila diberikan tegangan dibawah 8 Volt atau diberikan tegangan diatas 10 Volt, daya keluaran yang dihasilkan bernilai stabil.

Dari hasil pengukuran tersebut, dibuat grafik kalibrasi pada Gambar 4.3 terdapat persamaan yang berada pada garis linier $y = 0,147019 \cdot 10^{-4}x + 0,000001$ yang mempunyai nilai koefisien

determinasi $R^2 = 0,99781$. Sehingga persamaan y mengartikan bahwa y fungsi x . Dimana y adalah tegangan *optical power meter* maka fungsi x adalah intensitas cahaya BF5R-D1-N, sehingga nilai tegangan *optical power meter* bergantung pada intensitas cahaya BF5R-D1-N. Persamaan regresi di atas menunjukkan nilai $0,147019 \cdot 10^{-4}x$. Nilai $0,147019 \cdot 10^{-4}x$ menunjukkan *slope* yang menunjukkan arah regresi linier. Bisa diartikan regresi menunjukkan angka peningkatan ataupun penurunan variabel. Bila (+) maka naik dan bila (-) maka terjadi penurunan. Karena angka koefisien regresinya (+) maka mengalami kenaikan variabel.



Gambar 4.3 Kalibrasi BF5RD1-N menggunakan *optical power meter*

Sedangkan nilai 0,000001 disebut *intercept*. Dalam hal ini *intercept* mengartikan bahwa pada nilai awal perhitungan pada BF5R-D1-N, nilai *optical power meter* sebesar 0,000001 Watt. Sehingga 0,000001 Watt bisa dijadikan sebagai nilai terkecil dari *optical power meter*. Pada gambar 4.3 diperoleh koefisien determinasi $R^2 = 0,9584$. Nilai R ini merupakan koefisien korelasi. Dengan kata lain nilai keeratan korelasi antara *optical power meter* dengan BF5RD1-N yaitu sebesar 0,9989. Adapun nilai 0,9989 diperoleh dari nilai 0,9585 diakarkan sehingga didapatkan hasil 0,9989. Berdasarkan tabel nilai koefisien korelasi, maka termasuk kategori sangat kuat karena berada pada range nilai koefisien korelasi 0,80 – 1,00. Jadi, korelasi antara *optical power meter* terhadap BF5RD1-N sangat kuat. Perubahan nilai *optical power meter* terhadap BF5RD1-N sebanyak 95,85 % sedangkan sisanya merupakan faktor lain diluar variabel bebasnya.

Tabel 4.3 Nilai Koefisien Korelasi

Nilai Koefisien Korelasi	Keterangan
0,00-0,199	Sangat rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Cukup
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat kuat

Sumber: Sudjana (1982) dikutip Anggraeni (2008)

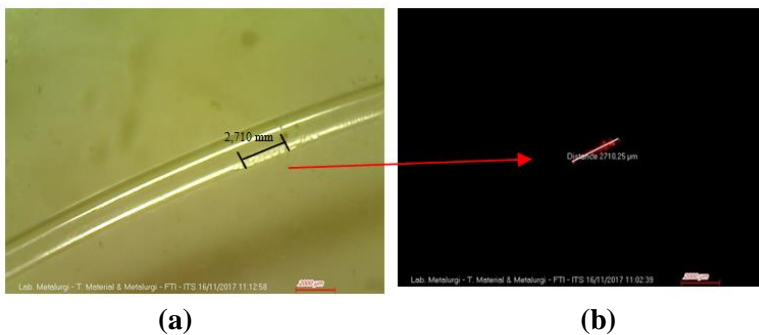
4.1.3 Hasil Pengamatan Pencacatan

Proses pengamatan pencacatan dilakukan di Lab. Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dari pengamatan menggunakan mikroskop stereo diperoleh pengamatan pencacatan pada serat optik dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Serat optik yang diberikan satu pencacatan

Berdasarkan pengamatan diatas diperoleh lebar pencacatan pada serat optik satu pencacatan sebesar 3,608 mm. Artinya melebihi dari yang diinginkan yaitu 3 mm. Hal ini bisa terjadi karena ukuran pencacatan yang terlalu kecil sehingga pada proses pencacatan menggunakan pisau kecil bisa melebihi dari batas yang diinginkan.



(a)

(b)

Gambar 4.5 Serat optik yang diberikan dua pencacatan (a) salah satu pencacatan pada serat optik (b) serat optik yang diberikan cahaya laser

Pada Gambar 4.5 menunjukan salah satu pencacatan hasil pengamatan serat optik yang diberikan dua pencacatan yaitu

sebesar 2,710 mm. Hal ini berarti lebar pencacatan yang pertama pada serat optik ini kurang dari 3 mm. Sedangkan pada pencacatan yang kedua, lebar pencacatannya sebesar 3,2275 mm yang teramati pada gambar di lampiran A.

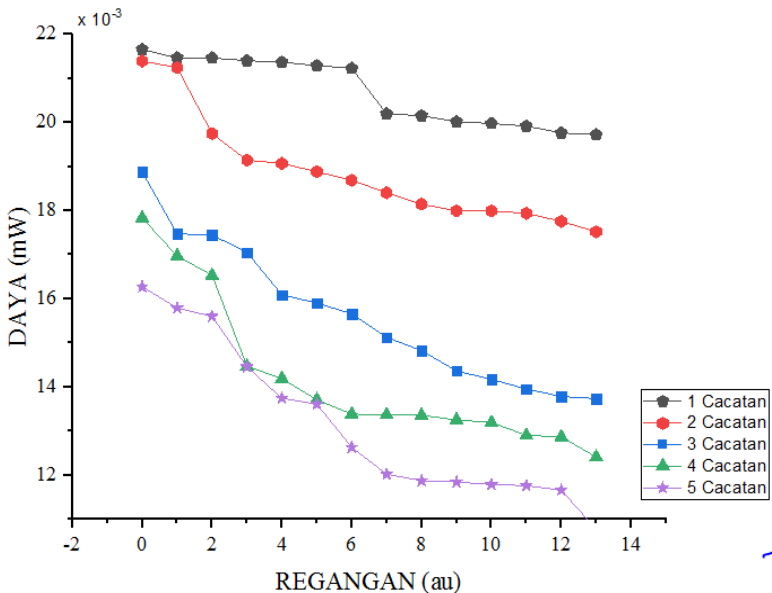
Pada serat optik dengan 3 pencacatan diperoleh lebar pencacatan yaitu 2,73453 mm; 2,51411 mm dan 2,90531 mm. Sedangkan pada serat optik dengan 4 pencacatan memiliki lebar sebesar 4,10157 mm; 2,58275 mm; 3,50778 mm dan 1898,38 mm. Pengamatan selanjutnya pada serat optik dengan 5 pencacatan memiliki lebar sebesar 2,8226 mm; 3,82231 mm; 3,68447 mm; 3,44212 mm dan 3,0558 mm. Hasil pengamatan yang teramati dapat dilihat pada lampiran A.

