



TESIS - TF 142510

**PEMANFAATAN SERAT OPTIK STRUKTUR  
*SINGLEMODE-MULTIMODE CORELESS-  
SINGLEMODE* (SMS) SEBAGAI SENSOR ION  
MAGNESIUM**

RINDA NUR HIDAYATI  
NRP. 02311650010005

Pembimbing :  
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

PROGAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





TESIS - TF 142510

# **THE USE OF SINGLEMODE-MULTIMODE CORELESS-SINGLEMODE FIBER STRUCTURE FOR MAGNESIUM ION SENSOR**

RINDA NUR HIDAYATI  
NRP. 02311650010005

Supervisor :  
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

MASTER PROGRAM  
INDUSTRIAL INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RINDA NUR HIDAYATI**

NRP. 02311650010005

Tanggal Ujian: 16 Juli 2018

Periode Wisuda: September 2018

Disetujui oleh :

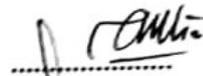
1. Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

NIP. 19780902 2003121 002

 (Pembimbing)

2. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T. Nasution., M.Sc

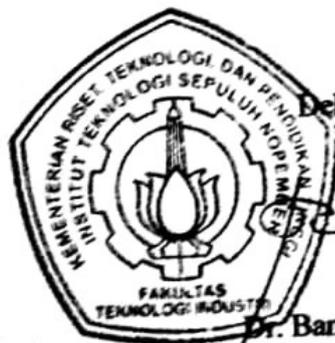
NIP. 19671117 199702 1 001

 (Ketua Penguji)

3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

NIP. 19500402 197901 1 001

 (Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri,

  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP: 19690507 1995121 001



**PEMANFAATAN SERAT OPTIK STRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE CORELESS-SINGLEMODE* (SMS) SEBAGAI SENSOR ION MAGNESIUM**

Nama Mahasiswa : Rinda Nur Hidayati  
NRP : 02311650010005  
Pembimbing : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

**ABSTRAK**

Kondisi normal tubuh manusia membutuhkan jumlah minimum magnesium sebesar 0,25 mmol. Magnesium diperlukan tubuh antara lain untuk proses metabolisme energi, sintesis protein dan pemecahan asam lemak. Oleh karena itu, penting adanya deteksi magnesium dibidang industri makanan dan minuman yang dikonsumsi oleh manusia. Serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* telah banyak dikembangkan sebagai sensor karena memiliki sensitivitas yang tinggi dan fabrikasi mudah. Sensor serat optik SMS memanfaatkan fenomena *multimode interference* (MMI) yaitu fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* serat optik. Pada penelitian ini, konfigurasi sensor serat *singlemode-multimode coreless-singlemode* (SMS) yang digunakan adalah konfigurasi lurus, *U-bent* dan *tapered fiber*. Pengujian dilakukan pada konsentrasi ion magnesium 0% - 5%. Sensor serat SMS konfigurasi lurus memiliki sensitivitas tinggi sebesar 0,6632 dBm/% pada panjang serat *multimode coreless* 30 mm. Telah dirancang sensor serat SMS konfigurasi lurus dengan penampahan lapisan *graphene* dan *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs) sebagai *cladding*, didapatkan sensitivitas yang lebih tinggi dibanding tanpa penambahan lapisan yaitu 1,4941 dBm/% dan 3,6623 dBm/%. Sensor serat SMS *U-bent* memiliki sensitivitas tinggi sebesar 0,7667 dBm/% pada diameter serat 10 mm. Sensor serat SMS-*tapered fiber* memiliki sensitivitas 3,7761 dBm/% pada variasi waktu pencelupan 15 menit. Berdasarkan hasil pengujian bahwa semakin tinggi konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran serat SMS akan semakin menurun. Hal tersebut dikarenakan sensor ion magnesium berbasis serat SMS memanfaatkan prinsip *sensing* indeks bias. Indeks bias ion magnesium berbeda setiap konsentrasi, semakin besar konsentrasi maka indeks bias akan semakin besar sehingga daya keluaran serat akan menurun. Serat SMS sebagai sensor ion magnesium yang memiliki karakteristik sensor baik yaitu serat SMS-*tapered fiber* akan tetapi memiliki kekurangan dalam hal fabrikasi yang lebih rumit jika dibandingkan dengan konfigurasi lurus maupun *U-bent*.

**Kata kunci** : Serat optik SMS, serat *multimode coreless*, *graphene*, MWCNTs, *U-bent*, *tapered fiber*, ion magnesium, sensitivitas



***THE USE OF SINGLEMODE-MULTIMODE CORELESS-SINGLEMODE  
FIBER STRUCTURE FOR MAGNESIUM ION SENSOR***

By : Rinda Nur Hidayati  
Student Identity Number : 02311650010005  
Supervisor : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

**ABSTRACT**

The normal condition of the human body requires a minimum amount of magnesium of 0.25 mmol. Magnesium is needed for the process of energy, protein synthesis, and fatty acids. Therefore, it is important to detect magnesium in the food and beverage industry. Singlemode-multimode-singlemode (SMS) fiber structure offer some advantage such as low cost test equipment, ease of fabrication, and high sensitivity. In this work, three types of SMS configuration are tested where straight configuration, U-bent, and tapered fiber. The SMS fiber has a length of 30 mm multimode coreless fiber and was fabricated by connecting two optical fiber singlemode and multimode coreless fiber. In addition, to enhance the performance of the sensing probe, SMS fiber were coated with sensitive material such as graphene and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) for sensing different concentrations of magnesium. The straight configuration SMS fiber was first tested to measure the concentration of magnesium where the sensitivity of the sensor are obtained at 0.6632 dBm/%, 1.4941 dBm/%, and 3.6623 dBm/% for bare fiber, graphene coated, and MWCNTs coated, respectively. Evidently coating the SMS fiber with graphene and MWCNTs has enhanced the sensitivity of the sensor. The SMS U-Bent sensor also display a linear relationship between magnesium concentration and the output intensity with sensitivity of 0.7667 dBm/% in 10 mm fiber diameter. Finally, the performance of SMS-tapered fiber sensor is also studied. It is observed that the sensitivity of the sensor is 3.7761 dBm/%. As the magnesium concentration increases from 0% to 5%, the output power of the SMS fiber structure decreases linearly. The refractive index value of the magnesium ions change the output power of the SMS fiber structure.

**Keyword:** SMS fiber, multimode coreless, graphene, MWCNTs, U-bent, tapered fiber, magnesium ion, sensitivity



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayat, serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis pada jenjang magister yang berjudul “*Pemanfaatan Serat Optik Singlemode-Multimode Coreless-Singlemode (SMS) sebagai Sensor Ion Magnesium*”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Atas berbagai bantuan itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika sekaligus pembimbing yang telah sabar memberikan petunjuk, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat dalam terselesainya tesis ini.
2. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T. Nasution., M.Sc selaku Kepala Prodi Pascasarjana Teknik Fisika sekaligus ketua penguji yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk mengkaji dan memberikan saran demi terselesainya tesis ini dengan baik.
3. Prof., Dr., Ir., Sekartedjo MSc selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika Teknik Fisika sekaligus penguji yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk mengkaji dan memberikan saran demi terselesainya tesis ini dengan baik.
4. Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, Ph.D., selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Bapak, Ibu dan adik yang telah memberikan dukungan, semangat, motivasi serta doa yang terus mengalir kepada penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah yang sudah banyak membantu penulis selama kuliah.
7. Ninik Irawati, Ika Puspita serta teman – teman pejuang Tugas Akhir bidang minat Rekayasa Fotonika yang telah menjadi teman diskusi dan telah memberikan bimbingan, motivasi dan doa demi terselesainya tesis ini.
8. Semua anggota Laboratorium Rekayasa Fotonika yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tesis.

9. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2011 yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan kuliah S2 dan pejuang Tesis yang telah berbagi ilmu dan pengalaman.
11. Semua pihak yang telah mendukung dan memberikan doa yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tesis ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR NOTASI .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Batasan Masalah .....	6
1.5. Manfaat Penelitian .....	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. Kajian Pustaka .....	7
2.1.1. Magnesium.....	7
2.1.2. Pengembangan Deteksi Magnesium .....	8
2.1.3. Penelitian Sensor Serat Optik <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> .....	10
2.1.4. Penelitian Sensor Serat Optik <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> (SMS) <i>U-bent</i> .....	12
2.1.5. Penelitian Sensor Serat Optik <i>Singlemode-Multimode Tapered-</i> <i>Singlemode</i> (SMS) <i>Tapered Fiber</i> .....	14
2.1.6. Perbandingan Karakteristik Sensor Serat Optik berbagai Aplikasi .....	15
2.2. Dasar Teori.....	18
2.2.1. Serat Optik <i>Singlemode</i> dan <i>Multimode</i> .....	18
2.2.2. Prinsip Pemanduan Cahaya dalam Serat Optik .....	19
2.2.3. Serat Optik <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> (SMS) .....	20
2.2.4. Parameter Optis <i>Graphene</i> dan <i>Carbon Nano Tube</i> (CNT) .....	23
2.2.5. Karakteristik Sensor .....	25

BAB 3 METODE PENELITIAN .....	27
3.1. Studi Literatur.....	28
3.2. Perancangan Serat Optik SMS .....	28
3.3. Pembuatan Serat Optik SMS.....	28
3.4. Pengujian dan Karakterisasi Sensor Serat Optik SMS.....	35
3.5. Pengujian Sensor SMS terhadap Sampel .....	36
3.6. Pengolahan Data dan Analisis.....	44
3.7. Penyusunan Laporan .....	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	45
4.1. Analisa Karakteristik Sensor dan Kestabilan Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi Lurus.....	46
4.2. Analisa Karakteristik Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi <i>U-bent</i> .....	65
4.3. Analisa Karakteristik Sensor dan Kestabilan Sensor Serat Optik SMS- <i>Tapered Fiber</i> .....	70
4.4. Karakteristik Sensor Serat SMS sebagai Sensor Ion Magnesium.....	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
5.1. Kesimpulan.....	83
5.2. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema serat optik berstruktur SMS (a) sebelum dan, (b) setelah pembantuan lekukan U .....	12
Gambar 2.2 Skema serat optik berstruktur SMS (a) sebelum dan, (b) setelah pembentukan <i>tapered fiber</i> .....	14
Gambar 2.3 Bagian-bagian struktur serat optik (Ghatak & Thyagarajan, 1997)..	18
Gambar 2.4 Geometri, profil indeks bias (a) serat optik <i>multimode step-index</i> , (b) serat optik <i>singlemode step-index</i> , (c) serat optik <i>multimode graded-index</i> (Ghatak & Thyagarajan, 1997) .....	19
Gambar 2.5 Skema pemanduan cahaya pada serat optik (Ghatak & Thyagarajan, 1997) .....	19
Gambar 2.6 Skema serat optik <i>singlemode-multimode-singlemode</i> (Q. W. Q. Wang, Farrell, & Yan, 2008).....	20
Gambar 2.7 Penjalaran cahaya pada serat <i>multimode</i> (Q. W. Q. Wang et al., 2008) .....	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.2 (a) Serat optik <i>singlemode</i> SMF-28 step index core 4.2 $\mu\text{m}$ (b) Serat optik <i>multimode coreless</i> (c) <i>Fusion Splicer</i> (d) <i>Fiber cleaver</i> (e) <i>Fiber stripper</i> (f) <i>Optical Light Source</i> (g) <i>Optical Power Meter</i> ...	29
Gambar 3.3 Foto hasil pemotongan serat <i>singlemode</i> yang ditampilkan pada <i>splicer</i> .....	30
Gambar 3.4 (a) Foto proses penyambungan serat optik menggunakan <i>fiber splicer</i> , (b) Foto serat optik <i>singlemode</i> dan <i>multimode</i> yang ditampilkan pada layar <i>display fiber splicer</i> .....	31
Gambar 3.5 (a) Foto hasil penyambungan serat <i>singlemode</i> dan <i>multimode</i> yang ditampilkan pada layar <i>display fiber splicer</i> , (b) Foto hasil pembuatan serat optik <i>singlemode-multimode-singlemode</i> (SMS).....	31
Gambar 3.6 Foto hasil penyambungan serat optik <i>singlemode-multimode-singlemode</i> dengan panjang serat <i>multimode</i> 10 mm. ....	32

Gambar 3.7 Foto hasil penyambungan serat optik <i>singlemode-multimode-singlemode</i> dengan panjang serat <i>multimode</i> 30 mm.....	32
Gambar 3.8 Foto hasil penyambungan serat optik <i>singlemode-multimode-singlemode</i> dengan panjang serat <i>multimode</i> 50 mm.....	32
Gambar 3.9 Foto hasil pembuatan serat optik SMS konfigurasi <i>U-bent</i> dengan variasi diameter (a) 10 mm, (b) 15 mm, (c) 20 mm.....	33
Gambar 3.10 Skema teknik etching dengan larutan HF.....	34
Gambar 3.11 Hubungan diameter serat terhadap lama waktu pencelupan (Cui, 2014).....	34
Gambar 3.12 Skema pengujian dan karakterisasi sensor SMS.....	35
Gambar 3.13 Diagram alir pengujian sensor serat SMS konfigurasi lurus.....	37
Gambar 3.14 Skema pengujian sensor SMS terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium.....	38
Gambar 3.15 Foto hasil mikroskop dari serat optik <i>multimode</i> (a) tanpa pelapisan <i>graphene</i> , (b) dilapisi <i>graphene</i> , (c) dilapisi CNT.....	39
Gambar 3.16 Diagram alir pengujian sensor SMS konfigurasi <i>U-bent</i> .....	40
Gambar 3.17 Skema pengujian sensor SMS berbentuk <i>U-bent</i> terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium.....	41
Gambar 3.18 Diagram alir pengujian sensor SMS- <i>tapered fiber</i> .....	42
Gambar 3.19 Skema pengujian sensor SMS- <i>tapered</i> terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium.....	43
Gambar 4.1 Kestabilan sumber cahaya dengan panjang gelombang 1550 nm.....	46
Gambar 4.2 Plot hubungan perubahan daya keluaran serat SMS dengan panjang serat <i>multimode</i> .....	48
Gambar 4.3 Hasil pengukuran indeks bias ion magnesium.....	49
Gambar 4.4 Jangkauan pengukuran sensor serat SMS pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%.....	50
Gambar 4.5 Kestabilan sensor serat SMS (a) panjang serat <i>multimode</i> 10 mm, (b) panjang serat <i>multimode</i> 30 mm, (c) panjang serat <i>multimode</i> 50 mm.....	52
Gambar 4.6 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS konfigurasi lurus.....	53

Gambar 4.7 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat <i>multimode</i> 10 mm .....	55
Gambar 4.8 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat <i>multimode</i> 30 mm .....	55
Gambar 4.9 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat <i>multimode</i> 50 mm .....	56
Gambar 4.10 Tingkat presisi pengukuran setiap variasi panjang <i>probe</i> sensor (a) 10 mm, (b) 30 mm dan (c) 50 mm .....	58
Gambar 4.11 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan penambahan lapisan <i>graphene</i> .....	60
Gambar 4.12 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan penambahan lapisan MWCNTs .....	61
Gambar 4.13 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS tanpa dan dengan penambahan lapisan <i>graphene</i> dan MWCNTs .....	62
Gambar 4.14 Tingkat presisi pengukuran sensor serat SMS dengan pelapisan (a) <i>graphene</i> , (b) MWCNTs .....	64
Gambar 4.15 Respon daya keluaran serat SMS dan SMS <i>U-bent</i> .....	65
Gambar 4.16 Rugi daya keluaran serat SMS dan SMS <i>U-bent</i> .....	66
Gambar 4.17 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS <i>U-bent</i> .....	67
Gambar 4.18 Linieritas sensor serat SMS <i>U-bent</i> terhadap konsentrasi ion magnesium .....	68
Gambar 4.19 Daya keluaran serat SMS dan serat SMS- <i>tapered fiber</i> .....	71
Gambar 4.20 Rugi daya serat SMS akibat pembentukan serat SMS- <i>tapered fiber</i> .....	72
Gambar 4.21 Hasil mikroskop perubahan diameter terhadap lama waktu pencelupan serat ke larutan HF (a) serat optik diameter 125 $\mu\text{m}$ , (b) 5 menit, (c) 10 menit, (d) 15 menit dan (e) 20 menit .....	73
Gambar 4.22 Hubungan lama waktu pencelupan serat kedalam larutan HF terhadap perubahan diameter .....	74

Gambar 4.23 Jangkauan pengukuran sensor serat SMS- <i>tapered fiber</i> pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%.....	75
Gambar 4.24 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS- <i>tapered fiber</i> .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi dari magnesium .....	7
Tabel 2.2 <i>Recommended Dietary Allowances</i> (RDAs) untuk magnesium .....	8
Tabel 2.3 Perbandingan sensitivitas sensor serat optik dari berbagai penelitian. .	16
Tabel 3.1 Spesifikasi parameter serat optik yang digunakan .....	28
Tabel 4.1 Hasil daya keluaran serat optik SMS setelah penyambungan.....	47
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5% .	49
Tabel 4.3 Daya keluaran sensor serat SMS pada panjang serat <i>multimode coreless</i> 10, 30 dan 50 mm .....	53
Tabel 4.4 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS konfigurasi lurus .....	56
Tabel 4.5 Daya keluaran sensor serat SMS dengan pelapisan <i>graphene</i> .....	59
Tabel 4.6 Perbandingan karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS tanpa dan dengan pelapisan <i>graphene</i> dan MWCNTs .....	63
Tabel 4.7 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS U- <i>bent</i> .....	69
Tabel 4.8 Pengukuran daya keluaran serat SMS setelah penyambungan .....	70
Tabel 4.9 Daya keluaran dan rugi daya serat SMS- <i>tapered fiber</i> .....	71
Tabel 4.10 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS- <i>tapered fiber</i> .....	76
Tabel 4.11 Perbandingan karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS .....	79
Tabel 4.12 Perbandingan hasil penelitian ini dengan hasil peneliti lainnya .....	80



## DAFTAR NOTASI

$\lambda$	: panjang gelombang
$n_1, n_{co}$	: indeks bias <i>core</i> serat optik
$n_2, n_{cl}$	: indeks bias <i>cladding</i> serat optik
$\theta_0$	: sudut datang cahaya
$\theta_c$	: sudut kritis
$NA$	: <i>numerical apperture</i>
$E(r,0)$	: moda fundamental serat <i>singlemode</i>
$w_s$	: <i>gaussian spot size</i> moda serat <i>singlemode</i>
$a_s$	: jari – jari <i>core</i> serat <i>singlemode</i>
$V$	: <i>V-number</i> serat
$M$	: jumlah moda
$F_m$	: moda fundamental serat <i>multimode</i>
$a_M$	: jari – jari <i>core</i> serat <i>multimode</i>
$c_m$	: koefisien eksitasi
$\beta$	: konstanta propagasi
$L$	: panjang serat <i>multimode</i>
$L_s$	: <i>loss</i> serat SMS
$L_z$	: jarak self imaging
$C$	: Konsentrasi ion magnesium
$FN$	: <i>field number</i>
$M(O)$	: <i>objective magnification</i>
$M(T)$	: <i>tube lens magnification</i>



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Magnesium termasuk golongan IIA pada sistem periodik bersama Be, Ca, Sr dan Ba. Magnesium memiliki nomor atom 12 dan massa atom 24. Total massa magnesium adalah terbesar ketujuh di kerak bumi sebesar rata-rata 2,76%. Kandungan magnesium dalam tubuh merupakan kation terbanyak keempat. Distribusi magnesium dalam bagian tubuh manusia hampir 66% di dalam tulang, 33% di dalam otot dan jaringan lunak, 1% dalam darah. Kandungan magnesium dalam darah 55% dalam kondisi bebas berbentuk ion dan bersifat aktif. 33% magnesium berikatan dengan protein dan 15% dalam bentuk anion kompleks. Kondisi normal tubuh manusia membutuhkan jumlah minimum magnesium sebesar 0,25 mmol (Schlingmann, Konrad, & Seyberth, 2004).

Magnesium diperlukan dalam tubuh antara lain untuk proses metabolisme energi, sintesis protein, kontraksi otot dan pemecahan asam lemak. Kesehatan individu manusia salah satunya bergantung pada kandungan magnesium dalam tubuh. Defisiensi magnesium merupakan keadaan dimana kekurangan magnesium dalam tubuh. Kekurangan magnesium dapat diatasi dengan mengkonsumsi makanan seimbang. Kandungan magnesium banyak ditemukan pada sumber makanan antara lain biji-bijian cereal, sayuran berdaun hijau, kedelai, kacang-kacangan, buah-buahan, protein hewani dan makanan laut. Kekurangan magnesium dalam tubuh dapat mengakibatkan ketidakstabilan DNA. Ketidakstabilan DNA akan berpengaruh pada pembelahan DNA, akibatnya akan menimbulkan penyakit dan kanker. Pertumbuhan sel juga bergantung pada kadar ion magnesium dalam tubuh. Pemantauan kandungan ion magnesium sangat diperlukan melihat pentingnya peranan magnesium dalam tubuh (Schlingmann et al., 2004).

Metode untuk menentukan kadar ion magnesium saat ini adalah dengan cara titrasi kompleksometri dan teknologi spektrofotometri UV-VIS. Metode titrasi kompleksometri adalah salah satu metode untuk menentukan kadar garam logam. Titrasi yang sering digunakan adalah etilen diamin tetra asetat (EDTA). Penggunaan

EDTA pada logam dapat membentuk kompleks yang stabil, sedangkan pada pH rendah seperti kalsium dan magnesium akan membentuk kompleks yang tidak stabil.

Metode spektrofotometri UV-VIS dapat digunakan untuk mengetahui kadar magnesium dalam air mineral. Metode spektrofotometri memiliki kelebihan antara lain kesederhanaan, kecepatan dan biaya yang rendah. Kelemahan utama metode ini adalah selektivitas yang buruk (Blasco, Medina-Hernández, Sagrado, & Fernández, 1997). Penelitian yang telah dilakukan Blaco dkk yaitu penerapan metode kalibrasi multivariasi untuk mengetahui kandungan kalsium dan magnesium didalam air mineral. Permasalahan yang sering terjadi pada analisis spektrofotometri yaitu pendekatan linier nilai absorbansi (Blasco et al., 1997).

Perkembangan sensor serat optik saat ini sangat pesat. Sensor serat optik terbagi atas sensor intrinsik dan ekstrinsik. Serat optik sebagai sensor ekstrinsik hanya berfungsi sebagai pemandu gelombang cahaya ke sistem eksternal. Serat optik pada sensor ekstrinsik tidak berfungsi sebagai *sensing*. Proses *sensing* terjadi diluar serat optik, jadi bagian penginderaan terjadi diluar serat optik. Serat optik sebagai sensor intrinsik berfungsi sebagai pemandu cahaya sekaligus berperan dalam proses penginderaan. Proses penginderaan melibatkan bagian *core* atau *cladding* dari serat optik. Penggunaan serat optik sebagai sensor banyak dikembangkan sebagai sensor pH, kelembaban, temperatur, level, pergerasan, specific gravity, vibrasi, tegangan, arus, sensor kimia dll.

Pemanfaatan sensor serat optik sebagai sensor kimia dapat diterapkan antara lain sebagai sensor alkohol, potasium, kalsium, natrium dan magnesium. Serat optik digunakan sebagai sensor karena memiliki kelebihan antara lain mempunyai sensitivitas tinggi, tidak rentan terhadap interferensi elektromagnetik dan fabrikasi yang mudah. Beberapa contoh pemanfaatan serat optik sebagai sensor kimia antara lain penelitian dari V.K. Kulkarni dkk mengenai penelitian deteksi konsentrasi  $Fe^{2+}$  dengan memanfaatkan fenomena medan evanescent yang terjadi diserat optik. Pada penelitian ini serat optik yang digunakan yaitu *uncladding* dengan tujuan sampel  $Fe^{2+}$  sebagai *cladding* dari serat tersebut. Variasi konsentrasi sampel dari rentang 0,1 ppm – 100 ppm dengan hasil sensitivitas yang tinggi dari penggunaan serat optik sebagai sensor (Kulkarni, Bendigeri, & Kulkarni, 2016).

Pemanfaatan serat optik sebagai sensor ethanol dengan menggunakan serat optik *multimode*. Pada penelitian ini serat optik *multimode* dibuat *tapered fiber* yang memanfaatkan medan *evanescent* dengan tujuan untuk meningkatkan sensitivitas sensor. Hasil penelitian ini hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang pada variasi 5% - 40% (S. H. Girei, Shabaneh, Arasu, Painam, & Yaacob, 2013). Beberapa penelitian dengan memanfaatkan serat optik sebagai sensor kimia tersebut maka dapat juga dimanfaatkan untuk sensor ion magnesium. Pemanfaatan serat optik untuk sensor ion magnesium bermanfaat untuk pengembangan deteksi magnesium untuk berbagai aplikasi.

Teknologi serat optik sebagai sensor yang memiliki kelebihan sensitivitas tinggi dan fabrikasi mudah dapat diaplikasikan untuk pendeteksian magnesium. Penelitian mengenai deteksi magnesium berbasis *fluorecent* telah dilakukan oleh Prodi dkk. Penelitian tersebut diperoleh bahwa dengan teknik ini dapat dijadikan sebagai sensor kimia yang memiliki selektivitas baik dan afinitas tinggi terhadap  $Mg^{2+}$  pada kisaran nilai pH > 6 (Prodi et al., 1998). Penelitian dari Z.M. Hale dan F.P. Payne yang memanfaatkan fenomena *evanescent* serat optik untuk mendeteksi kalsium dan dapat diaplikasikan juga pada magnesium. Penggunaan sensor optik dengan metode penyerapan sangat diminati karena hasilnya yang baik (Hale & Payne, 1994). Penelitian serat optik sebagai sensor magnesium telah dilakukan oleh Koji Suzuki dkk. Hasil dari penelitian tersebut adalah sensitivitas sensor optik untuk  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  hampir konstan selama 5 hari dan menurun 18% pada 14 hari (Suzuki et al., 1989).

Perkembangan sensor serat optik saat ini yaitu serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Serat optik SMS merupakan sambungan dari dua buah serat optik *singlemode* dan *multimode* secara aksial. Struktur SMS memanfaatkan fenomena *multimode interference* (MMI). Peristiwa MMI merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* serat optik (A. Kumar, Varshney, C, & Sharma, 2003). Pengembangan serat optik SMS sebagai sensor antara lain pengukuran temperatur dengan menggunakan serat optik berbasis SMS (A. Kumar et al., 2003)(Wu, Semenova, Hatta, Wang, & Farrell, 2010), sensor pergeseran berdasarkan serat optik berstruktur SMS (R. Wang, 2011) serta sensor level serat optik (Yu Zhao, Jin,

Wang, & Dong, 2013) dll. Hasil dari penelitian serat optik SMS sebagai sensor memiliki sensitivitas yang tinggi. Penelitian yang telah dilakukan R.X. Gao dkk mengenai pemanfaatan struktur serat SMS untuk refractometer cairan. Hasil dari penelitian ini yaitu sensor SMS memiliki sensitivitas  $\sim 4,6 \times 10^{-6}$ . Sensor refractometer berbasis serat SMS ini menunjukkan bahwa dapat digunakan memantau indeks bias secara tepat dibidang kimia dan biomedis (Gao et al., 2012).

Konfigurasi sensor serat optik SMS antara lain konfigurasi lurus, konfigurasi *U-bent* dan *tapered fiber*. Liu dkk telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan serat optik *singlemode* berbentuk *U-bent* sebagai sensor medan magnet. Pembentukan struktur lekukan U dapat menyebabkan rugi daya. Hasil dari konfigurasi *U-bent* memiliki sensitivits yang lebih tinggi (Chen, Liu, Han, & Lu, 2014). Konfigurasi *probe* sensor serat optik berbentuk U dipilih karena dapat meningkatkan sensitivitas secara signifikan dari pada konfigurasi lurus (Choudhury & Yoshino, 2003).

Penelitian mengenai sensor *tapered fiber* telah dilakukan. *Tapered fiber* digunakan sebagai sensor karena sensitif terhadap perubahan pada medium disekitarnya (S. H. Girei et al., 2013). *Tapered fiber* memanfaatkan fenomena *evanecent*. Fenomena *evanecent* terjadi ketika cahaya yang menjalar pada bagian *core* serat optik terserap sebagian ke bagian *cladding* (Hale & Payne, 1994). Salah satu teknik fabrikasi *tapered fiber* yaitu menggunakan teknik *etching*. Serat optik dicelupkan kedalam larutan *hydrofluoric* (HF) untuk mengurangi diameter serat.

Penentuan serat optik SMS sebagai sensor ion magnesium didasarkan pada kelebihan serat optik SMS sebagai sensor antara lain fabrikasi yang mudah dan sensitivitas tinggi. Penggunaan serat optik SMS sebagai sensor magnesium belum dilakukan. Baru-baru ini, pemanfaatan serat optik sebagai sensor ion magnesium telah dikembangkan oleh M. Yasin dkk dengan menggunakan *fiber coupler* berbasis sensor displacement menggunakan *concave mirror* (CM). Hasil dari penelitian tersebut yaitu sensitivitas sensor dengan menggunakan CM1 dan CM2 masing masing 1,54 mV/% dan 2,75 mV/%. Resolusi yang dihasilkan masing masing CM yaitu 0,3% dan 0,2%. Peneliti mengusulkan rancang bangun sensor ion mgnesium berbasis serat optik *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Peneliti menggunakan sensor SMS dengan konfigurasi lurus. Konfigurasi lurus pada serat

SMS yaitu serat *multimode* yang berperan sebagai *probe* sensor dikondisikan lurus untuk mensensing sampel ion magnesium. Selain konfigurasi lurus, struktur serat SMS dapat dibentuk sesuai dengan tujuan dari penelitian misalnya dibentuk lekukan U, penambahan pelapisan cairan pada serat *multimode* dan struktur *tapered fiber* dapat diterapkan pada serat SMS.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana merancang sensor ion magnesium berbasis serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dengan berbagai konfigurasi. Konfigurasi sensor serat SMS yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. konfigurasi sensor serat SMS konfigurasi lurus. Bagaimana menentukan panjang serat *multimode coreless* paling optimal untuk sensor ion magnesium. Bagaimana pengaruh penambahan *graphene* dan *carbon nanotubes* (CNT) sebagai pengganti *cladding* serat *multimode coreless* untuk sensor ion magnesium.
2. konfigurasi sensor serat yang kedua yaitu sensor serat SMS *U-bent* sebagai sensor ion magnesium. Bagaimana pengaruh variasi lekukan serat *multimode coreless* pada struktur serat SMS sebagai sensor ion magnesium.
3. konfigurasi lain yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor ion magnesium menggunakan serat SMS-*tapered fiber*. Bagaimana membuat serat SMS-*tapered fiber* dengan menggunakan larutan HF. Bagaimana pengaruh waktu pencelupan serat SMS kedalam larutan HF sebagai sensor ion magnesium.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. menentukan panjang paling optimal serat optik *multimode coreless* pada struktur serat SMS sebagai *probe* sensor ion magnesium.

2. mengetahui pengaruh penambahan *graphene* dan *carbon nanotubes* (CNT) sebagai pengganti *cladding* serat *multimode coreless* untuk sensor ion magnesium.
3. mengetahui pengaruh variasi lekukan serat *multimode coreless* pada struktur serat SMS *U-bent* sebagai sensor ion magnesium.
4. menentukan diameter lekukan serat SMS *U-bent* yang paling sensitif untuk sensor ion magnesium.
5. mengetahui cara membuat serat SMS-*tapered fiber* menggunakan larutan HF dimana serat SMS dicelupkan dalam larutan HF pada waktu tertentu.
6. mengetahui pengaruh lamanya waktu pencelupan terhadap sensitivitas sensor serat SMS-*tapered fiber* sebagai sensor ion magnesium.

#### 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. struktur serat optik yang digunakan adalah *singlemode* (SMF-28 core 4,2  $\mu\text{m}$ ) dan *multimode* step indeks (AFS 105/125Y).
2. konfigurasi serat optik yang digunakan adalah *singlemode-multimode coreless-singlemode* (SMS).
3. konfigurasi serat optik SMS yang digunakan sebagai sensor adalah serat SMS konfigurasi lurus, serat SMS *U-bent* dan serat SMS-*tapered fiber*.
4. panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan adalah 1550 nm.
5. pengujian karakteristik sensor meliputi pengujian variasi konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran sensor.
6. larutan uji yang digunakan adalah ion magnesium dengan konsentrasi magnesium 0% – 5%.
7. ion magnesium dihasilkan dari elektrolisis  $\text{MgSO}_4$  dan diasumsikan ion magnesium murni yang digunakan pada penelitian ini.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian sensor ion magnesium berbasis serat optik SMS memiliki prospek kedepan yang bermanfaat baik dalam segi ilmu maupun aplikasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan sensor ion magnesium.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Kajian Pustaka

##### 2.1.1. Magnesium

Magnesium (Mg) termasuk dalam golongan IIA pada sistem periodik bersama Be, Ca, Sr dan Ba. Magnesium memiliki nomor atom 12 dan massa atom 24. Unsur-unsur di golongan IIA dikenal sebagai unsur alkali tanah. Unsur-unsur lain dalam kelompok tersebut adalah berilium, kalsium, strontium, barium, dan radium. Magnesium adalah kation paling banyak di tubuh dan sebagai kofaktor enzim yang terlibat dalam metabolisme energi (Schlingmann et al., 2004) Magnesium adalah logam yang cukup aktif. Unsur ini bisa bereaksi dengan sebagian besar unsur non-logam. Magnesium hanya sedikit bereaksi atau tidak sama sekali dengan sebagian besar alkali dan berbagai bahan organik seperti hidrokarbon, aldehide, alkohol, fenol, amina, ester, dan sebagian besar minyak. Berikut adalah spesifikasi dari magnesium (Schlingmann et al., 2004)

Tabel 2.1 Spesifikasi dari magnesium

Spesifikasi	Nilai
Nomor atom	12
Massa atom	24,305 g/mol
Elektronegativitas menurut Pauling	1,2
Densitas	1,74 g/cm <sup>3</sup> pada 20 °C
Titik lebur	650°C
Titik didih	1107 °C
Radius Vanderwaals	0,16 nm
Radius ionik	0.065 nm
Isotop	5
Energi ionisasi pertama	737,5 kJ/mol
Energi ionisasi kedua	1450 kJ/mol
Potensial standar	- 2,34 V

Magnesium digunakan sebagai katalis, magnesium memperlancar reaksi organik kondensasi, reduksi, dan dehalogenisasi. Kondisi normal tubuh manusia membutuhkan jumlah minimum magnesium sebesar 0,25 mmol (Schlingmann et al., 2004). Berikut tabel rekomendasi kandungan magnesium dalam tubuh manusia sesuai dengan umur dan jenis kelamin.