4.1.4 Hasil Pengukuran Sensor Regangan Serat Optik

Rancangan sensor regangan serat optik dengan teknik pencacatan untuk mengetahui seberapa sensitivitas serat optik tipe FD-620-10. Data hasil pengukuran serat optik dengan teknik cacatan dengan lebar cacatan 3 mm dengan panjang lintasan sensor serat optik 8 cm yang telah dikelupas *coating* nya. Pengukuran dilakukan mulai pergeseran 0 μm hingga 13 μm . Data hasil eksperimen dapat terbaca pada BF5R-D1-N. Data output yang terbaca kurang stabil sehingga diambil data berdasarkan angka yang sering muncul dan diambil data sebanyak 5 kali pengulangan setiap regangan yang diberikan agar dapat dilihat output rata-rata dari setiap regangan.

Data hasil eksperimen selanjutnya dikonversikan menggunakan data kalibrasi BF5R-D1-N dengan *optical power meter* sehingga dapat menghasilkan daya keluaran dalam satuan Watt, yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.3. Dari data perbahan intensitas keluaran terhadap perubahan regangan yang telah dikonversikan menjadi perubahan daya terhadap regangan.

Dari data yang telah diperoleh pada lampiran B dapat dibuat dalam bentuk grafik hubungan regangan dengan daya pada sensor regangan seperti pada Gambar 4.6 dalam grafik tersebut masing-masing warna titik mewakili variasi pencacatan yang berbeda-beda.



Gambar 4.6 Hubungan regangan dengan daya pada sensor regangan

Nilai regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang mula-mula sensor. Jadi nilai yang terdapat pada regangan diatas adalah perubahan panjang. Misal perubahan panjang yaitu $1 \mu\text{m}$, maka nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{1}{L_0}$$

Hasil pengukuran sensor regangan pada satu cacatan menunjukkan perubahan yang besar pada regangan 6 ke 7. Dan

terjadi penurunan daya disetiap perubahan regangan serta adanya penurunan daya di setiap perubahan rangkaian. Pada rangkaian sensor regangan dengan dua pencacatan terdapat penurunan nilai daya dari hasil pengukuran dengan satu pencacatan. Jadi semakin bertambah banyak pencacatan, maka hasil pengukurannya semakin menurun. Hal ini disebabkan adanya pembiasan yang keluar semakin banyak akibat pencacatannya.

Dari hasil pengukuran daya keluaran yang telah disajikan pada Gambar 4.6 dapat dilakukan perhitungan nilai sensitivitas yaitu daya keluaran maksimum dikurangi daya minimum dibagi regangan maksimum dikurangi regangan minimum. Sedangkan resolusi pengukuran merupakan nilai terkecil yang mampu dideteksi oleh suatu alat ukur.

Sensitivitas pada penelitian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$S = \frac{P_{max} - P_{min}}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}$$

dimana ε_{max} dan ε_{min} adalah regangan maksimum dan regangan minimum. Resolusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$R = \frac{N}{S}$$

dimana N adalah skala terkecilnya *optical power meter* yaitu 0,001 μ W dan S adalah nilai sensitivitas.

Tabel 4.4 Hasil sensitivitas dan resolusi sensor regangan

Variasi Pencacatan	Sensitivitas (Watt/au)	Resolusi (au)
1	0,000148602	0,006729
2	0,000297883	0,003357
3	0,000395594	0,002528
4	0,000417308	0,002396
5	0,000422962	0,002364

4.2 Pembahasan

Sensor berbasis serat optik dalam penelitian ini termasuk sensor intrinsik. Sensor intrinsik memiliki stabilitas sinyal yang lebih tinggi karena daya keluaran sesuai dengan variasi parameter yang diukur. Dalam rancangan sensor serat optik menggunakan LED merah dari BF5R-D1-N sebagai sumber cahaya. LED memiliki daya keluaran yang lebih kecil, kecepatan *switching* yang lebih lambat dan lebar spektrum yang lebih besar. LED digunakan secara luas untuk sistem-sistem rentang pendek dan menengah yang menggunakan serat optik kaca dan plastik seperti sensor karena dayanya yang lebih rendah sehingga membuat LED lebih aman digunakan. LED merah dari BF5R-D1-N ini memiliki panjang gelombang 660 nm dengan bahan yang digunakan yaitu semikonduktor dengan sambungan p-n yang memancarkan cahaya ketika diberi tegangan bias maju. BF5R-D1-N juga digunakan sebagai detektor cahaya. Adapun prinsip semikonduktor yang terdapat pada BF5R-D1-N adalah NPN (Negatif-Positif-Negatif). Lapisan semikonduktor tipe P yang diapit 2 semikonduktor tipe N. Ketiga bagian transistor ini disebut emitor, basis, dan kolektor. Semikonduktor tipe-N yang lebih kecil akan menjadi daerah emitor. Pada semikonduktor tipe-N menjadi daerah emitor ini disisipkan lebih banyak logam pengotor dibandingkan dengan semikonduktor tipe N menjadi daerah kolektor. Sehingga pada daerah emitor lebih banyak terdapat elektron bebas dibandingkan dengan daerah kolektor. Sedangkan semikonduktor tipe-P yang menjadi daerah basis dibuat tipis dan banyak mengandung muatan positif (lubang). Arus yang mengalir antara basis dan emior untuk menglrkan arus lebih besar dari kolektor ke emitor.

Sebelum dilakukan perancangan sensor regangan terlebih dahulu dilakukan kalibrasi pada BF5R-D1-N menggunakan *Optical Power Meter*. Kalibrasi BF5R-D1-N dilakukan di Lab. Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika ITS. Proses kalibrasi

BF5R-D1-N yaitu membandingkan hasil keluaran menggunakan detektor BF5R-D1-N dengan hasil keluaran detektor *Optical Power Meter*. Sumber cahaya yang digunakan dalam kalibrasi yaitu LED merah dari BF5R-D1-N. Sumber cahaya dan detektor cahaya (BF5R-D1-N dan *Optical Power Meter*) dihubungkan dengan serat optik berukuran 10 cm. Kemudian diamati hasil daya keluarannya pada masing-masing detektor cahaya. Proses pengambilan data dilakukan pengulangan banyak 10 kali pengulangan. Setelah itu, diamati perubahan daya keluarannya seperti Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Dari hasil pengukuran tersebut disajikan dalam bentuk grafik dan diperoleh regresi linier.