Tabel 2.2 *Recommended Dietary Allowances* (RDAs) untuk magnesium

<b>Umur</b>	<b>Laki-laki (mg)</b>	<b>Perempuan (mg)</b>	<b>Hamil (mg)</b>	<b>Laktasi (mg)</b>
Lahir – 6 bulan	30	30		
7 – 12 bulan	75	75		
1- 3 tahun	80	80		
4 -8 tahun	130	130		
9 – 13 tahun	240	240		
14 – 18 tahun	410	360	400	360
19 – 30 tahun	400	310	350	310
31 – 50 tahun	420	320	360	320
51 tahun ++	420	320		

Sumber : <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-HealthProfessional/>

### 2.1.2. Pengembangan Deteksi Magnesium

Penelitian tentang deteksi magnesium telah banyak dikembangkan antara lain dengan metode spektroskopi maupun pemanfaatan serat optik sebagai sensor. Penelitian deteksi magnesium dengan metode spektroskopi telah dilakukan oleh Blasco dkk yaitu penerapan metode kalibrasi multivariansi untuk mengetahui kandungan kalsium dan magnesium didalam air mineral. Permasalahan yang sering terjadi pada analisis spektrofotometri yaitu pendekatan linier nilai absorbansi (Blasco et al., 1997). Metode spektrofotometri UV-VIS dapat digunakan untuk mengetahui kadar magnesium dalam air mineral. Metode spektrofotometri memiliki kelebihan antara lain kesederhanaan, kecepatan dan biaya yang rendah. Kelemahan utama metode ini adalah selektivitas yang buruk (Blasco et al., 1997)

Penelitian serat optik sebagai sensor magnesium telah dilakukan oleh Koji Suzuki dkk. Penelitian tersebut memanfaatkan serat optik untuk sensor magnesium dan kalsium berbasis *antibiotik polietilena carboxylik* alami. Hasil dari penelitian tersebut adalah sensitivitas sensor optik untuk  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  hampir konstan selama 5 hari dan menurun 18% pada 14 hari (Suzuki et al., 1989).

Penelitian dari Z.M. Hale dan F.P. Payne yang memanfaatkan fenomena *evanescent* serat optik untuk mendeteksi kalsium dan dapat diaplikasikan juga pada magnesium. Fenomena *evanescent* didapatkan dari serat optik *multimode* yang dibuat meruncing (*tapered fiber*). *Tapered fiber* berfungsi sebagai sensor penyerapan kalsium dalam larutan. Penggunaan sensor optik dengan metode penyerapan sangat diminati karena hasilnya yang baik (Hale & Payne, 1994).

Penelitian mengenai deteksi magnesium berbasis *fluorecent* telah dilakukan oleh Prodi dkk. Penelitian tersebut diperoleh bahwa dengan teknik ini dapat dijadikan sebagai sensor kimia yang memiliki selektivitas baik dan afinitas tinggi terhadap  $Mg^{2+}$  pada kisaran nilai pH > 6. Senyawa yang digunakan merupakan gabungan dari diaza-18-crown-6 dan ditambahkan 5-chloro-hydroxyquinoline-7-yl (CHQ). Senyawa tersebut berfungsi sebagai sensor kimia efektif untuk  $Mg^{2+}$  yang dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi  $Mg^{2+}$  dalam sampel biologi (Prodi et al., 1998).

Deteksi ion magnesium yang telah dilakukan oleh M.Yasin dkk dengan menggunakan *fiber coupler* berbasis sensor displacement menggunakan *concave mirror*. Variasi ion magnesium yang digunakan yaitu 0% - 5%. Pada penelitian ini digunakan laser He-Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya maksimal 10 mW, *fiber coupler* dan detektor. Probe *fiber coupler* dibuat dari serat plastik *multimode* dengan diameter 1 mm dan rasio pemisah 50/50. Reflektor yang digunakan yaitu *concave mirror* (CM). CM yang digunakan ada dua buah dengan fokus masing masing 4,5 dan 6 mm. CM ditempatkan pada tabung sampel bawah dengan diameter 4 cm dan tinggi 3 cm. Hasil dari penelitian tersebut yaitu sensitivitas sensor dengan menggunakan CM1 dan CM2 masing masing 1,54 mV/% dan 2,75 mV/%. Resolusi yang dihasilkan masing masing CM yaitu 0,3% dan 0,2% (Yasin & Khasanah, 2018).

### 2.1.3. Penelitian Sensor Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode*

Perkembangan serat optik sebagai sensor telah banyak dikembangkan dan mengalami kemajuan. Sensor serat optik terbagi menjadi dua yaitu sensor serat optik ekstrinsik dan intrinsik. Saat ini, pengembangan serat optik sebagai sensor intrinsik. Serat optik sebagai sensor intrinsik berfungsi sebagai pemandu cahaya sekaligus berperan dalam proses penginderaan. Pada proses pemanduan cahaya tersebut akan mengalami gangguan eksternal seperti gangguan mekanik dan temperatur, maka serat optik dapat diaplikasikan sebagai sebuah sensor. Berbagai struktur serat optik yang dapat digunakan sensor yaitu serat *singlemode*, serat *multimode*, serat optik plastik, struktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dan struktur *multimode-singlemode-multimode* (MSM). Salah satu contoh sensor serta optik intrinsik yaitu struktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS).

Penelitian berbagai macam sensor serat optik berstruktur SMS telah banyak dikembangkan, antara lain sensor temperatur, *strain*, beban, indeks bias, tekanan, kelembababan, arus, tegangan, sensor gas, sensor kimia dll. Struktur serat SMS yaitu dengan menyambungkan dua buah serat *singlemode* dengan serat *multimode* pada masing masing ujungnya (A. Kumar et al., 2003). A. Kumar dkk menjelaskan bahwa struktur SMS dijadikan sebuah sensor dengan memanfaatkan fenomena *multimode interference* (MMI) yang terjadi akibat perbedaan diameter serat *singlemode* dan serat *multimode* ketika dititik penyambungan.

Penelitian yang telah dilakukan R.X. Gao dkk mengenai pemanfaatan struktur serat SMS untuk refractometer cairan. Serat struktur SMS difabrikasi dengan menyambungkan serat *singlemode* dan serat *multimode* dengan panjang 6,05 mm. Diameter serat *multimode* ~82  $\mu\text{m}$  dan diameter tersebut akan dikontrol dengan memantau daya keluaran selama teknik etching menggunakan larutan asam *hydrofluoric* (HF). Parameter panjang serat *multimode* tidak akan berubah sedangkan diameter serat akan berubah selama proses pencelupan dalam larutan HF. Hasil dari penelitian ini yaitu sensor SMS memiliki sensitivitas  $\sim 4,6 \times 10^{-6}$ . Sensor refractometer berbasis serat SMS ini menunjukkan bahwa dapat digunakan memantau indeks bias secara tepat dibidang kimia dan biomedis (Gao et al., 2012).

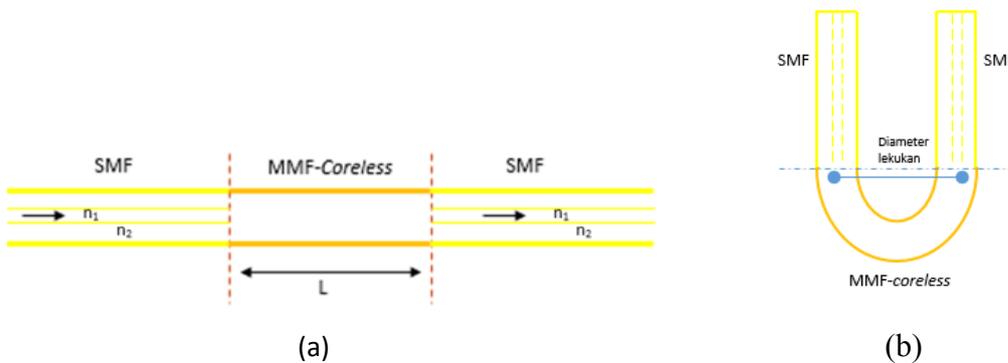
Sensor serat SMS sebagai sensor level cairan telah dilakukan oleh Yu Zhao dkk pada tahun 2013. Pada penelitian ini untuk meningkatkan sensitivitas, cladding dari serat *multimode* dicelupkan larutan *hydrofluoric* (HF) selama 12 menit dan panjang dari serat *multimode* 3,2 cm dengan diameter core 100  $\mu\text{m}$ . Sampel cairan yang digunakan untuk pengukuran level yaitu air. Serat *multimode* pada struktur SMS berperan sebagai *probe* sensor. Hasil dari penelitian ini yaitu sensitivitas yang dihasilkan 1,02 nm/mm dan 1 dBm/mm (Yu Zhao et al., 2013).

Penelitian mengenai sensor temperatur menggunakan serat SMS yang memiliki sensitivitas tinggi. Pada penelitian ini, ada dua buah jenis material yang digunakan sebagai pengganti cladding serat *multimode* yaitu *fluoroacrylate* dan *silicone elastomer*. Dua jenis bahan tersebut dibandingkan untuk mengetahui performa sensor yang lebih baik. Sumber cahaya yang dihasilkan dari *Amplified Spontaneous Emission* (ASE) ditransmisikan kedalam serat *singlemode* kemudian melewati serat *multimode* dan terjadinya fenomena MMI. Output dari serat *multimode* digabungkan lagi keserat *singlemode* untuk dideteksi oleh *Optical Spectrum Analyzer* (OSA). Sensor serat SMS diletakkan diatas hotplate dengan variasi temperatur 30 – 80°C. Resolusi sensor temperatur  $5,5 \times 10^{-3}$  °C dengan sensitivitas 0,1 nm/°C. Penelitian ini berguna dalam membuat pilihan tipe serat *multimode* yang tepat tergantung aplikasinya apakah membutuhkan sensitivitas suhu tinggi atau sensitivitas suhu rendah (Kushida, Fukano, & Taue, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh Manoj Kumar dkk tahun 2014 mengenai perbandingan sensor temperatur menggunakan serat SMS tipe serat *multimode* graded indeks dan step indeks. Perubahan temperatur akan mempengaruhi indeks bias, panjang dan jejari core dari serat. Perhitungan sensitivitas diketahui dengan adanya pergeseran spektral puncak yang berubah seiring dengan kenaikan suhu. Sensitivitas sensor serat SMS menggunakan tipe serat *multimode* step indeks lebih kecil dari graded indeks. Hal ini dikarenakan pergeseran puncak spektral pada sensor SMS tipe step indeks sangat kecil sehingga spectrum pada dua suhu hampir tumpang tindih (M. Kumar, Kumar, & Mani, 2014).

#### 2.1.4. Penelitian Sensor Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) *U-bent*

Serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) *U-bent* dibuat dengan cara menyambungkan dua buah serat *singlemode* dengan sebuah serat *multimode* yang kemudian dibengkokkan membentuk huruf U. Pada penelitian ini, serat *multimode* yang digunakan yaitu *multimode coreless*. Beberapa penelitian dengan memanfaatkan serat SMS struktur lekukan U telah banyak dikembangkan. Bagian serat SMS yang dimanfaatkan lekukan U adalah serat *multimode*. Pembentukan struktur lekukan U pada serat SMS dapat menyebabkan rugi daya dan menurunkan performansinya dalam bidang komunikasi. Rugi daya yang diakibatkan lekukan pada serat SMS dimanfaatkan sebagai sensor. Lekukan pada serat optik akan mengakibatkan sudut datang cahaya semakin kecil dan akan menyebabkan absorpsi gelombang bocor oleh material semakin besar (Calandra, Mauro, Cutugno, & Martino, 2016). Gambar 2.1 (a) dan (b) menunjukkan skema serat SMS sebelum dan setelah pembentukan lekukan U.



Gambar 2.1 Skema serat optik berstruktur SMS (a) sebelum dan, (b) setelah pembuantuan lekukan U

Gambar 2.1 (b) merupakan skema pembentukan serat SMS *U-bent* yang memanfaatkan sistem makrobending serat optik. Serat SMS *U-bent* dapat dikategorikan sebagai makrobending karena pembentukan diameter lekukan lebih besar daripada jari jari serat optik. Perubahan moda serat optik akibat lekukan akan mengakibatkan berubahnya nilai *V-number*. *V-number* adalah salah satu parameter

yang mempengaruhi medan penjalaran sepanjang serat optik. Perubahan parameter tersebut akan menyebabkan perubahan medan pada tiap titik sambungan serat (A. Kumar et al., 2003).

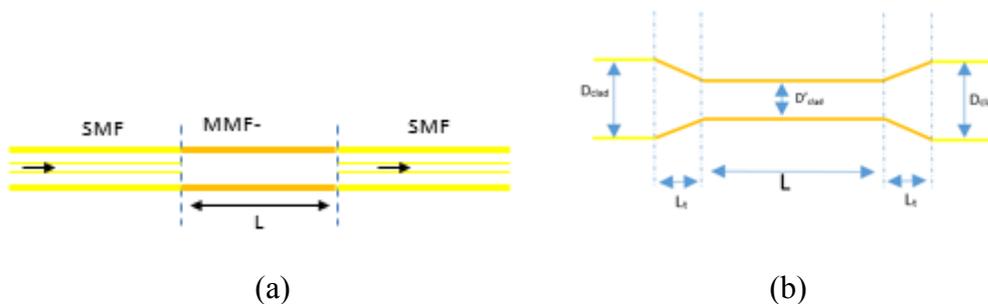
Penelitian yang telah dilakukan Chen dkk yaitu memanfaatkan serat *singlemode U-bent* sebagai sensor medan magnet. Pada penelitian ini menambahkan *magnetic fluid* (MF) sebagai lapisan serat. Prinsip kerja dari sensor ini yaitu ketika cahaya merambat dibagian lekukan inti serat maka cahaya akan menembus bagian *cladding*. Jika indeks bias dari MF lebih kecil dari *cladding* dan jari – jari *U-bent* tidak terlalu kecil maka *total internal reflection* akan terjadi diperbatasan *cladding* dan lapisan MF dan biasa disebut *whispering gallery mode* (WGM). Setelah melewati bagian lekukan, cahaya akan kembali merambat pada bagian inti serat. Indeks bias MF berubah dengan seiring berubahnya medan magnet sehingga puncak spektrum panjang gelombang akan bergeser. Medan magnet dapat dimodulasi dari pergeseran puncak panjang gelombang. Selain itu, karena koefisien absorpsi MF meningkat seiring dengan meningkatnya medan magnet maka intensitas akan berkurang akibat adanya absorpsi tersebut. Hasil penelitian ini yaitu sensor memiliki sensitivitas -0,4821 dB/Oe (Chen et al., 2014).

Pemanfaatan serat optik polimer berbentuk U yang memiliki sensitivitas tinggi untuk *sensing* indeks bias telah dilakukan oleh A. Gowri dan V.V.R. Sai. Pembuatan sensor serat polimer dengan diameter lekukan U yaitu 250 sampai 1000  $\mu\text{m}$  dan dicari diameter paling optimal. Sensitivitas paling tinggi ketika diameter lekukan sensor 2 hingga 3 kali diameter serat yaitu 1,25 mm menunjukkan sensitivitas sebesar  $5.57 \Delta A_{560 \text{ nm}} / \Delta \text{RIU}$  pada range indeks bias 1,33 sampai 1,47 dengan resolusi 1 milli RI (Gowri & Sai, 2016).