Panjang serat optik yang digunakan 30 cm. Sedangkan panjang sensor serat optik 8 cm berada pada tengah serat optik. Setelah dilakukan pencacatan pada *cladding* dengan lebar pencacatan 3 mm. Menentukan lebar pencacatan dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop stereo. Mikroskop stereo dapat mengamati sampel dengan perbesaran 7 hingga 30 kali sehingga dapat mengamati walaupun bendanya sangat kecil. Ruang ketajaman lensa mikroskop stereo jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop cahaya sehingga sampel yang diamat berbentuk 3D. Sumber cahaya berasal dari atas sehingga objek yang tebal dapat diamati. Perbesaran lensa okuler biasanya 10 kali sedangkan lensa objektif menggunakan sistem zoom dengan perbesaran total maksimal 30 kali.

Prinsip dasar sensor berbasis serat optik yaitu terjadinya perubahan amplitudo atau intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik. Intensitas cahaya yaitu energi cahaya yang dipindahkan dalam tiap satuan waktu dan tiap satuan luas. Cahaya LED yang merambat dalam serat optik menyebabkan terjadinya perbedaan intensitas setelah keluar dari serat optik. Sedangkan prinsip dasar sensor regangan berbasis serat optik adalah terjadinya perubahan panjang pada serat optik polimer akibat tarikan oleh *microdisplacement* yang menyebabkan penurunan daya keluaran pada sensor yang terukur pada BF5R-D1-N sebagai

detektor cahaya. Bila regangan yang diterapkan pada sensor semakin besar, maka daya keluaran pada sensor regangan semakin berkurang. Pencacatan pada *cladding* diberikan sebanyak 20 goresan akibat dari goresan tersebut cahaya keluar dari serat optik dan tidak terpantulkan kembali ke inti. Apabila tidak terjadi pencacatan proses pemanduan gelombang cahaya bisa sempurna dengan baik. Proses pemanduan gelombang cahaya bisa terjadi karena dua syarat pemanduan gelombang yaitu pemanduan dalam total dan indek bias $n_2 > n_1$ sehingga suatu ketika memenuhi suatu kondisi sudut datang kritis (θ_c) adalah sudut yang menghasilkan sudut bias (θ_1) bernilai 90° .

Berdasarkan Tabel 4.4 setelah dilakukan pengukuran sensor regangan berbasis serat optik diperoleh hasil sensitivitas tanpa pencacatan sebesar 0,0004 mW/au dengan resolusi 0,002498 au. Sedangkan serat optik dengan satu pencacatan diperoleh sensitivitas 0,000148 mW/au dan resolusi 0,006729 au. Pada dua pencacatan diperoleh sensitivitas 0,000297 mW/au dengan resolusi 0,003357 au. Pada tiga pencacatan diperoleh sensitivitas 0,000395594 mW/au dengan resolusi 0,002528 au. Hasil sensitivitas dan resolusi sensor regangan pada empat pencacatan diperoleh 0,000417 mW/au dan 0,002396 au. Dan hasil sensitivitas dan resolusi sensor regangan pada lima pencacatan diperoleh 0,00042 mW/au dan 0,002364 au. Metode ini mampu meningkatkan sensitivitas dan resolusi sensor yang sebanding dengan banyak jumlah pencacatan. Semakin banyak jumlah pencacatan, maka semakin tinggi pula sensitivitas dan resolusi sensor yang dihasilkan semakin kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan sensor regangan dengan teknik pencacatan serat optik *multimode step index* menggunakan BF5R-D1-N. Metode ini mampu meningkatkan sensitivitas dan resolusi sensor yang sebanding dengan banyak jumlah pencacatan. Semakin banyak jumlah pencacatan, maka semakin tinggi pula sensitivitas dan resolusi sensor yang dihasilkan semakin kecil. Besar sensitivitas dan resolusi sensor regangan adalah 0,000148602 mW/au dan 0,006729 au pada panjang sensor 8 cm dengan satu pencacatan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu perlu dilakukan studi lebih lanjut terhadap banyaknya pencacatan dan panjang sensor sehingga bisa diaplikasikan langsung dalam berbagai bidang aplikasi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Abramczry, 2008. *Fundamental of Optical Fiber Transmission*. Berlin : Technical University of Lody
- Arifin, 2015. **Pengembangan Sensor Regangan dan Pergeseran Berbasis Serat Optik**. Disertasi Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Baruch, M.C., Gerdt, D.W, Adkins,C.M., 2002. *Fiber Optics Couplers Displacement Sensor*, Procceding SPIE
- Clifford R.Pollock, 1992. *Fundamental of Optoelektronics*, Prentise Hall Internasional
- D'hooge, J., Heimdal, A., Jamal, F., Kukulski T., Bijnens, B., Radermakers, F., Hatle, A., Suetens, P., and Sutherland, G.R., 2000. *Regional Strain and Strain Rate Measurement by Cardiac Ultrasound : Principles, Implementation and Limiation*, Eur.J. Echocardiography, Vol.1 issue 3. PP 154-170
- Elliott, Barry and John Crisp, 2008. **Serat Optik : Sebuah Pengantar**. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Hadi P., dan Yunus, A.R., 2008. **Aplikasi Directional Coupler Serat Optik sebagai Sensor Pergeseran**: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya Volume 4, Nomor 2
- Hoss, RJ,1993. *Fiber Optics, Second edition*.New Jersey-Hall
- J.Laferriere dkk., 2011. *Reference Guide to Optical Fiber Optic Testin Second Edition*. JSDU
- Jingsong, Leng and Asundi, Anand., 2003. *Sensor and Actuators*, A.103, 330-340
- Krohn, D.A., 2005. **Fiber Optik Sensor, Fundamental and Application**, 3rd. New York: ISA
- Nugraha, Andi Rahman, ST. 2006. **Serat Optik** Edisi1. Yogyakarta
- Power, John, 1997. *An Introduction To Fiber Optic Systems*. 2nd Edision. New York: Mc Graw Hill
- Puranto, Prabowo, Resetiana D.D., Ani Sugiarti, Tomi B.W., dan Edi T.A., 2007. **Studi Awal Pembuatan Sistem**

Sensor Pengukuran Regangan Suatu Bahan Menggunakan Fiber Optik Plastik Berbasis Data Akuisisi. Tangerang: LIPI

Rubiyanto, A, 2007. *Integrated Acousto-Optical Heterodyne Interferometer for Displacement Measurement*, Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi (Industri), Vol. 6, No. 1, pp 1-4

Widodo, 1995. **Optoelektronika**. Yogyakarta. Penerbit Andi

Yasin, M.Harun, W.S Abdul Rasyid, H.A., Kusminarto, Karyono dan H. Ahmad, 2007. *Laser Physics* 10,1002.

BIOGRAFI PENULIS



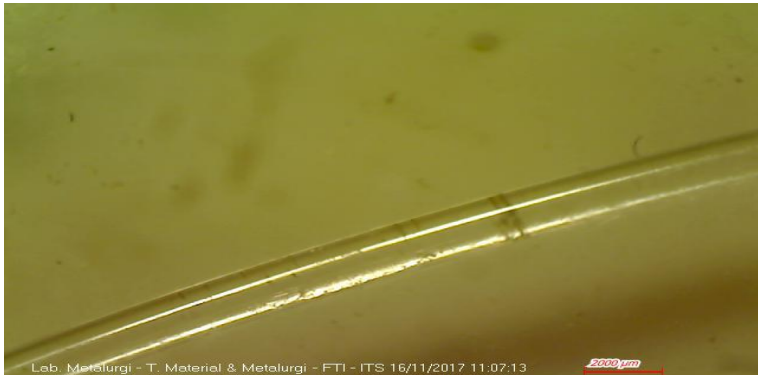
Penulis bernama lengkap "Muhadha Shalatin" merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara yang lahir dari pasangan bapak Sukarji dan ibu Titin Rohatin. Penulis lahir di Kota Tangerang pada tanggal dan bulan yang sama dengan presiden pertama Indonesia "Bapak Soekarno", di tahun 1995. Hal ini seolah memberikan harapan orang tua penulis untuk membesarkan penulis sebagai pejuang dan bermanfaat bagi bangsa Indonesia. Penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Al-Amanah, SDN Merak II, SMPN 2

Balaraja, dan SMAN 19 Kabupaten Tangerang. Penulis dibesarkan di Tangerang, kemudian menjadi mahasiswa Fisika ITS sejak tahun 2013 melalui jalur SNMPTN dengan NRP 1113100065, dan mendalami bidang optoelektronika. Selama menjalani masa belajar di Fisika ITS, penulis aktif sebagai Asisten Fisika Laboratorium pada tahun 2016 dan 2017, penulis juga aktif dalam beberapa organisasi, diantaranya Staf Magang HIMASIKA ITS 2013/2014, Staff Forum Studi Islam Fisika ITS 2013/2014, Staf Event LMB ITS 2013/2014, Asisten Direktur Keuangan Kopma dr. Angka ITS 2014/2015, dan Asisten Dirjen Lingkungan Hidup BEM ITS 2015/2016, selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan luar kampus yaitu Komunitas Peduli Sekitar sampai sekarang. Harapan penulis adalah agar karya ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dan menjadi kontribusi penulis dalam kebermanfaat pada bidang yang penulis dalam. (adha9766@gmail.com)

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran A

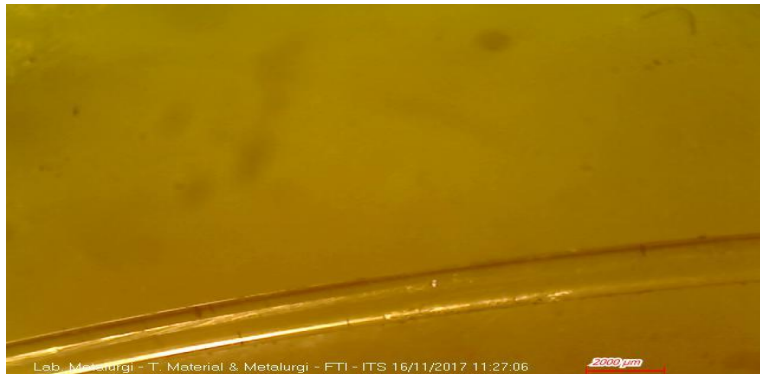
Data hasil pengamatan mikroskop stereo sebagai berikut.



Gambar A.1 Serat optik yang diberi dua pencacatan dengan lebar pencacatan yang kedua sebesar 3,2275 mm



Gambar A.2 Serat optik yang diberi tiga pencacatan dengan lebar pencacatan yang pertama sebesar 2,73453 mm



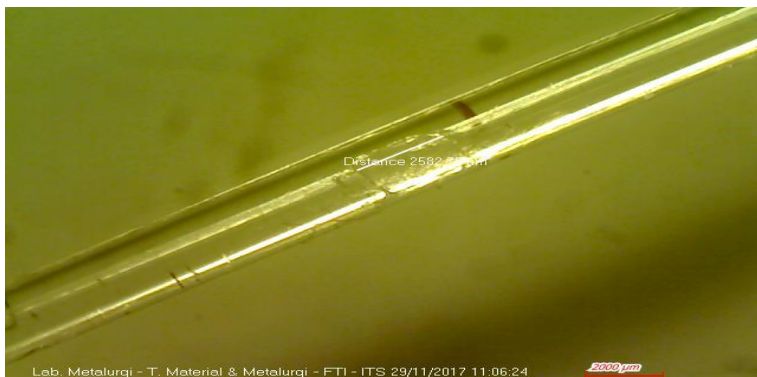
Gambar A.3 Serat optik yang diberi tiga pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke dua sebesar 2,51411 mm



Gambar A.4 Serat optik yang diberi tiga pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke tiga sebesar 2,90531 mm



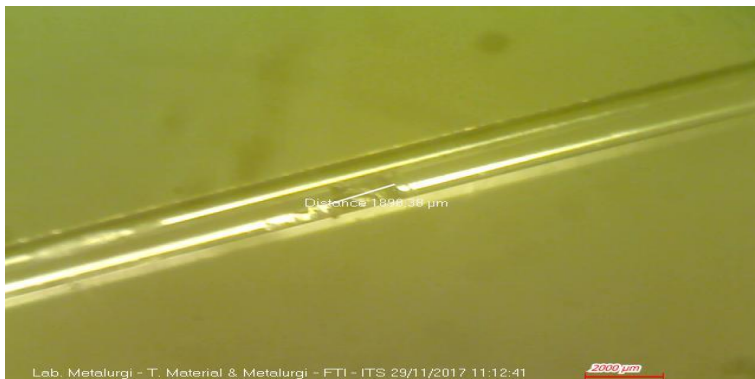
Gambar A.5 Serat optik yang diberi empat pencacatan dengan lebar pencacatan yang pertama sebesar 4,10157 mm



Gambar A.6 Serat optik yang diberi empat pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke dua sebesar 2,58275 mm



Gambar A.7 Serat optik yang diberi empat pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke tiga sebesar 3,50778 mm



Gambar A.8 Serat optik yang diberi empat pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke empat sebesar 1,89838 mm



Gambar A.9 Serat optik yang diberi lima pencacatan dengan lebar pencacatan yang pertama sebesar 2,8226 mm



Gambar A.9 Serat optik yang diberi lima pencacatan dengan lebar pencacatan yang kedua sebesar 3,82231 mm