Penelitian oleh Rongxiang Zhang dkk dengan memanfaatkan serat *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) sebagai sensor medan magnet berbasis *magnetic fluid* (MF). Pada penelitian ini digunakan serat *multimode coreless* pada struktur SMS. Penelitian ini membandingkan hasil karakteristik sensor medan magnet menggunakan serat SMS konfigurasi lurus dan lekukan bentuk U. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sensitivitas sensor sebesar 5,6 dB/mT dapat ditingkatkan dengan membuat lekukan dan menurunkan diameter pada serat *multimode coreless* (Zhang, Liu, Han, Chen, & Li, 2014).

### 2.1.5. Penelitian Sensor Serat Optik *Singlemode-Multimode Tapered-Singlemode (SMS) Tapered Fiber*

Serat optik berstruktur *singlemode-tapered multimode-singlemode* (SMS-*tapered fiber*) dibuat dengan cara menyambungkan dua buah struktur serat *singlemode* dengan serat *multimode*. Pada bagian serat *multimode* dibuat konfigurasi *tapered fiber*. Pembuatan *tapered fiber* dapat menggunakan beberapa teknik antara lain teknik *flame heating* dan teknik *wet etching*. Gambar 2.2 (a) dan (b) menunjukkan skema serat SMS sebelum dan setelah pembentukan *tapered fiber*. Seperti yang kita ketahui bahwa diameter awal serat *multimode* 125  $\mu\text{m}$ , akan tetapi setelah dibentuk *tapered fiber* diameter serat berkurang. Perbedaan diameter ini yang membuat moda menjalar melewati serat *taper* akan mengalami kebocoran. Cahaya yang menjalar sepanjang serat *singlemode* kemudian melewati daerah *taper* pada bagian serat *multimode* akan mengalami *evanescent wave* (Yong Zhao, Cai, & Hu, 2015). Hal tersebut yang menyebabkan serat peka terhadap pengaruh luar. Seperti contoh sensor indeks bias, adanya *evanescent wave* akan peka terhadap perubahan indeks bias. Cahaya akan mengalami kebocoran moda dan diserap oleh media yang ada disekitarnya.



Gambar 2.2 Skema serat optik berstruktur SMS (a) sebelum dan, (b) setelah pembentukan *tapered fiber*

Pada penelitian yang dilakukan Yong Zhao dkk mengenai pemanfaatan serat SMS dengan dibuat *taper* sebagai sensor indeks bias dihasilkan sensitivitas sensor 261.9 nm/RIU pada rentang 1.3333–1.3737. Pada daerah *taper*, moda yang paling kuat akan lebih mudah bocor keluar ke sekitar cairan yang memiliki indeks bias dan biasa disebut *evanescent wave* (Yong Zhao et al., 2015).

Penelitian yang dilakukan Ricardo M. André dkk dengan memanfaatkan fenomena *multimode interference* (MMI) yang terjadi di *tapered fiber* sebagai sensor *strain-temperature*. Pada penelitian ini struktur serat yang digunakan yaitu serat *singlemode-multimode coreless-singlemode* (SMS). Ketika terjadi regangan, *self imaging* hasil dari MMI pada daerah taper akan mengalami pergeseran pola sehingga daya keluaran akan lebih besar. Hal itu yang menyebabkan sensitivitas *strain* jauh lebih tinggi. Panjang serat *multimode* yang disambungkan dengan dua buah serat *singlemode* adalah 50 mm. Sensitivitas sensor *strain* adalah  $-23.69 \text{ pm}/\mu\epsilon$  untuk diameter *taper* 15  $\mu\text{m}$ . Resolusi masing – masing sensor *strain* dan temperatur adalah  $\pm 5.6 \mu\epsilon$  dan  $\pm 1.6^\circ\text{C}$  (André et al., 2013).

Sensor indeks bias berbasis serat *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Tipe serat *multimode* yang digunakan yaitu Thorlabs AFS105/125Y *step-index MMF* dengan panjang 42 mm. Pada struktur serat SMS ini, serat *multimode* dibuat *tapered fiber*. Sensitivitas yang dihasilkan yaitu 1913 nm / RIU dan  $\sim 5,23 \times 10^{-6}$  RIU pada indeks bias  $\sim 1,44$  (P. Wang et al., 2011).

Penelitian sensor indeks bias berbasis *multimode interference* (MMI) pada serat SMS *tapered fiber* dilakukan oleh Claudécir R. Biazoli dkk. Serat *multimode* yang digunakan yaitu *multimode coreless*. Panjang serat *multimode* 20 mm dengan diameter awal 125  $\mu\text{m}$  menjadi 55  $\mu\text{m}$  setelah proses *taper* dengan teknik *flame brushing*. Rentang indeks bias 1,30 – 1,33 memiliki sensitivitas 148 nm/RIU sedangkan pada rentang 1,42 – 1,43 mempunyai sensitivitas 2946 nm/RIU (Biazoli, Silva, Franco, Frazão, & Cordeiro, 2012).

#### **2.1.6. Perbandingan Karakteristik Sensor Serat Optik berbagai Aplikasi**

Perkembangan sensor serat optik untuk berbagai jenis sensor sangat pesat. Penggunaan serat optik sebagai sensor banyak dikembangkan sebagai sensor pH, kelembaban, temperatur, level, pergerasan, *spesific gravity*, vibrasi, tegangan, arus, sensor kimia dll. Berbagai macam konfigurasi dan teknik untuk meningkatkan sensitivitas dari sensor serat optik seperti serat dibuat bengkok, gabungan serat *singlemode-multimode-singlemode* (SMS), serat dililitkan dan serat yang dibuat meruncing (*tapered fiber*). Berikut beberapa perbandingan sensitivitas sensor dari beberapa penelitian aplikasi sensor serat optik untuk berbagai kegunaan sensor.

Tabel 2.3 Perbandingan sensitivitas sensor serat optik dari berbagai penelitian.

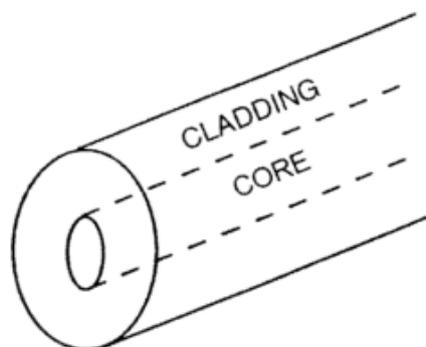
No	Aplikasi Sensor Serat Optik	Jenis Konfigurasi Sensor Serat Optik		
		Lurus	<i>Bent</i>	<i>Tapered fiber</i>
1	Sensor medan magnet	Sensitivitas Sensor medan magnet menggunakan serat SMS sebesar 742.9pm/mT (Zhang et al., 2014)	Sensitivitas Sensor medan magnet menggunakan serat SMS sebesar 3185.2pm/mT (Zhang et al., 2014)	-
2	Sensor indeks bias	Sensitivitas sensor indeks bias berbasis serat SMS sebesar $\sim 4,6 \times 10^{-6}$ RIU (Gao et al., 2012)	Sensitivitas sensor indeks bias berbasis serat polimer <i>U-bent</i> sebesar $5.57 \Delta A_{560 \text{ nm}} / \Delta \text{RIU}$ (Gowri & Sai, 2016)	Sensitivitas sensor indeks bias berbasis serat <i>SMS-tapered fiber</i> sebesar $\sim 5,23 \times 10^{-6}$ RIU (P. Wang et al., 2011)
3	Sensor <i>strain</i>	Sensor SMS ditambahkan lapisan $\text{P}_2\text{O}_5$ memiliki sensitivitas 7 pm/ $\mu\epsilon$ (Structures, Varshney, Kumar, Member, & Marin, 2009)	-	Sensitivitas Sensor <i>strain</i> berbasis serat <i>SMS-tapered fiber</i> dengan menggunakan serat <i>multimode coreless</i> sebesar $-23.69$ pm/ $\mu\epsilon$

				(André et al., 2013)
4	Sensor Temperatur	Sensor serat SMS diletakkan diatas hotplate dengan variasi temperatur 30 – 80°C. Resolusi sensor $5,5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ dengan sensitivitas 0,1 nm/°C (Kushida et al., 2013)	Sensor serat SMS memiliki sensitivitas 31,97 pm/°C pada rentang suhu dari 20 - 80°C dengan resolusi 0,1°C (Wu et al., 2010)	Sensor suhu menggunakan serat <i>SMF-MMF half taper</i> memiliki sensitivitas 11.4 pm/°C dengan resolusi 0,01 nm (P. Wang et al., 2013)
5	Sensor Kelembaban	Sensor serat SMS dengan tambahan lapisan <i>polyvinyl alcohol</i> (PVA) untuk rentang kelembaban 80% - 90% RH memiliki sensitivitas 0,18 nm/%RH (Yu Zhao, Jin, Liang, Dong, & Wang, 2011)	-	Sensor SMS dibuat <i>taper</i> pada dua bagian pinggang dititik penyambungan antar serat. Sensor tersebut digunakan untuk kelembaban dan memiliki sensitivitas 0.223 nm/%RH pada rentang 35% - 85% (An, Jin, Sun, & Dong, 2014)

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Serat Optik *Singlemode* dan *Multimode*

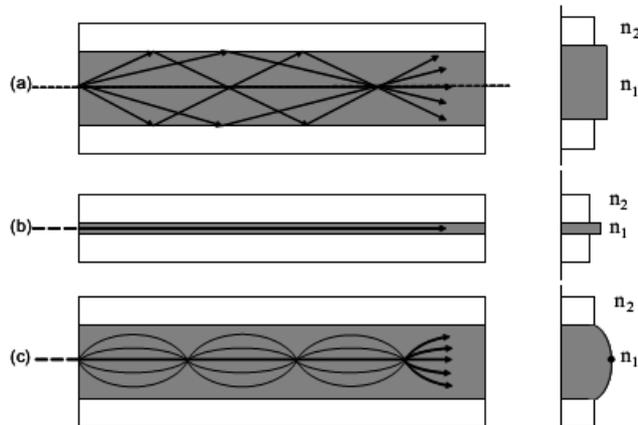
Serat optik adalah pandu gelombang dielektrik silinder yang terbuat dari material *low-loss* seperti plastik dan gelas silika. Serat optik mempunyai tiga bagian yaitu jaket, *cladding* dan *core*. *Core* merupakan bagian serat optik yang mempunyai indeks bias lesar daripada lapisan *cladding*. Bagian *cladding* mengelilingi bagian *core* dan jaket merupakan bagian terluar serat optik yang berfungsi sebagai pelindung lapisan *cladding* maupun *core*. Bagian-bagian dari serat optik ditunjukkan pada gambar berikut (Ghatak & Thyagarajan, 1997)



Gambar 2.3 Bagian-bagian struktur serat optik (Ghatak & Thyagarajan, 1997)

Pembagian serat optik berdasarkan moda perambatannya yaitu serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*. Diameter *core* serat optik *singlemode* lebih kecil dibandingkan dengan diameter *core* serat optik *multimode*. Jika diameternya kecil, maka hanya satu moda saja yang dirambatkan sedangkan pada serat optik *multimode* mempunyai banyak moda dikarenakan diameter *core* besar (Ghatak & Thyagarajan, 1997). Pembagian jenis serat optik dapat dilihat pada gambar 2.4.

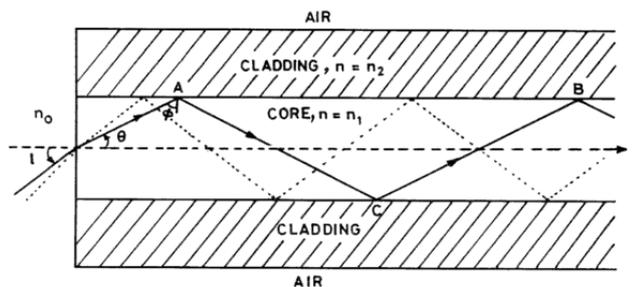
Berdasarkan gambar 2.4 pembagian serat optik berdasarkan distribusi indeks bias yaitu *step index* dan *graded index*. Serat optik *step index* mempunyai indeks bias yang seragam sepanjang *core* yang seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 (a) dan (b). Jenis serat *graded index* mempunyai indeks bias yang beragam yaitu indeks bias sebagai fungsi jarak dari pusat *core*. Indeks bias *graded index* akan semakin menurun ketika menjadi pusat *core*. Indeks bias *cladding* bernilai tetap dan lebih kecil dibanding indeks bias *core*.



Gambar 2.4 Geometri, profil indeks bias (a) serat optik *multimode step-index*, (b) serat optik *singlemode step-index*, (c) serat optik *multimode graded-index* (Ghatak & Thyagarajan, 1997)

### 2.2.2. Prinsip Pemanduan Cahaya dalam Serat Optik

Pemanduan cahaya pada serat optik berdasarkan prinsip *total internal reflection* (TIR). *Total Internal Reflection* merupakan prinsip pemanduan cahaya. Cahaya dapat dipandu melalui serat optik disebabkan karena berkas cahaya datang dari medium yang mempunyai indeks bias lebih besar ( $n_1$ ) ke medium yang mempunyai indeks bias lebih kecil ( $n_2$ ). Sudut berkas cahaya datang lebih kecil daripada sudut kritis ( $\theta_{cr}$ ), maka cahaya akan dibiaskan keluar dari serat optik. Sudut berkas cahaya datang lebih besar daripada sudut kritis, maka cahaya akan dipantulkan lagi ke dalam serat optik. Sudut kritis adalah besar sudut datang yang menghasilkan sudut bias sebesar  $90^\circ$  (Ghatak & Thyagarajan, 1997).



Gambar 2.5 Skema pemanduan cahaya pada serat optik (Ghatak & Thyagarajan, 1997)

TIR hanya dapat terjadi ketika sudut datang berkas cahaya lebih kecil dari sudut kritis. Pemanduan cahaya akan terjadi jika cahaya yang dimasukkan ke dalam *core* harus mempunyai sudut maksimal yang dapat diterima agar menghasilkan sudut kritis yang minimal (Ghatak & Thyagarajan, 1997)

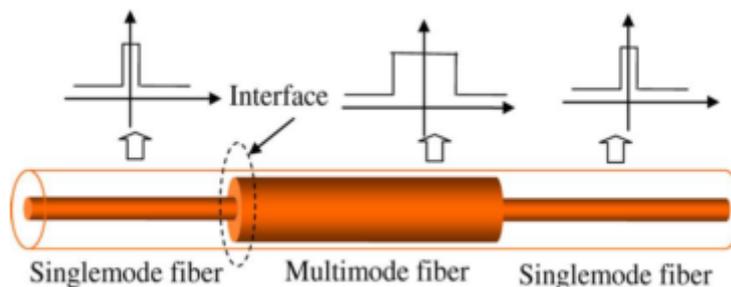
$$n \sin \theta_{0,\max} = n_1 \cos \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2.1)$$

Nilai  $\sin \theta_0$  maksimal dapat direpresentasikan dengan NA (*Numerical Aperture*), yaitu angka yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimal serat optik agar terjadi pemanduan cahaya yang sempurna. Persamaan matematis untuk nilai NA adalah sebagai berikut (Ghatak & Thyagarajan, 1997)

$$NA = n \sin \theta_{0,\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.2)$$

### 2.2.3. Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)

Serat optik berstruktur SMS merupakan serat optik yang terdiri dari dua serat optik *singlemode* identik dan disambung secara aksial pada kedua ujung serat optik *multimode*. Struktur serat optik dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.6 Skema serat optik *singlemode-multimode-singlemode* (Q. W. Q. Wang, Farrell, & Yan, 2008)

Serat optik *singlemode* mempunyai diameter *core* yang lebih kecil daripada serat optik *multimode*. Moda pada serat *singlemode* akan membangkitkan moda serat optik *multimode*. Analisis modal propagation pada serat optik SMS

dapat menggunakan *cylindrical coordinates* dengan asumsi cahaya input serat multimode memiliki distribusi medan  $E(r,0)$  sama dengan pada serat singlemode. Pada serat optik *singlemode*, moda fundamental yang merambat mempunyai distribusi medan  $E(r,0)$ . Ketika cahaya melewati serat *multimode*, medan input serat *multimode* diwakili oleh eigenmode ( $LP_{nm}$ ). Akibat circular simetry medan input, hanya  $LP_{0m}$  yang dapat diteruskan. Profil medan  $LP_{0m}$  sebagai  $F_m(r)$  dapat

$$\int_0^{\infty} |E(r,0)|^2 r dr = \int_0^{\infty} |F_m|^2 r dr \quad m = 1,2,\dots$$

dan jumlah radiasi serat multimode yang kecil dapat diabaikan (Q. W. Q. Wang et al., 2008)

$$E(r,0) = \sum_{m=1}^M c_m F_m(r) \quad (2.3)$$

dimana  $c_m$  adalah koefisien eksitasi dari setiap moda dan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Q. W. Q. Wang et al., 2008).

$$c_m = \frac{\int_0^{\infty} E(r,0) F_m(r) r dr}{\int_0^{\infty} F_m(r) F_m(r) r dr} \quad (2.4)$$

dimana jumlah moda yang tereksitasi adalah  $M \approx V/\pi$  dimana

$V = \left\{ 2\pi/\lambda \right\} a \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2}$  dengan  $a$  = jari – jari serat multimode,  $n_{co}$  indeks bias *core* dan  $n_{cl}$  adalah indeks bias *cladding* dan  $\lambda$  = panjang gelombang.