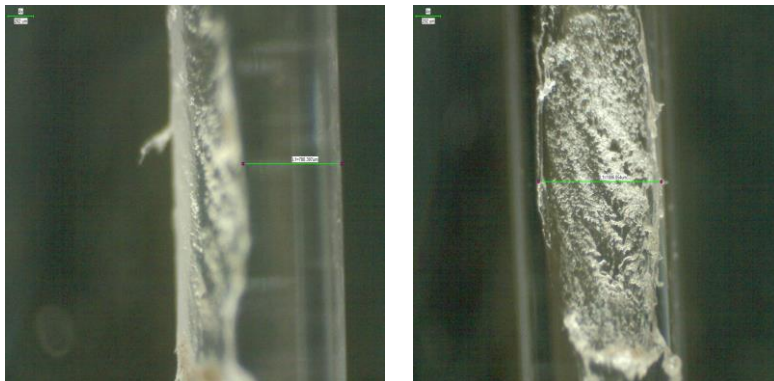
Gambar A.10 Serat optik yang diberi lima pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke tiga sebesar 3,68447 mm



Gambar A.11 Serat optik yang diberi lima pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke empat sebesar 3,44212 mm



Gambar A.12 Serat optik yang diberi lima pencacatan dengan lebar pencacatan yang ke lima sebesar 3,0558 mm



Gambar A.13 Pencacatan *cladding*

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN B

Data hasil pengukuran sensor regangan dengan teknik pencacatan menggunakan detektor BF5RD1-N.

Tabel B.1 Hasil pengukuran tanpa pencacatan (*coating*)

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	3897	3817
2		3556	
3		3870	
4		3882	
5		3880	
6	1 mm	3820	3825,6
7		3824	
8		3826	
9		3833	
10		3825	
11	2 mm	3810	3803
12		3802	
13		3793	
14		3812	
15		3798	
16	3 mm	3784	3784,6
17		3786	
18		3785	
19		3783	
20		3785	
21	4 mm	3776	3776
22		3768	

23		3780	
24		3775	
25		3781	
26	5 mm	3766	3760,8
27		3754	
28		3768	
29		3758	
30		3758	
31	6 mm	3744	3749,6
32		3752	
33		3753	
34		3751	
35		3748	
36	7 mm	3698	3690,8
37		3693	
38		3695	
39		3698	
40		3670	
41	8 mm	3585	3586,2
42		3583	
43		3588	
44		3588	
45		3587	
46	9 mm	3547	3550,6
47		3555	
48		3546	
49		3556	
50		3549	

51	10 mm	3541	3499,6
52		3540	
53		3339	
54		3538	
55		3540	
56	11 mm	3536	3491,6
57		3532	
58		3535	
59		3527	
60		3328	
61	12 mm	3490	3490,8
62		3490	
63		3487	
64		3494	
65		3493	
66	13 mm	3463	3463
67		3466	
68		3458	
69		3464	
70		3464	

Tabel B.2 Hasil pengukuran pada satu pencacatan

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	1478	1473
2		1477	
3		1498	
4		1477	
5		1435	

6	1 mm	1465	1460,2
7		1458	
8		1452	
9		1461	
10		1465	
11	2 mm	1460	1460
12		1462	
13		1463	
14		1457	
15		1458	
16	3 mm	1456	1455,8
17		1458	
18		1459	
19		1448	
20		1458	
21	4 mm	1454	1453,6
22		1453	
23		1453	
24		1456	
25		1452	
26	5 mm	1449	1448,2
27		1448	
28		1447	
29		1449	
30		1448	
31	6 mm	1443	1444
32		1445	
33		1445	

34		1443	
35		1444	
36	7 mm	1300	1373,8
37		1395	
38		1397	
39		1389	
40		1388	
41		8 mm	
42	1370		
43	1369		
44	1370		
45	1373		
46	9 mm	1365	1361,4
47		1360	
48		1357	
49		1360	
50		1365	
51	10 mm	1360	1359
52		1359	
53		1357	
54		1358	
55		1361	
56	11 mm	1355	1355
57		1356	
58		1354	
59		1354	
60		1356	
61	12 mm	1345	1344,4

62		1344	
63		1343	
64		1346	
65		1344	
66	13 mm	1349	1341,6
67		1340	
68		1341	
69		1338	
70		1340	

Tabel B.3 Hasil pengukuran pada dua pencacatan

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	1453	1455,2
2		1452	
3		1464	
4		1454	
5		1453	
6	1 mm	1444	1445
7		1446	
8		1450	
9		1445	
10		1440	
11	2 mm	1346	1343,2
12		1320	
13		1385	
14		1340	
15		1325	
16	3 mm	1300	1302,4

17		1302	
18		1301	
19		1305	
20		1304	
21	4 mm	1296	1297,4
22		1297	
23		1297	
24		1300	
25		1297	
26	5 mm	1293	1284,4
27		1288	
28		1275	
29		1291	
30		1275	
31	6 mm	1265	1271,2
32		1266	
33		1267	
34		1270	
35		1288	
36	7 mm	1245	1252
37		1260	
38		1255	
39		1254	
40		1246	
41	8 mm	1256	1234,4
42		1225	
43		1235	
44		1228	

45		1228	
46	9 mm	1223	1224
47		1224	
48		1226	
49		1218	
50		1229	
51	10 mm	1227	1224
52		1226	
53		1228	
54		1221	
55		1218	
56	11 mm	1219	1220,2
57		1228	
58		1218	
59		1216	
60		1220	
61	12 mm	1210	1208
62		1215	
63		1197	
64		1200	
65		1218	
66	13 mm	1145	1191,8
67		1205	
68		1204	
69		1202	
70		1203	

Tabel B.4 Hasil pengukuran pada tiga pencacatan

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	1275	1284,2
2		1286	
3		1278	
4		1297	
5		1285	
6	1 mm	1195	1188,8
7		1187	
8		1192	
9		1188	
10		1182	
11	2 mm	1188	1186,8
12		1186	
13		1187	
14		1185	
15		1188	
16	3 mm	1163	1160
17		1158	
18		1154	
19		1162	
20		1163	
21	4 mm	1097	1094,4
22		1098	
23		1088	
24		1093	
25		1096	
26	5 mm	1065	1081,8
27		1085	

28		1089	
29		1085	
30		1085	
31	6 mm	1066	1065,2
32		1065	
33		1068	
34		1065	
35		1062	
36	7 mm	1028	1028,8
37		1027	
38		1030	
39		1028	
40		1031	
41	8 mm	1006	1008,4
42		1009	
43		1005	
44		1010	
45		1012	
46	9 mm	955	977
47		978	
48		988	
49		996	
50		968	
51	10 mm	963	963,8
52		970	
53		965	
54		967	
55		954	

56	11 mm	949	949,2
57		950	
58		949	
59		948	
60		950	
61	12 mm	938	937,6
62		940	
63		930	
64		941	
65		939	
66	13 mm	918	921,2
67		935	
68		932	
69		935	
70		938	

Tabel B.5 Hasil pengukuran pada empat pencacatan

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	1215	1213
2		1210	
3		1213	
4		1215	
5		1212	
6	1 mm	1154	1154,4
7		1154	
8		1156	
9		1155	
10		1153	

11	2 mm	1123	1124,6
12		1125	
13		1126	
14		1125	
15		1124	
16	3 mm	985	984,4
17		985	
18		987	
19		980	
20		985	
21	4 mm	968	965,2
22		968	
23		960	
24		965	
25		965	
26	5 mm	932	932,6
27		934	
28		933	
29		932	
30		932	
31	6 mm	910	910,6
32		909	
33		913	
34		907	
35		914	
36	7 mm	913	909,2
37		915	
38		913	

39		912	
40		893	
41	8 mm	912	908,6
42		915	
43		912	
44		892	
45		912	
46	9 mm	907	901,4
47		900	
48		899	
49		900	
50		901	
51	10 mm	893	897,4
52		901	
53		902	
54		892	
55		899	
56	11 mm	878	877,6
57		878	
58		876	
59		878	
60		878	
61	12 mm	875	875,2
62		874	
63		875	
64		877	
65		875	
66	13 mm	850	844

67		845	
68		841	
69		842	
70		842	

Tabel B.6 Hasil pengukuran pada lima pencacatan

No	Pergeseran	Intensitas	Rata-Rata
1	0 mm	1108	1106,8
2		1107	
3		1106	
4		1107	
5		1106	
6	1 mm	1070	1074,2
7		1076	
8		1075	
9		1076	
10		1074	
11	2 mm	1060	1061,2
12		1059	
13		1063	
14		1062	
15		1062	
16	3 mm	976	983,4
17		989	
18		985	
19		984	
20		983	
21	4 mm	935	934,8

22		934	
23		936	
24		934	
25		935	
26	5 mm	928	925,8
27		929	
28		925	
29		927	
30		920	
31	6 mm	852	859
32		853	
33		854	
34		851	
35		885	
36	7 mm	825	817,6
37		820	
38		816	
39		813	
40		814	
41	8 mm	808	807,6
42		807	
43		806	
44		809	
45		808	
46	9 mm	807	805,8
47		806	
48		805	
49		806	

50		805	
51	10 mm	801	801,8
52		802	
53		802	
54		803	
55		801	
56	11 mm	805	800
57		803	
58		795	
59		802	
60		795	
61	12 mm	792	793
62		793	
63		794	
64		794	
65		792	
66	13 mm	735	732,8
67		732	
68		732	
69		731	
70		734	

LAMPIRAN C

Data hasil pengukuran konversi nilai intensitas cahaya dari BF5R-D1-N dalam satuan au. (arbitrary unit) menjadi daya dalam satuan miliWatt ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel C.1 Hasil Pengukuran Hubungan Daya dengan Regangan

Regangan (mm)	Daya (mW)					
	Normal	1 Pencacatan	2 Pencacatan	3 Pencacatan	4 Pencacatan	5 Pencacatan
0	0,0561181	0,02165689	0,02139520	0,01888118	0,01783440	0,01627306
1	0,0562445	0,02146871	0,02124524	0,01747861	0,01697287	0,01579378
2	0,0559123	0,02146577	0,01974859	0,01744921	0,01653475	0,01560265
3	0,0556418	0,02140402	0,01914875	0,01705520	0,01447355	0,01445884
4	0,0555153	0,02137168	0,01907524	0,01609075	0,01419127	0,01374433
5	0,0552919	0,02129229	0,01888412	0,01590551	0,01371199	0,01361201
6	0,0551272	0,02123054	0,01869005	0,01566146	0,01338855	0,01262993
7	0,0542627	0,02019847	0,01840777	0,01512631	0,01336796	0,01202127
8	0,0527249	0,02015730	0,01814902	0,01482639	0,01335914	0,01187425
9	0,0522015	0,02001616	0,017996126	0,014364756	0,013253293	0,011847791























10	0,0514517	0,01998088	0,017996126	0,014170691	0,013194485	0,011788983
11	0,0513341	0,01992207	0,017940258	0,013956043	0,012903387	0,01176252
12	0,0513223	0,01976623	0,017760895	0,013785501	0,012868103	0,011659607
13	0,0509136	0,01975069	0,017522724	0,013738455	0,012409404	0,010774552

LAMPIRAN D

Fiber Optic Cable

Specifications (diffuse reflective type)

(based on Non-glossy white paper)

Type	Appearance	Feature	Model	Sensing distance (mm)	Min. sensing target ⁽³⁾	Allowable bend radius	Cable length(L) ⁽⁴⁾	Temp.
Flexible type ^(*)	 Line-art of Flat type / Top view	Flat type /Top view	FD-FU-210-05R	35 ⁽¹⁾	00.0125	R1	1m Free cut	-40 to 60°C
	 Line-art of Flat type /Side view	Flat type /Side view	FD-FN-210-05R	30 ⁽¹⁾				
	 Line-art of Flat type /Flat view	Flat type /Flat view	FD-F-210-05R	30 ⁽¹⁾				
	 Line-art of M3 Bolt	M3 Bolt	FD-320-05R	35 ⁽¹⁾	00.0125			
	 Line-art of M4 Bolt	M4 Bolt	FD-420-05R	35 ⁽¹⁾	00.0125			
	 Line-art of M6 Bolt	M6 Bolt	FD-620-10R	130 ⁽¹⁾	00.04			
Break-resistant type ^(*)	 Line-art of M3 Bolt	M3 Bolt	FD-320-06B	35 ⁽²⁾	00.0125	R5	2m Free cut	-40 to 70°C
	 Line-art of Ø3 Cylinder type	Ø3 Cylinder type	FDC-320-06B					
	 Line-art of M4 Bolt	M4 Bolt	FD-420-06B	100 ⁽²⁾				
	 Line-art of M6 Bolt	M6 Bolt	FD-620-13B	100 ⁽²⁾				
Standard type ^(*)	 Line-art of M3 Bolt	M3 Bolt	FD-320-05	40 ⁽³⁾	00.03	R15	2m Free cut	-40 to 70°C
	 Line-art of M4 Bolt	M4 Bolt	FD-420-05					
	 Line-art of Ø3 Cylinder type	Ø3 Cylinder type	FDC-320-05					
	 Line-art of Ø3 Cylinder type (SUS type)	Ø3 Cylinder type (SUS type)	FDC-S-320-05					
	 Line-art of M3 Bolt (SUS type)	M3 Bolt (SUS type)	FDS-320-05					
	 Line-art of M3 Bolt (SUS type)	M3 Bolt (SUS type)	FDS2-320-05					
	 Line-art of M4 Bolt (SUS type)	M4 Bolt (SUS type)	FDS-420-05					
	 Line-art of M4 Bolt (SUS type)	M4 Bolt (SUS type)	FDS2-420-05					
	 Line-art of M6 Bolt	M6 Bolt	FD-620-10	120 ⁽³⁾	00.03	R30	2m Free cut	-40 to 70°C
	 Line-art of M6 Bolt (SUS type)	M6 Bolt (SUS type)	FDS-620-10					
	 Line-art of M6 Bolt (SUS type)	M6 Bolt (SUS type)	FDS2-620-10					
	 Line-art of Plastic	Plastic	FDP-320-10					