Penjalaran cahaya sepanjang serat optik multimode ( $z$ ) dapat diketahui dengan persamaan berikut ini (Q. W. Q. Wang et al., 2008).

$$E(r,z) = \sum_{m=1}^M c_m F_m(r) \exp(i\beta_m z) \quad (2.4)$$

dimana  $\beta_m$  adalah konstanta propagasi untuk serat multimode *step index*

$$\bar{\beta}_m \approx k_0 n_{co} - \left(2m - \frac{1}{2}\right)^2 \frac{\pi^2}{8k_0 n_{co} a^2} .$$

*Loss* serat SMS dapat dihitung dengan

persamaan berikut ini (Q. W. Q. Wang et al., 2008).

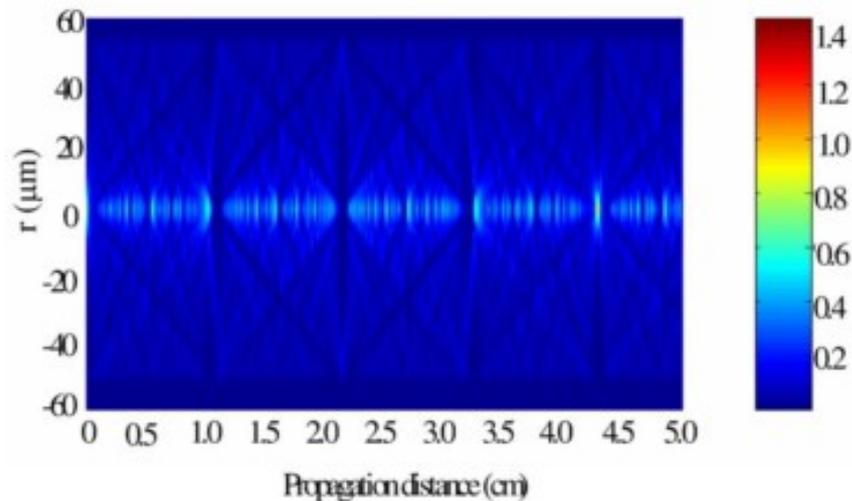
$$L_s(z) = 10 \log_{10} \left( \left| \sum_{m=1}^M c_m^2 \exp(i\beta_m z) \right|^2 \right) \quad (2.5)$$

Cahaya yang merambat dari serat optik *singlemode* ke serat optik *multimode* pada serat optik SMS akan terjadi fenomena peristiwa *multimode interference* (MMI). MMI terjadi karena perbedaan profil masukan cahaya dalam serat optik. Peristiwa MMI merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* serat optik. Peristiwa pemantulan yang berulang tersebut menyebabkan interferensi antar moda. Interferensi yang terjadi bisa secara konstruktif maupun destruktif. Pemantulan cahaya dengan banyak moda yang terjadi secara berulang pada rentang waktu yang periodik sepanjang pemanduan disebut dengan peristiwa *self-imaging*. *Self imaging* yang terjadi pada serat optik *multimode* merupakan salah satu jenis interferensi konstruktif seperti ditunjukkan pada gambar 2.7. Jarak antar *self-imaging* yang terjadi disebut sebagai jarak *reimaging* yang dapat didekati menggunakan persamaan dibawah ini

$$L_z = \frac{2\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2.7)$$

dimana  $L_z$  adalah jarak *reimaging*

$\beta$  adalah konstanta propagasi



Gambar 2.7 Penjalaran cahaya pada serat *multimode* (Q. W. Q. Wang et al., 2008)

#### 2.2.4. Parameter Optis *Graphene* dan *Carbon Nano Tube* (CNT)

*Graphene* merupakan material dua dimensi (2D) dengan hanya satu ketebalan atom karbon. *Graphene* adalah monoplas planar atom karbon yang disusun menjadi kisi 2D dengan panjang ikatan karbon-karbon 0,142 nm. *Graphene* merupakan salah satu bahan yang sangat stabil dan memiliki kekuatan mekanik dan sifat optik elektronik. Setiap atom *graphene* adalah atom permukaan dan sensitif terhadap perubahan lingkungan dari luar (Xu et al., 2015).

*Graphene* memiliki potensi untuk pengembangan berbagai jenis sensor. Sensor serat optik berbasis *graphene* tidak hanya memiliki kelebihan sensor serat optik secara umum tetapi memiliki sensitivitas dan resolusi yang lebih tinggi. Baru-baru ini, *graphene* dikombinasikan dengan sensor serat optik telah dimanfaatkan berbagai sensor untuk mengukur parameter yang berbeda, misalnya, sensor suhu, sensor biologis dan sensor gas. *Graphene* memiliki stabilitas kimia yang tinggi, akan tetapi kekuatan antar atomik yang kuat dan adanya gaya Van Der Waals akan membatasi penerapan *graphene*. Dengan tujuan untuk meningkatkan aplikasi *graphene*, *graphene* dapat difungsikan dan dimodifikasikan dengan polimer, logam dan zat lain, yang membuatnya memiliki lebih banyak karakteristik untuk diterapkan sebagai sensor kimia dan biologi (Yong Zhao, Li, Zhou, & Zhang, 2016).

*Graphene* memiliki beberapa parameter optik, antara lain *thermo-optic*, adsorpsi optik, adsorpsi molekul, *surface plasmon* dan fotoluminasi. *Graphene* memiliki sifat *thermo-optic* yaitu konduktivitas termal yang tinggi dari *graphene* membuatnya sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan. Ketika suhu berubah, indeks bias *graphene* akan berubah dengan jelas (Yong Zhao et al., 2016).

Tingkat penyerapan cahaya putih oleh *graphene* hanya 2,3%, reflektifitas dapat diabaikan (<0,1%), dan penyerapan optik *graphene* meningkat secara linier dengan lapisan *graphene*. Penelitian teoritis menunjukkan bahwa *monolayer*, lapisan ganda dan beberapa lapisan *graphene* menyerap lebih banyak mode TE cahaya daripada mode TM dalam peristiwa *total internal reflection*. Resolusi dan sensitivitas sangat bisa ditingkatkan dengan mengukur perbedaan intensitas cahaya yang dipantulkan dari mode TM dan mode TE (Yong Zhao et al., 2016).

Salah satu penelitian sensor ethanol menggunakan *tapered fiber* dengan memanfaatkan *graphene* sebagai penambah lapisan *coating* fiber. Sifat absorbansi sensor akan meningkat ketika terkena ethanol karena perubahan cahaya pada daerah *evanescent*. Pada penelitian ini membandingkan sensor menggunakan *graphene* dan *graphene oxide* (GO). Hasil sensing menunjukkan bahwa sensor dengan lapisan GO menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan perubahan absorbansi 80% pada konsentrasi etanol 5% jika dibandingkan dengan sensor yang dilapisi *graphene* dengan perubahan absorbansi 40%. Sensor dengan penambahan lapisan GO memiliki sensitivitas lebih besar daripada lapisan *graphene* yaitu sebesar 1.330/%vol ethanol (Saad H. Girei et al., 2015).

*Carbon nano tubes* (CNT) pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Jepang tahun 1991 'Sumio Iijima'. CNT adalah salah satu bentuk karbon, dengan diameter berukuran nanometer. Struktur CNT terdiri dari lembaran *graphene* digulung menjadi silinder dengan diameter nanometer (Aqel, El-Nour, Ammar, & Al-Warthan, 2012). CNT mempunyai dua tipe, yaitu *single-walled carbon nanotubes* (SWCNTs) dan *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs). SWCNTs adalah sebuah karbon berdinding tunggal yang dibuat dari satu lapisan *graphene*. Kebanyakan SWCNTs memiliki diameter mendekati 1 nm dan memiliki sifat listrik yang tidak dimiliki oleh MWCNTs. MWCNTs terdiri dari beberapa layer *graphene* yang membentuk tabung dengan diameter berbeda.

Penelitian oleh A. A. Shabaneh dkk yaitu pemanfaatan CNT untuk sensor serat optik sebagai sensor ethanol. Ujung serat *multimode* dilapisi dengan CNT dengan teknik *drop*. Sensor ini memanfaatkan respon reflektansi. Respon reflektansi dari sensor serat diukur menggunakan spektrofotometer pada rentang panjang gelombang 500-800 nm. Rentang konsentrasi ethanol 5 – 80%, reflektansi sensor akan berkurang. Sensitivitas dan linieritas sensor masing – masing 0.021 /vol% dan 96% dengan *error* 4,02% (Shabaneh et al., 2014).

Pemanfaatan CNTs untuk tambahan lapisan *tapered fiber* sebagai sensor kelembaban telah dilakukan oleh Habibah Mohamed dkk. Jenis CNT yang digunakan yaitu MWCNTs. Prinsip *sensing* kelembaban adalah adanya perubahan konduktivitas listrik CNT yang sangat drastis ketika terjadi adsorpsi air. Prosentase kelembaban akan bervariasi seiring perubahan molekul air. Serat optik silika yang berbentuk *taper* dengan tambahan lapisan MWCNTs digunakan untuk sensor kelembaban rentang 45% - 80%. Sensitivitas sensor tanpa dan dengan tambahan lapisan MWCNTs masing – masing adalah 3,811  $\mu\text{W}/\%RH$  dan 5,17  $\mu\text{W}/\%RH$  (Mohamed et al., 2017).

#### **2.2.5. Karakteristik Sensor**

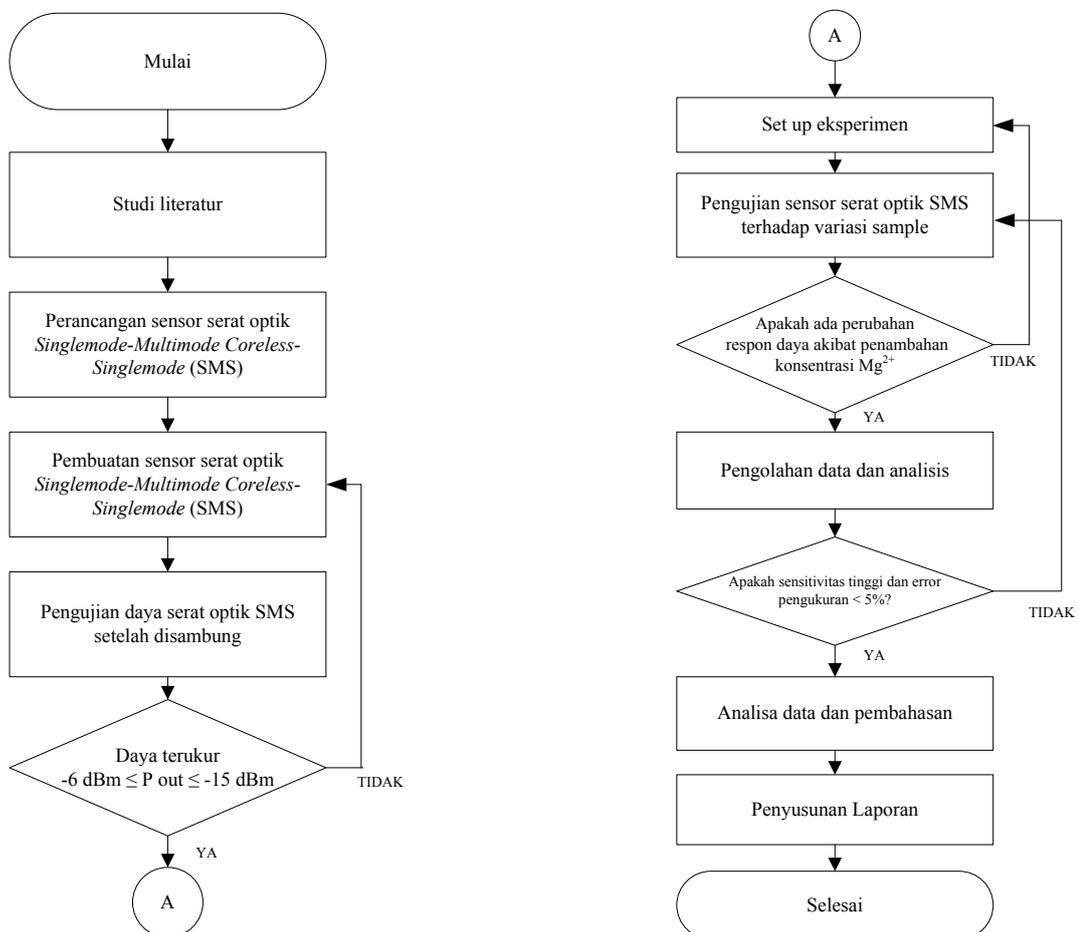
Sensor sering didefinisikan sebagai perangkat yang menerima stimulus dan merespon dengan sinyal listrik. Stimulus berupa suatu keadaan tertentu pada suatu lingkungan yang akan dideteksi maupun ditangkap oleh sensor (Fraden, 2016). Pengertian sensor dalam sistim pengukuran merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu (Bentley, 2005). Karakteristik sensor merupakan performansi dari sebuah sensor. Karakterisasi sensor dilakukan untuk mengetahui kinerja suatu sensor yang telah dirancang. Salah satu karakteristik sensor adalah karakteristik statik yang meliputi *span*, *range*, linieritas, sensitivitas, resolusi dan histeresis (Fraden, 2016).

*Span* merupakan jangkauan pengukuran dimana sensor masih dapat merespo stimulus yang diberikan. Jangkauan pengukuran sensor terletak pada masukan maupun keluaran sensor. Jangkauan pengukuran maskan dihitung dari selisih masukan maksimum dan masukan minimum, sedangkan jangkauan pengukuran keluaran juga dihitung dari selisih keluaran maksimum dan keluaran

minimum. *Range* pengukuran masukan merupakan nilai masukan minimum sampai masukan minimum. *Range* keluaran adalah nilai minimum keluaran sampai keluaran maksimum. Linieritas merupakan karakteristik ideal dari sistim pengukuran. Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan suatu sensor. Kepekaan suatu sensor dapat diketahui dari perbandingan perubahan keluaran terhadap perubahan masukan. Resolusi merupakan adanya perubahan nilai masukan terbesar sensor tidak akan menyebabkan perubahan pada nilai keluaran sensor. Histeresis adalah selisih nilai keluaran sensor yang dapat diperoleh dari pengukuran naik dan pengukuran turun terhadap nilai masukan yang sama.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan dari penelitian ini. Prosedur penelitian mencakup perancangan tiga buah konfigurasi sensor serat optik SMS untuk mendeteksi ion magnesium. Prosedur penelitian secara garis besar digambarkan dalam diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian diatas, dapat dijelaskan sebagai berikut :

### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menunjang keberhasilan penelitian yang akan dilakukan. Literatur yang digunakan antara lain buku, jurnal penelitian, artikel ilmiah, disertasi serta laporan penelitian sebelumnya yang membahas mengenai serat optik berstruktur SMS. Kegiatan ini dimulai dengan mempelajari prinsip dasar serat optik berstruktur SMS, memahami parameter – parameter dari serat optik SMS, prinsip penjalaran cahaya pada sensor serat optik, penelitian mengenai metode *sensing* ion magnesium, mekanisme sensing serta karakteristik sensor SMS.

### 3.2. Perancangan Serat Optik SMS

Perancangan sensor serat optik SMS yaitu penentuan parameter serat optik antara lain diameter *core* serat optik, indeks bias dan panjang serat optik yang akan digunakan untuk membuat sensor serat optik SMS. Perancangan sensor serat optik SMS meliputi konfigurasi lurus, *U-bent* dan *tapered fiber*. Parameter serat optik seperti indeks bias dan jari-jari *core* dan *cladding* ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi parameter serat optik yang digunakan

Spesifikasi		
	<i>Singlemode Pigtail</i>	<i>Multimode Coreless</i>
Panjang gelombang	400-2400 nm	
Indeks bias <i>core</i>	1,45	-
Indeks bias <i>cladding</i>	1,44	1,444
Diameter <i>core</i>	9 $\mu\text{m}$	-
Diameter <i>cladding</i>	125 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$
Diameter <i>coating</i>	-	250 $\mu\text{m} \pm 5\%$

### 3.3. Pembuatan Serat Optik SMS

Tahap ini merupakan pembuatan serat optik SMS yang akan dijadikan sebuah sensor. Serat optik SMS dibuat dengan cara menyambungkan dua buah serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode coreless* secara axial. Pemotongan serat optik *multimode coreless* yang digunakan sebagai *probe* sensor sesuai dengan

penentuan panjang pada tahap perancangan. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan untuk proses pembuatan serat optik SMS.