- (A) Plastic flexible sensor
- (B) Break-resistant sensor
- (C) Disposable sensor
- (D) Precision sensor
- (E) Pressure sensor
- (F) Rotary encoder
- (G) Connector/Socket
- (H) Temp. controller
- (I) Temp. controller
- (J) Laser Power controller
- (K) Counter
- (L) Toner
- (M) Panel meter
- (N) Serial/Parallel/Printer sensor
- (O) Display unit
- (P) Sensor controller
- (Q) Backlighting media/paper supply
- (R) Stepper motor/ Disk/Control
- (S) Display/ Large panel
- (T) Panel indicator device
- (U) Software
- (V) Panel

Fiber Optic Cable

■ Lens unit for long distance detection(sold separately)

◎ Model : FTL-M26



<Lens unit>

<Mounting at cable>

◎ Mounting of lens

Mount the lens unit on the 3mm projecting point of the front hood.

◎ Ambient temperature range of lens unit

It should be used within -40 to 100°C.(not over 100°C.)

◎ Applicable fiber optic cable and max. mounting distance

- FT-420-10 : 2500mm
- FT-420-10H : 1500mm

◎ Dimensions



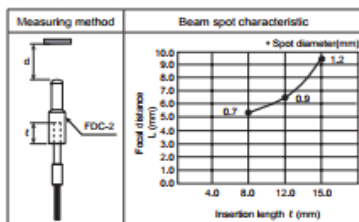
(unit:mm)

■ Micro spot fiber optic cable and lens unit(sold separately)

◎ Model

- Fiber optic cable: FDC-320-F
- Micro spot lens: FDC-2

◎ Feature data



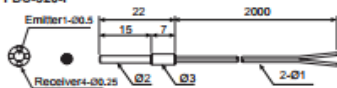
◎ Ambient temperature range of lens unit

It should be used within -40 to 100°C. (not over 100°C.)

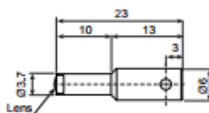
◎ Dimensions

(unit:mm)

• FDC-320-F



• FDC-2



■ Protection tube for fiber optic cable (sold separately)

◎ Application

Protect cable from impact or cutting (unit:mm)

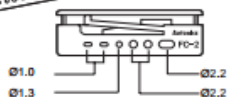
Model	Appearance and Dimension
FTH-310	
FTH-410	
FDH-610	

■ Accessory

◎ Fiber cutter

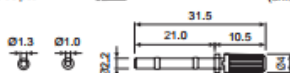
Applications: Cutting fiber optic cable, free cut type

• FC-2



◎ Adapter

Adapter marked fiber optic cable should be used with adapter (unit:mm)



(A) Photo electric sensor

(B) Spot fiber optic sensor

(C) Detection sensor

(D) Proximity sensor

(E) Presence sensor

(F) Rotary encoder

(G) Counter/Socket

(H) Temperature controller

(I) SSRO Power controller

(J) Counter

(K) Timer

(L) Panel meter

(M) Signal Speed Pulse meter

(N) Display unit

(O) Sensor controller

(P) Switching made power supply

(Q) Stopper module/Driver/Controller

(R) Graphical Light panel

(S) Field network device

(T) Software

(U) Other

LAMPIRAN E

Datasheet Mikroskop Stereo Carl Zeiss stemi DV4



Specifications

Stemi DR 1040

Eyepiece	W 10x/20 Br. foc (high-eyepoint, focusing)							
Supplementary lenses	0.3x	0.4x	0.3x...0.5x	0.63x	none	1.25x	1.6x	2x
Working distance (mm)	285	210	234...91	130	92	60	48	31
Magnification	3.0x/12x	4.0x/16x	3.0x...5.0x / 12x...20	6.3x/25.2x	10.0x/40x	12.5x/50x	16x/64x	20x/80x
Object field (mm)	66.7/16.7	50.0/12.5	66.7...40.0 / 16.7...10.0	31.8/7.9	20.0/5.0	16.0/4.0	12.5/3.1	10.0/2.5

Stemi DR 1663

Eyepiece	W 10x/20 Br. foc (high-eyepoint, focusing)							
Supplementary lenses	0.3x	0.4x	0.3x...0.5x	0.63x	none	1.25x	1.6x	2x
Working distance (mm)	285	210	234...91	130	92	60	48	31
Magnification	4.8x/18.9x	6.4x/25.2x	4.8x...8.0x / 18.9x...31.5	10.1x/39.7x	16x/63x	20x/78.8x	25.6x/100.8x	32x/126.x
Object field (mm)	41.7/10.6	31.3/7.9	41.7...25.0 / 10.6...6.3	19.8/5.0	12.5/3.2	10.0/2.5	7.8/2.0	6.3/1.6

Stemi DV4 und Stemi DV4 spot

Eyepiece	W 10x/20 Br. foc (high-eyepoint, focusing)							
Supplementary lenses	0.3x	0.4x	0.3x...0.5x	0.63x	none	1.25x	1.6x	2x
Working distance (mm)	285	210	234...91	130	92	60	48	31
Magnification	2.4x...9.6x	3.2x...12.8x	2.4x...16.0x	5x...20.2x	8x...32x	10x...40x	12.8x...51.2x	16x...64x
Object field (mm)	83.3...20.8	62.5...15.6	83.3...12.5	40.0...9.9	25...6.3	20.0...5.0	15.6...3.9	12.5...3.1

LAMPIRAN F


BF5 Series

Fiber Optic Amplifier

Dual digital display type fiber optic amplifiers

■ Features

- Dual-display for light incident level and setting value(BF5□-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(50μs), high speed mode(150μs),
standard mode(500μs), 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.