- Serat optik SMS
- Serat optik *multimode coreless*
- Alkohol 96%
- *Fusion Splicer type-ZIC Sumitomo Electric*
- *Optical light source JDSU type-OLS-35*
- *Optical power meter JDSU type-OLP-35*
- *Fiber cleaver*
- *Fiber stripper*
- Tisu
- Penggaris



Gambar 3.2 (a) Serat optik *singlemode* SMF-28 step index core 4.2  $\mu\text{m}$  (b) Serat optik *multimode coreless* (c) *Fusion Splicer* (d) *Fiber cleaver* (e) *Fiber stripper* (f) *Optical Light Source* (g) *Optical Power Meter*

Jaket dan cladding serat optik *multimode* dikelupas menggunakan *fiber stripper* dan sisa *coating* dibersihkan dengan alkohol 96%. Kedua ujung serat optik *multimode coreless* dipotong dengan *fiber cleaver* untuk mendapatkan permukaan ujung yang rata saat penyambungan. Penyambungan serat optik SMS dengan menggunakan *fusion splicer type ZIC Sumitomo Electric*. Pembuatan sensor SMS untuk mendeteksi ion magnesium terdiri dari 3 konfigurasi yaitu sensor SMS konfigurasi lurus, *U-bent* dan *tapered fiber* yang akan dijelaskan masing-masing sebagai berikut :

### A. Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi Lurus

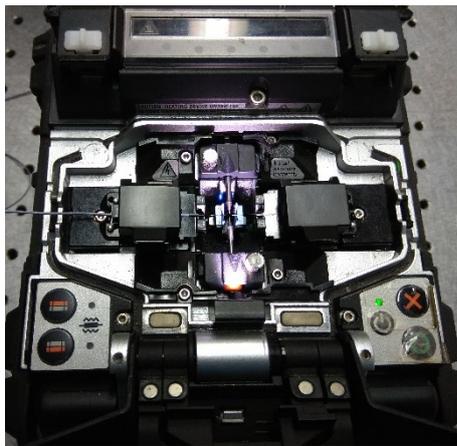
Pada tahap pembuatan sensor SMS konfigurasi lurus, dirancang 3 buah sensor dengan variasi panjang serat *multimode coreless* yang masing masing yaitu 10, 30 dan 50 mm. Adapun proses pembuatan sensor serat optik SMS adalah sebagai berikut :

1. Serat *singlemode* pigtail dikelupas bagian jaket dan *coating* kemudian dibersihkan dengan alkohol 96%.
2. Serat yang telah dibersihkan tersebut kemudian dipotong menggunakan *cleaver* yang bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang rata.
3. Serat diletakkan pada *splicer* untuk disambungkan dengan ujung serat lainnya. Pada *splicer* akan diketahui hasil dari pemotongan. Hasil pemotongan harus memiliki permukaan merata supaya dapat disambungkan dengan serat lainnya dan mengurangi rugi daya akibat penyambungan. Hasil penyambungan yang ditampilkan *splicer* seperti gambar berikut.



Gambar 3.3 Foto hasil pemotongan serat *singlemode* yang ditampilkan pada *splicer*

4. Langkah selanjutnya, serat *multimode coreless* dipotong dan dibersihkan seperti pada langkah 1-2 sesuai dengan variasi panjang yang telah ditentukan.
5. Serat optik *multimode coreless* yang telah dipotong diletakkan pada ujung lainnya dari *splicer*, selanjutnya disambungkan dengan serat *singlemode* menggunakan *splicer* seperti pada gambar berikut.



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a) Foto proses penyambungan serat optik menggunakan *fiber splicer*, (b) Foto serat optik *singlemode* dan *multimode* yang ditampilkan pada layar *display fiber splicer*

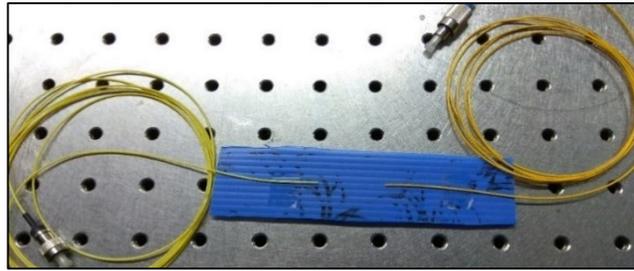


(a)

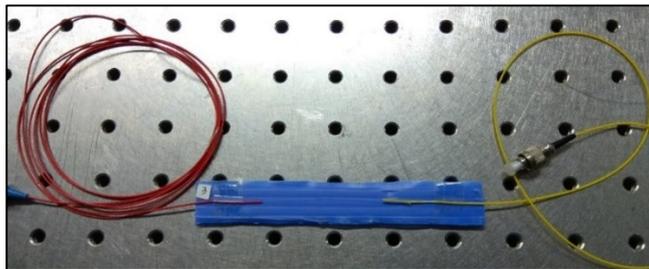


(b)

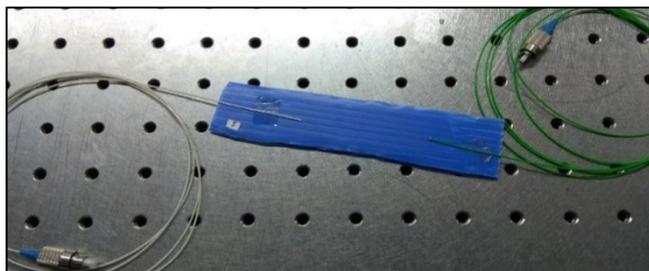
Gambar 3.5 (a) Foto hasil penyambungan serat *singlemode* dan *multimode* yang ditampilkan pada layar *display fiber splicer*, (b) Foto hasil pembuatan serat optik *singlemode-multimode-singlemode* (SMS).



Gambar 3.6 Foto hasil penyambungan serat optik *singlemode-multimode-singlemode* dengan panjang serat *multimode* 10 mm.



Gambar 3.7 Foto hasil penyambungan serat optik *singlemode-multimode-singlemode* dengan panjang serat *multimode* 30 mm.

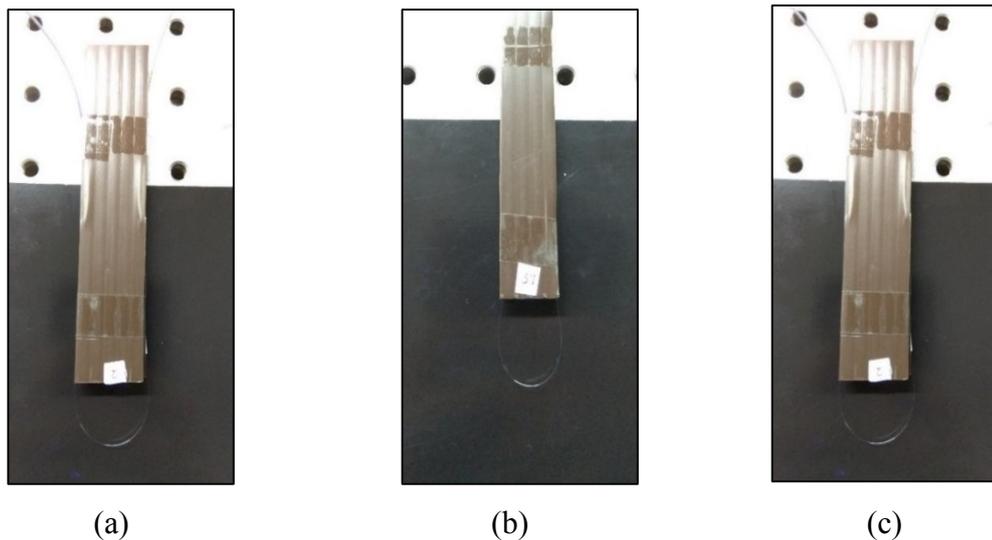


Gambar 3.8 Foto hasil penyambungan serat optik *singlemode-multimode-singlemode* dengan panjang serat *multimode* 50 mm.

### **B. Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi U-bent**

Pada tahap pembuatan sensor SMS konfigurasi U-bent, dirancang 3 buah sensor dengan variasi diameter U yang dibentuk dari panjang serat *multimode coreless* 30 mm. Variasi diameter U pada perancangan ini yaitu 10 mm, 15 mm dan 20 mm. Adapun proses pembuatan sensor serat optik SMS konfigurasi U-bent sama halnya dengan langkah 1-5 pada proses penyambungan serat optik SMS. langkah selanjutnya setelah serat SMS tersambung yaitu pembentukan bentuk U dengan

diameter yang telah ditentukan. Penentuan diameter berdasarkan uji coba berapa diameter paling minimal dan maksimal yang bisa dibentuk dari panjang serat *multimode* 30 mm. Pada percobaan diameter 5 mm serat optik SMS mengalami putus. Berikut hasil pembuatan serat SMS konfigurasi *U-bent*.

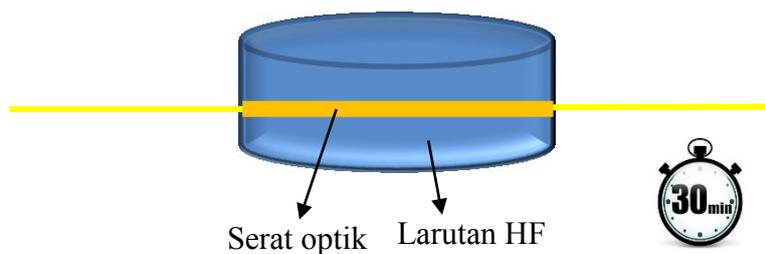


Gambar 3.9 Foto hasil pembuatan serat optik SMS konfigurasi *U-bent* dengan variasi diameter (a) 10 mm, (b) 15 mm, (c) 20 mm

### C. Sensor Serat Optik SMS-*Tapered Fiber*

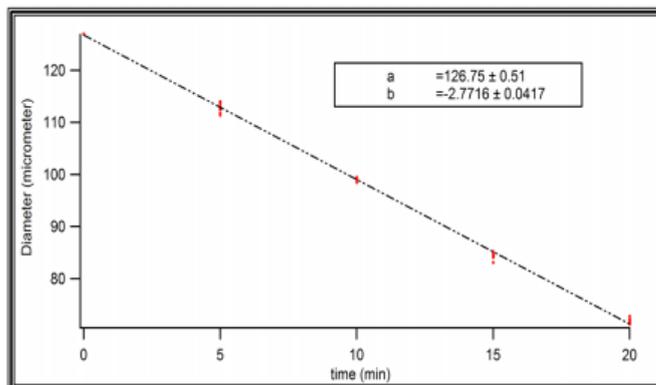
Sensor serat optik SMS-*tapered fiber* dibuat dengan tujuan untuk meningkatkan sensitivitas. *Tapered fiber* yaitu salah satu struktur serat optik yang dibuat meruncing pada panjang tertentu. Bagian yang meruncing inilah yang akan dijadikan sebuah probe sensor. Salah satu teknik untuk membuat *tapered fiber* yaitu dengan menggunakan larutan etsa berupa *Hydrofluoric* (HF). Larutan HF bersifat asam yang akan menyebabkan korosi pada serat optik berbahan silika sehingga akan mengurangi diameter dari serat. Faktor yang mempengaruhi berhasilnya teknik *wet etching* ini yaitu kesesuaian konsentrasi larutan HF dan waktu yang telah ditentukan. Besarnya konsentrasi HF dan waktu pencelupan serat kedalam larutan tersebut akan mempengaruhi diameter serat yang berkurang. Proses teknik etching ini didefinisikan sebagai ratio perbedaan diameter dengan waktu yang dibutuhkan selama proses berlangsung. Berikut langkah-langkah dalam pembuatan serat SMS-*tapered fiber*.

1. Langkah pertama dalam teknik ini yaitu pembuatan serat SMS seperti pada langkah 1-5 pada poin A.
2. Serat optik *multimode coreless* pada struktur SMS dibersihkan kemudian dicelupkan kedalam larutan HF 48% selama masing – masing 5, 10, 15 dan 20 menit.
3. Langkah selanjutnya angkat serat dari larutan HF dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian dicelupkan ke akuades untuk menghilangkan sisa larutan HF yang tersisa dipermukaan serat.
4. Angkat serat dari akuades kemudian ukur diameter serat dengan menggunakan mikroskop.
5. Skema teknik etching dengan menggunakan HF untuk menghasilkan diameter serat yang lebih kecil dapat dilihat seperti gambar berikut ini.



Gambar 3.10 Skema teknik etching dengan larutan HF

Berikut adalah hasil referensi perubahan diameter serat dengan waktu pencelupan yang telah ditentukan diatas

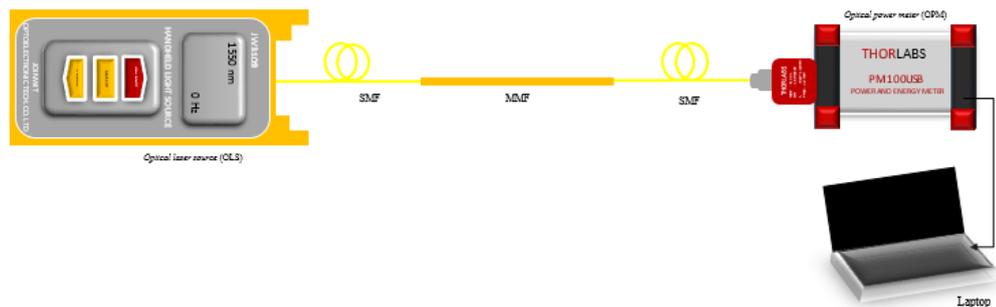


Gambar 3.11 Hubungan diameter serat terhadap lama waktu pencelupan (Cui, 2014)

Gambar 3.11 menunjukkan bahwa perubahan diameter serat terhadap kenaikan waktu pencelupan didapatkan perubahan diameter yang hampir konstan. Pada waktu pencelupan 5 menit didapatkan diameter serat 112  $\mu\text{m}$ , ketika waktu pencelupan 10 menit dihasilkan 99  $\mu\text{m}$ , waktu pencelupan 15 menit dihasilkan 85  $\mu\text{m}$  sedangkan 20 menit waktu pencelupan perubahan diameter sebesar 70  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan 5 menit didapatkan perubahan sekitar 10  $\mu\text{m}$  (Cui, 2014).

### 3.4. Pengujian dan Karakterisasi Sensor Serat Optik SMS

Pengujian serat optik SMS dilakukan setelah penyambungan. Pengujian dilakukan dengan sumber cahaya 1550 nm yang dideteksi oleh *optical power meter* (OPM) sebagai daya keluaran serat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar rugi daya akibat penyambungan. Hasil dari pengujian serat optik SMS berupa besar daya yang akan dibandingkan dengan daya masukan sehingga diketahui sebesar daya rugi. Langkah selanjutnya yaitu mengkarakterisasi sensor serat optik SMS. Karakterisasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kestabilan sensor pada waktu tertentu. Berikut skema pengujian sensor serat optik SMS yang ditunjukkan pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Skema pengujian dan karakterisasi sensor SMS

Karakterisasi serat SMS dilakukan dengan pengambilan data 1000 data dengan interval waktu 0,1 sekon. Hasil dari pengujian karakterisasi serat SMS didapatkan hubungan antara daya keluaran terhadap waktu pengambilan data. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama stabil serat SMS bekerja.

### 3.5. Pengujian Sensor SMS terhadap Sampel

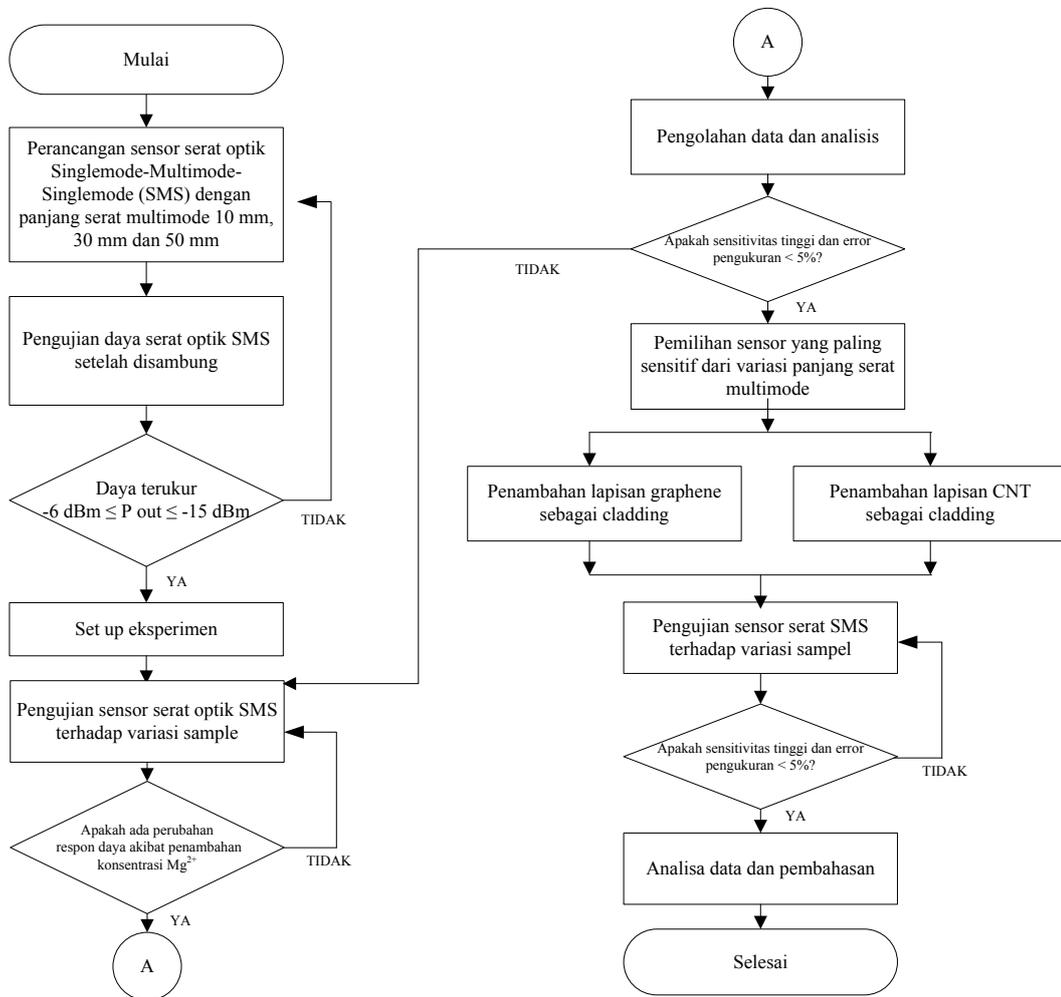
Pengujian sensor serat SMS dilakukan terhadap variasi konsentrasi ion magnesium. Konsentrasi ion magnesium yang dijadikan sampel uji yaitu 1%-5%. Pengujian sensor dikondisikan pada suhu 20°C, hal ini dikarenakan sensor serat optik sangat berpengaruh pada perubahan suhu. Dalam pengujian sensor serat optik SMS untuk deteksi ion magnesium diperlukan alat dan bahan sebagai berikut.

- a. Sumber cahaya 1550 nm
- b. Serat optik SMS
- c. Sampel uji (ion magnesium 1%-5%)
- d. *Optical Power Meter* (OPM)
- e. Laptop
- f. Wadah sampel

Pada penelitian ini serat *multimode* pada struktur SMS dicelupkan pada sampel uji ion magnesium. Kedua ujung serat optik dihubungkan dengan sumber cahaya dan OPM yang kemudian daya keluaran ditampilkan pada laptop. Volume sampel uji yaitu 20 ml yang bertujuan agar serat optik *multimode* dapat tercelup. Daya masukan serat optik sebesar -6 dBm yang dihasilkan oleh laser 1550 nm. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data 5 kali tiap konsentrasi sebanyak 1000 data dengan interval waktu 0,1 sekon dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada masing – masing struktur. Data yang dihasilkan yaitu hubungan daya keluaran sensor terhadap konsentrasi ion magnesium.

### A. Pengujian sensor serat optik SMS konfigurasi lurus

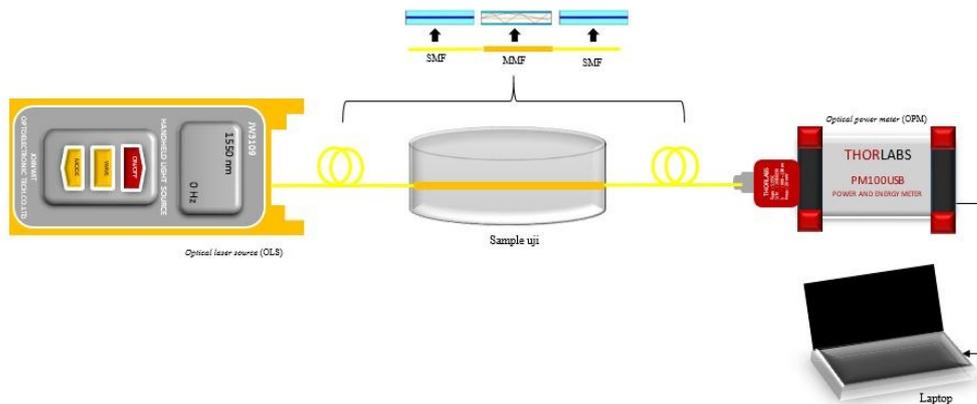
Berikut merupakan diagram alir pengujian sensor serat SMS konfigurasi lurus.



Gambar 3.13 Diagram alir pengujian sensor serat SMS konfigurasi lurus

Pengujian diawali dengan perancangan serat optik SMS. Perancangan serat optik SMS yaitu menyambungkan dua buah serat *singlemode* dan serat *multimode* dengan variasi panjang serat *multimode coreless* 10 mm, 30 mm dan 50 mm seperti yang sudah dijelaskan pada 3.3 poin A. Langkah selanjutnya yaitu pengujian daya keluaran serat setelah penyambungan. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui berapa rugi daya akibat penyambungan. Selanjutnya, apabila daya keluaran serat SMS  $\leq -15$  dBm maka dilanjutkan

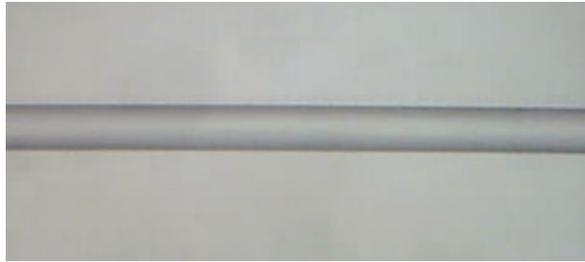
keproses berikutnya yaitu pengujian sensor serat SMS dengan menggunakan sampel ion magnesium. Berikut merupakan *set-up* eksperimen pada penelitian ini dengan menggunakan sensor serat optik SMS konfigurasi lurus



Gambar 3.14 Skema pengujian sensor SMS terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali yang kemudian diolah data tersebut dan diketahui hasil karakteristik sensor. Hasil karakteristik sensor diambil panjang serat *multimode coreless* yang sensitif diantara 2 panjang lainnya. Panjang serat *multimode coreless* pada sensor serat SMS yang memiliki sensitivitas tinggi kemudian digunakan uji ion magnesium dengan menambahkan pelapisan material sebagai pengganti *cladding* dari serat multimode. Penambahan material pengganti *cladding* bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas sensor. Material yang digunakan sebagai pelapis yaitu *graphene* dan *carbon nano tube* (CNT) yang berperan sebagai *cladding* serat *multimode coreless*. Pelapisan *graphene* dan CNT hanya dilakukan untuk panjang serat *multimode* yang paling sensitif. Pelapisan *graphene* maupun CNT diketahui merata sebagai pelapis serat dapat diketahui menggunakan mikroskop. Mikroskop yang digunakan yaitu *Microscope Olympus*. Berikut hasil mikroskopik dari serat *multimode* yang sebelum dan sesudah dilapisi *graphene*

maupun CNT yang ditunjukkan oleh gambar 3.15. Pembesaran mikroskop yang digunakan yaitu 4X/10.



(a)



(b)



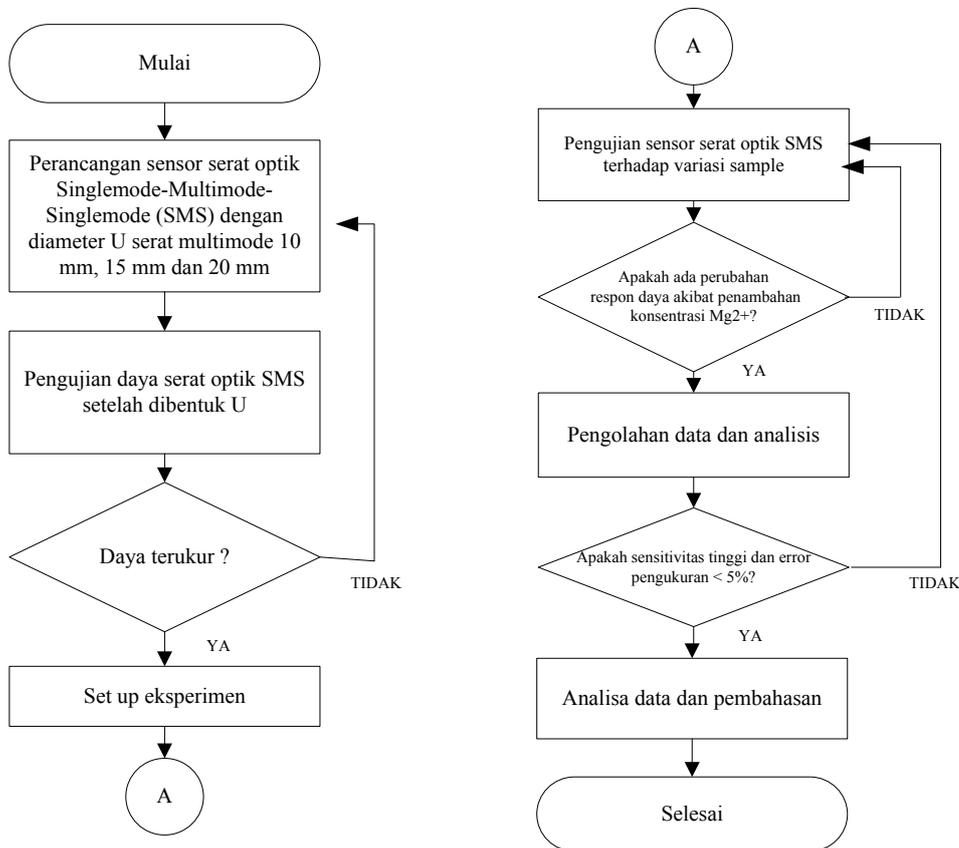
(c)

Gambar 3.15 Foto hasil mikroskop dari serat optik *multimode* (a) tanpa pelapisan *graphene*, (b) dilapisi *graphene*, (c) dilapisi CNT

### **B. Pengujian sensor serat SMS konfigurasi *U-bent***

Pengujian sensor ion magnesium berbasis serat SMS juga dilakukan dengan serat *multimode coreless* berbentuk U. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas sensor. Lekukan U pada serat akan mengakibatkan hilangnya moda yang bocor keluar dari *core* serat optik, sehingga rugi daya yang dihasilkan semakin besar. Rugi daya tersebut yang

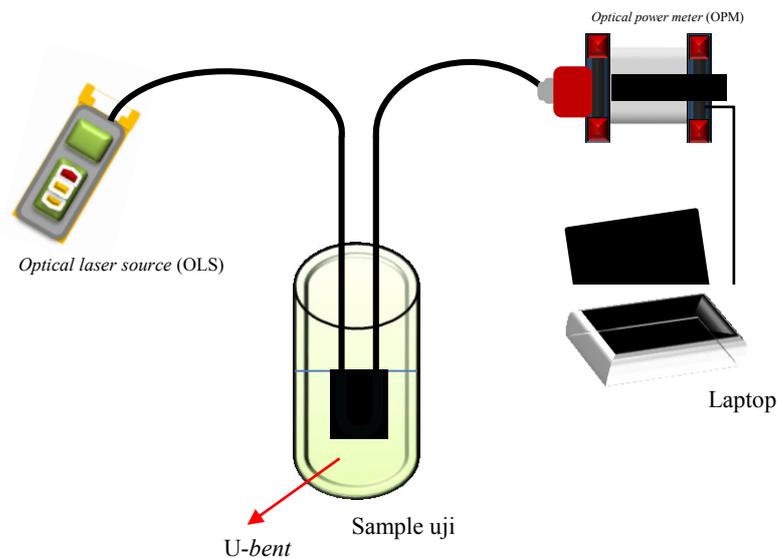
dimanfaatkan sebagai sensor. Berikut merupakan diagram alir pengujian ion magnesium menggunakan sensor serat SMS konfigurasi *U-bent*.



Gambar 3.16 Diagram alir pengujian sensor SMS konfigurasi *U-bent*

Gambar 3.16 merupakan diagram alir pengujian sensor SMS *U-bent* yang digunakan untuk langkah pengujian sensor ion magnesium. Langkah pertama yaitu dengan merancang sensor serat SMS *U-bent*. Pembentukan lekukan U dilakukan pada serat *multimode* struktur serat SMS. Panjang serat *multimode* yang digunakan yaitu panjang yang paling sensitif dari variasi panjang serat *multimode* ketika pengujian sensor pada konfigurasi serat SMS lurus. Dari hasil analisa sensor serat SMS konfigurasi lurus kemudian dirancang sensor serat SMS *U-bent* dengan variasi diameter lekukan. Variasi diameter lekukan yaitu dilakukan uji coba dari diameter minimal dan maksimal yang dapat dibentuk dari panjang serat *multimode* yang telah ditentukan. Selanjutnya dari setiap serat

SMS *U-bent* yang telah dirancang dilakukan uji daya keluaran. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui rugi daya setelah penyambungan serat SMS dan setelah pembentukan lekukan U. Setelah daya terukur, maka mulai dilakukan pengujian ion magnesium menggunakan serat SMS *U-bent* pada tiap – tiap variasi diameter. Berikut *set-up* eksperimen untuk pengujian ion magnesium menggunakan serat SMS *U-bent*.

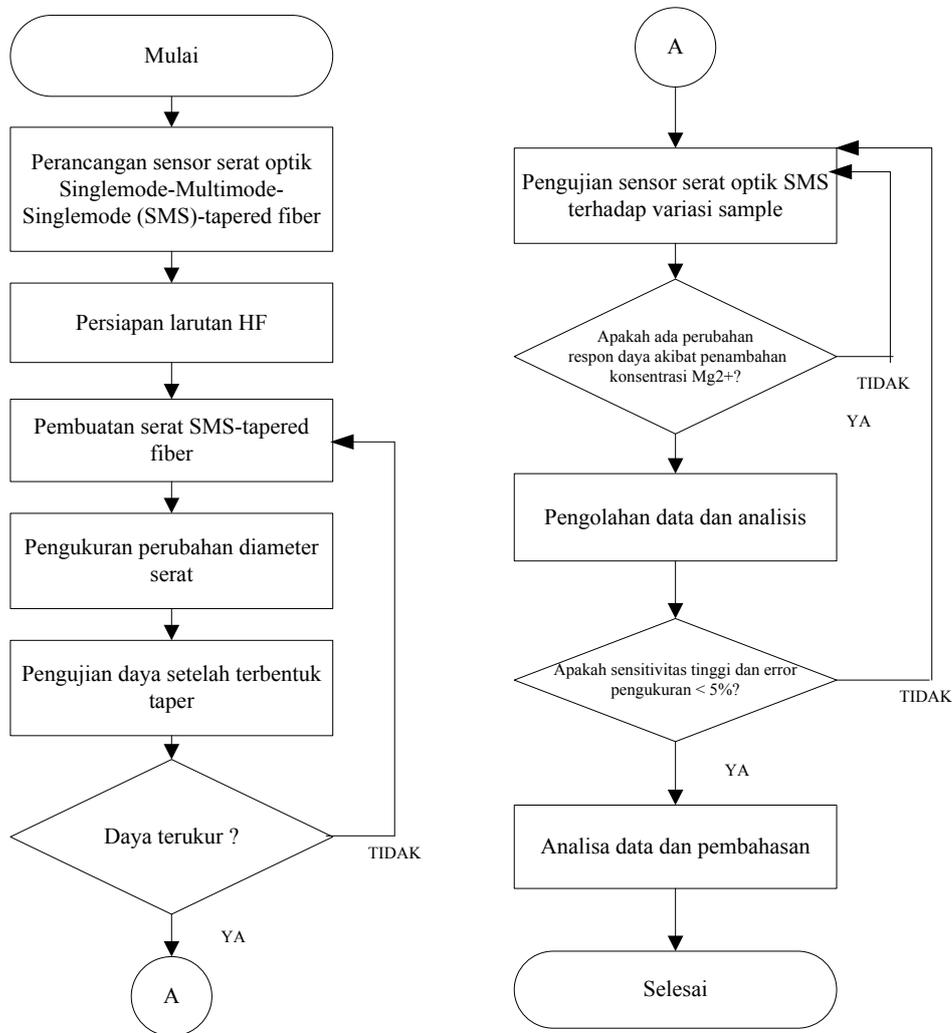


Gambar 3.17 Skema pengujian sensor SMS berbentuk *U-bent* terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium

Pengujian dilakukan pada sampel uji ion magnesium menggunakan variasi 0 – 5%. Serat SMS dikondisikan tercelup sampel uji ada daya keluaran serat ditangkap oleh *optical power meter* (OPM) yang kemudian ditampilkan pada laptop yang sudah terinstal *software* OPM THORLABS. Setelah didapatkan perubahan daya keluaran serat SMS akibat perubahan konsentrasi ion magnesium maka dilakukan analisa karakteristik sensor. Apabila hasil dari analisa karakteristik sensor tidak sesuai dengan referensi maka perlu dilakukan pengujian ulang dan lebih diperhatikan faktor – faktor yang mempengaruhi ketika pengujian. Faktor yang dapat mempengaruhi ketika pengujian antara lain suhu ruangan dikondisikan, kondisi serat SMS tercelup sampel atau tidak dan penyambungan serat ke sumber cahaya maupun detektor harus tepat.