(A) Photo electric sensor

(B) Fiber optic sensor

(C) Door/Area sensor

(D) Proximity sensor

(E) Pressure sensor

(F) Rotary encoder

(G) Connector/Socket

(H) Temp. controller

■ Specifications

Display type		Dual Display type			Single Display type
Model	NPN open collector output	BF5R-D1-N	BF5G-D1-N	BF5B-D1-N	BF5R-S1-N
	PNP open collector output	BF5R-D1-P	BF5G-D1-P	BF5B-D1-P	BF5R-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 ●Load voltage: Max. 24VDC ●Load current: Max. 100mA ●Residual voltage - NPN:Max. 1V, PNP:Max. 3V				
Protection circuit	Reverse polarity protection, overcurrent protection, surge absorption				
Response time	Ultra Fast : 50µs(only for dual display type), Fast : 150µs,STD : 500µs, 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), Normal / Reversed display (only for dual display type)				Percentage display, High/Low peak value display,
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. 20MQ(at 500VDC 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. 3000lx Sunlight : Max. 11000lx (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 Tightening torque	Min. 2kgf				
Accessory	Connector type wire(Ø4, 3-wire, length: 2m) (AWG22, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 60, Insulator out diameter: Ø1.25), Side connector				
Approval	CE				
Unit weight	Approx. 20g				

LAMPIRAN G

THORLABS

Operation Manual

Thorlabs Instrumentation

Optical Power and Energy Meter

PM100D



1.2 Ordering Codes and Accessories

Order Code	Description
PM100D	Handheld Power/Energy Meter Console

Photodiode Power Sensors:

Order Code	Type	Detector	Aperture mm	Wavelength nm	Power W
S120C	Compact Sensor	Si	∅ 9.5	400 - 1100	50n - 50m
S120VC	Compact Sensor	UV-Si	∅ 9.5	200 - 1100	50n - 50m
S121C	Compact Sensor	Si	∅ 9.5	400 - 1100	500n - 500m
S122C	Compact Sensor	Ge	∅ 9.5	700 - 1800	50n - 40m
S130C	Slim Sensor Dual Range	Si	∅ 9.5	400 - 1100	5n - 5m 500n - 500m
S130VC	Slim Sensor Dual Range	UV-Si	∅ 9.5	200 - 1100	5n - 5m 50n - 50m
S132C	Slim Sensor Dual Range	Ge	∅ 9.5	700 - 1800 1200 - 1800	5n - 5m 500n - 500m
S140C	Integr. Sphere (1")	Si	∅ 5.0	350 - 1100	1μ - 500m
S144C	Integr. Sphere (1")	InGaAs	∅ 5.0	800 - 1700	1μ - 500m
S142C	Integr. Sphere (2")	Si	∅ 12	350 - 1100	10μ - 20
S145C	Integr. Sphere (2")	InGaAs	∅ 12	800 - 1700	1μ - 3
S145C	Integr. Sphere (2")	InGaAs	∅ 12	800 - 1700	10μ - 20
S150C	Fiber Head	Si	3.6 x 3.6	350 - 1100	100p - 5m
S151C	Fiber Head	Si	3.6 x 3.6	400 - 1100	1n - 20m
S154C	Fiber Head	InGaAs	∅ 2.0	700 - 1700	100p - 5m
S155C	Fiber Head	InGaAs	∅ 2.0	700 - 1700	1n - 20m



Navigation Keys ▼▲▶◀

Enter/Edit Key **OK**

Wavelength Key **λ**

Relative Meas. Key **Δ**

Backlight Key **⚙**

Figure 1 Physical Overview Front Panel

General Data	
Detector Compatibility	Photodiode Sensors S100C Series Thermal Sensors S300C Series Pyroelectric Sensors ES100C/ES200C Series Photodiodes (max. 5.5mA) Thermopiles (max. 1.1V) Pyros (max. 110V)
Display Type	4" Graphical LCD 320 x 240 pixels
Viewing Area	81,4 x 61,0 mm
Display Update Rate (max)	20 Hz
Display Format	Numerical, Bargraph, Trendgraph, Histogram, Statistics, Simulated Analog Needle
Backlight Display and Keypad	LED
Dimensions (H x W x D) Overall	183 x 109 x 40 mm ³ with rubber boot
Options	Kickstand; 1/4"-20 Post thread
Weight	< 0.5 kg
Operating Temperature	0°C - +40°C
Storage Temperature	-40°C - +70°C
Relative Humidity	Max. 80% up to 31 °C, decreasing to 50% at 40 °C
Operation Altitude	< 3000 m
Current Input (Photodiode Sensors)	
Connector	DB9F, left side
Units	W, dBm, W/cm ² , A
Measurement Ranges	6 decades; 50 nA ... 5 mA Ranges selectable in W or A, sensor depending
Display Resolution	1 pA / responsivity value (A/W)
AD Converter	16 bit
Accuracy	+/- 0.2% f.s. (5 µA – 5 mA) +/- 0.5% f.s. (50nA)
Bandwidth	DC – 100 kHz, depending on sensor and settings
Photodiode Polarity	Cathode ground
Max. Photodiode Impedance	10 nF
Input Resistance	0 Ω (virtual ground)
Wavelength Correction	nm (A/W)
Beam Diameter Setting	1/e ²

Voltage Input (Thermopile Sensors)	
Connector	DB9F, left side
Units	W, dBm, W/cm ² , V
Measurement Ranges	4 decades; 1 mV ... 1V Ranges selectable in W or V, sensor depending
Display Resolution	1 µV / responsivity value (V/W)
AD Converter	16 bit
Accuracy	+/- 0.5% f.s.
Bandwidth	DC - 10Hz, depending on sensor and settings
Input Impedance	1 MΩ
Time Constant Correction Range	1 s – 30 s
Wavelength Correction	Sensor depending; nm, (V/W)
Beam Diameter Setting	1/e ²

Voltage Input (Pyro Sensors)	
Connector	DB9F, left side
Units	J, J/cm ² , W, W/cm ² , V
Measurement Ranges	4 decades; 100mV ... 100V Ranges selectable in J or V, sensor depending
Display Resolution	100µV / responsivity value (V/J)
AD Converter	16 bit
Accuracy	+/- 0.5% f.s.
Trigger Threshold	0.1% - 99.9% f.s.
max. Repetition Rate	3 kHz
Input Impedance	1 MΩ
Wavelength Correction	Sensor depending; nm, (V/J)
Beam Diameter Setting	1/e ²
Analog Outputs	
Connector	SMA, left side
Signal	amplified input signal
Voltage Range	0 .. 2 V
Bandwidth	up to 100 kHz, depending on sensor and settings
Sensor Temperature Control	
Supported temperature sensor	Thermistor
Temperature measurement range	-10 °C .. +80 °C
Sound	
Type	Speaker 300 Hz – 5 kHz
Function	Laser tuning support, console function support
Memory	
Type	SD Card
Size	2 GB
Interface	
Type	USB2.0
Connector	Mini USB, left side
Power Management	
Battery	LiPo 3.7 V 1300 mAh
External power supply DC Input	5 VDC
AC adapter input	100 V – 240 V; 50 Hz – 60 Hz
Accessories	
AC Adapter	X
Hardcase	X
Instrument Drivers on USB Stick	X
Application Software on USB Stick	X
User Manual	X
SD Memory Card 1GB	X