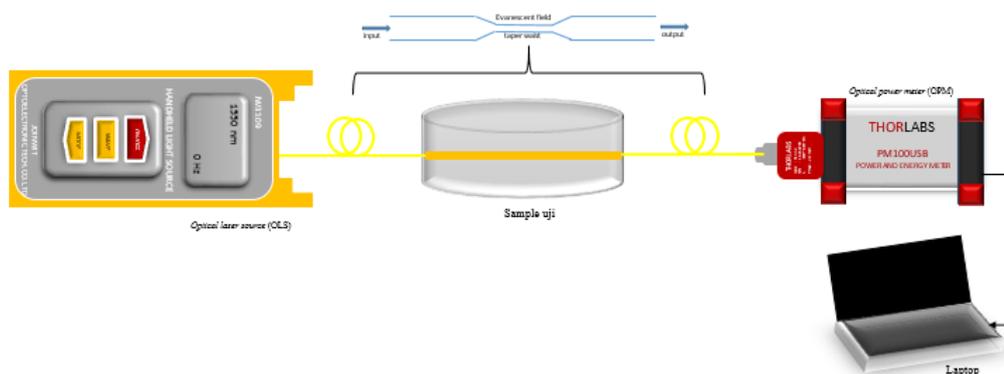
### C. Pengujian sensor serat SMS-*Tapered fiber*

Pengujian sensor ion magnesium juga dilakukan menggunakan serat SMS-*tapered fiber*. *Tapered fiber* dilakukan pada serat *multimode* dengan panjang yang telah diketahui paling sensitif dari pengujian konfigurasi serat SMS lurus. Langkah awal yaitu pembuatan serat SMS-*tapered fiber* sesuai dengan yang telah dijelaskan pada 3.3 poin C. Pembuatan *tapered fiber* menggunakan larutan *Hydrofluoric* (HF). Selanjutnya dilakukan uji daya keluaran setelah pembentukan *tapered fiber*. Uji tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan daya keluaran sebelum dan sesudah pembuatan serat SMS-*tapered fiber*. Penjelasan pengujian dapat dilihat sesuai dengan diagram alir berikut ini.



Gambar 3.18 Diagram alir pengujian sensor SMS-*tapered fiber*

Pembuatan serat SMS-*tapered fiber* dilakukan dengan mengkarakterisasi variasi lama waktu pencelupan serat ke dalam larutan HF. Lama waktu pencelupan yang digunakan yaitu 5, 10, 15 dan 20 menit. . Setiap variasi lama waktu pencelupan dilakukan pengujian daya masing masing sehingga didapatkan hasil hubungan lama waktu pencelupan terhadap daya keluaran serat. Selain dilakukan uji daya keluaran, serat SMS-*tapered fiber* diletakkan pada mikroskop untuk mengetahui diamter setelah pencelupan larutan HF. Hasil dari mikroskop dapat dihitung perubahan diameter sehingga didapatkan hubungan antara lama waktu pencelupan dan perubahan diameter. Langkah selanjutnya setelah daya keluaran serat SMS-*tapered fiber* terukur maka dilakukan pengujian sensor tersebut ke variasi sampel uji. Variasi sampel uji ion magnesium yaitu 0 – 5%. Skema pengujian sensor SMS-*tapered fiber* dapat dilihat pada gambar 3.19. Kondisi pengujian sama halnya dengan sensor serat SMS konfigurasi lurus maupun *U-bent* yaitu dengan mengkondisikan *probe* sensor serat SMS tercelup sampel uji dan suhu ruangan dikondisikan pada suhu 20°C. Hasil dari pengujian sensor yaitu daya keluaran serat SMS-*tapered fiber* akibat perubahan konsentrasi ion magnesium. Hasil tersebut kemudian diolah dan dilakukan analisa karakteristik sensor.



Gambar 3.19 Skema pengujian sensor SMS-*tapered* terhadap perubahan konsentrasi ion magnesium

### **3.6. Pengolahan Data dan Analisis**

Data yang diperoleh dari proses pengujian dan karakteristik sensor SMS yaitu berupa daya keluaran serat. Pengolahan daya masukan dan keluaran serat optik SMS akan diketahui rugi daya. Daya keluaran sensor serat optik SMS akibat pengaruh konsentrasi ion magnesium akan diolah untuk mengetahui karakteristik dari sebuah sensor. Hasil olah data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisa.

### **3.7. Penyusunan Laporan**

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Laporan akhir adalah bentuk pertanggungjawaban dari berbagai kegiatan yang telah dilakukan selama proses penelitian berlangsung. Laporan disusun secara runtut sesuai dengan sistematika yang digunakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## BAB 4

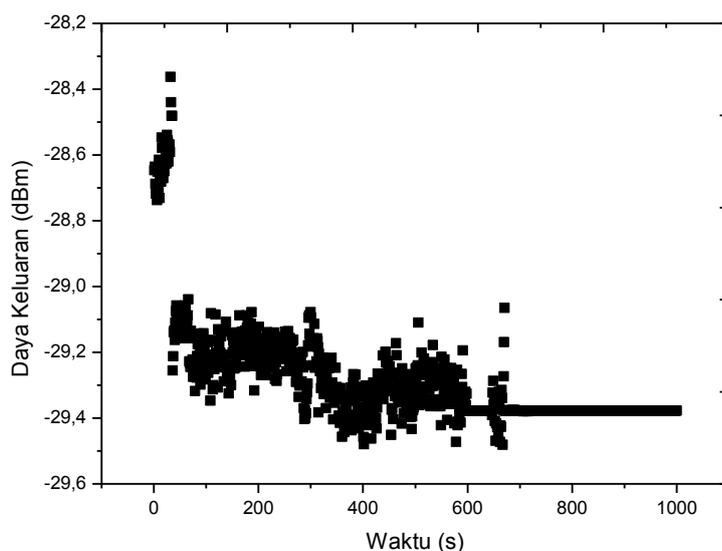
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian berupa hubungan daya keluaran terhadap variasi konsentrasi ion magnesium sehingga dapat dilakukan analisa karakteristik sensor serat optik *Singlemode-Multimode Coreless-Singlemode* (SMS) untuk mendeteksi ion magnesium. Peneliti melakukan perancangan sensor ion magnesium berbasis serat optik SMS dengan tiga konfigurasi sensor. Konfigurasi sensor dilakukan pada serat *multimode coreless* sebagai *probe* pada sensor serat SMS adalah konfigurasi lurus, *U-bent* dan *tapered fiber*.

Pengujian sensor serat optik SMS untuk deteksi ion magnesium dilakukan dengan cara meletakkan sensor didalam wadah yang sudah terisi cairan ion magnesium. Variasi input sampel yang diujikan yaitu ion magnesium dengan konsentrasi 0%-5%. Sensor serat optik SMS terlebih dulu dikarakterisasi pada panjang gelombang 1550 nm dengan daya masukan -6 dBm. Penentuan kualitas sensor serat optik SMS sebelum digunakan yaitu dengan cara mengetahui daya keluaran setelah penyambungan dengan *splicer*. Sumber cahaya yang digunakan yaitu *optical light source* (OLS) dan akan dideteksi oleh sebagai daya keluaran serat optik oleh *optical power meter* (OPM) yang dalam penelitian ini menggunakan THORLABS PM100USB. Prinsip transmisi cahaya dalam serat optik SMS yaitu cahaya yang dihasilkan oleh OLS akan ditransmisikan serat optik singelmode ke serat optik *multimode*. Pada serat *multimode* akan terjadi fenomena *multimode interference* (MMI) yang terjadi karena perbedaan profil masukan cahaya dalam serat optik, dimana serat *singlemode* mempunyai diameter yang kecil dibandingkan serat *multimode*. Sehingga fenomena MMI terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* serat optik. Peristiwa pemantulan yang berulang tersebut menyebabkan interferensi antar moda. Interferensi yang terjadi bisa secara konstruktif maupun destruktif. Serat *multimode* berperan sebagai *probe* sensor. Cahaya yang telah melewati serat *multimode* akan ditansmisikan ke serat *singlemode* dan akan diterima oleh OPM sebagai daya keluaran.

#### 4.1. Analisa Karakteristik Sensor dan Kestabilan Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi Lurus

Pengujian kinerja sensor serat optik SMS dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik serat setelah penyambungan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sumber cahaya laser 1550 nm dengan daya masukan -6 dBm dan diterima oleh OPM sebagai daya keluaran sehingga diketahui rugi daya akibat penyambungan. Serat optik *multimode* yang digunakan sebagai *probe* sensor adalah serat *multimode coreless*. Serat *multimode coreless* tidak memiliki *core* sehingga *cladding* pada serat tersebut berperan sebagai *core* serat. Dalam pengujian ini, udara berperan sebagai *cladding* serat *multimode coreless*. Indeks bias *core* sebesar 1,44 lebih besar dari indeks bias udara yaitu 1 sehingga cahaya akan tetap menjalar disepanjang serat sesuai dengan prinsip *Total Internal Reflection (TIR)*. Berdasarkan hal tersebut seharusnya tidak adanya rugi daya akibat perbedaan indeks bias, akan tetapi rugi daya dapat disebabkan karena penyambungan di kedua titik pada serat optik SMS. Langkah awal sebelum dilakukan pengukuran daya keluaran serat optik, dilakukan terlebih dulu uji kestabilan sumber cahaya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama waktu yang dibutuhkan sumber cahaya supaya dapat digunakan untuk pengukuran daya keluaran serat.



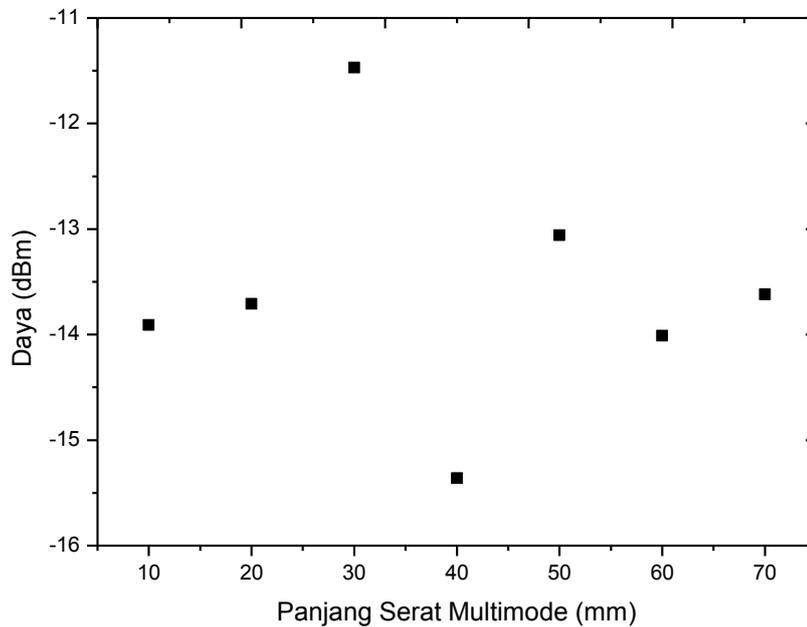
Gambar 4.1 Kestabilan sumber cahaya dengan panjang gelombang 1550 nm

Gambar 4.1 merupakan hasil daya keluaran untuk mengetahui kestabilan sumber cahaya. Pengujian kestabilan sumber cahaya dilakukan pengambilan selama 1000 detik dengan menghubungkan sumber cahaya ke serat optik kemudian daya keluaran dideteksi oleh *optical power meter*. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa sumber cahaya memerlukan waktu selama kurang lebih 11 menit untuk mencapai stabil. Lamanya waktu sumber cahaya mencapai stabil digunakan acuan sebelum sumber cahaya tersebut digunakan. Berikut hasil pengujian daya keluaran serat SMS dengan berbagai variasi panjang serat *multimode* setelah dilakukan penyambungan.

Tabel 4.1 Hasil daya keluaran serat optik SMS setelah penyambungan

Panjang Serat <i>Multimode</i> (mm)	Daya Masukan (dBm)	Daya Keluaran (dBm)	Rugi Daya (dB)
10	-6	-13,91	7,91
20	-6	-13,71	7,71
30	-6	-11,47	5,47
40	-6	-15,36	9,36
50	-6	-13,06	7,06
60	-6	-14,01	8,01
70	-6	-13,62	7,62

Gambar 4.2 menunjukkan plot daya keluaran serat setelah dilakukan penyambungan menjadi serat SMS. Seperti yang telah dijelaskan di bab sebelumnya bahwa besar kecilnya daya akibat penyambungan dipengaruhi beberapa faktor antara lain konstanta propagasi, koefisien eksitasi dan moda terpandu yang berkaitan dengan indeks bias dan panjang serat *multimode*. Panjang serat *multimode* akan mempengaruhi terjadinya *self imaging* pada ujung serat *multimode* yang dihasilkan dari cahaya yang terpandu didalam serat *multimode* merupakan moda hasil interferensi maksimum yang memiliki intensitas tinggi sehingga pada panjang serat *multimode* 30 mm memiliki daya keluaran yang tinggi juga.

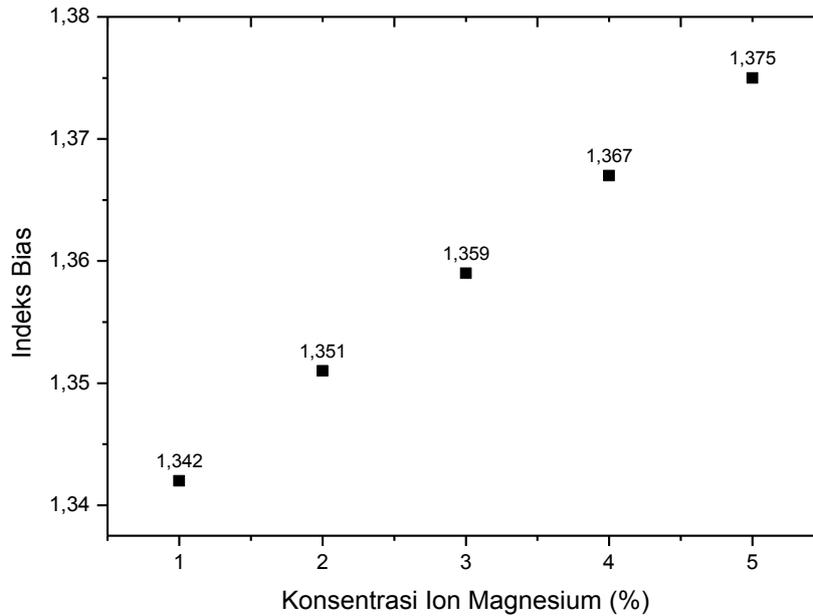


Gambar 4.2 Plot hubungan perubahan daya keluaran serat SMS dengan panjang serat *multimode*

Langkah selanjutnya setelah karakterisasi sensor SMS yaitu pengujian sensor tersebut dengan sampel uji ion magnesium. Serat optik SMS dibuat dengan menyambungkan serat *multimode coreless* dan dua buah serat *singlemode*. Serat *multimode coreless* digunakan karena cladding dari serat tersebut akan digantikan oleh larutan yang akan diuji sehingga terjadi perbedaan indeks bias *core* dan *cladding*. Perbedaan indeks bias *core* dan *cladding* yang akan mempengaruhi daya keluaran serat SMS. Indeks bias ion magnesium diukur menggunakan ABE refraktometer dan indeks bias ditunjukkan pada gambar 4.3. Indeks bias ion magnesium berubah seiring dengan berubahnya konsentrasi ion magnesium.

Pengujian sensor dilakukan terhadap 7 panjang serat *multimode* yang telah dibuat untuk digunakan uji magnesium pada konsentrasi 0% dan 5%. Hal tersebut dilakukan untuk menentukan panjang paling optimal sebagai sensor ion magnesium. Berikut hasil pengujian 7 panjang serat *multimode* terhadap konsentrasi ion magnesium pada tabel 4.2. Setelah diketahui hasil pengujian sensor serat SMS dengan variasi panjang serat *multimode* kemudian diketahui span

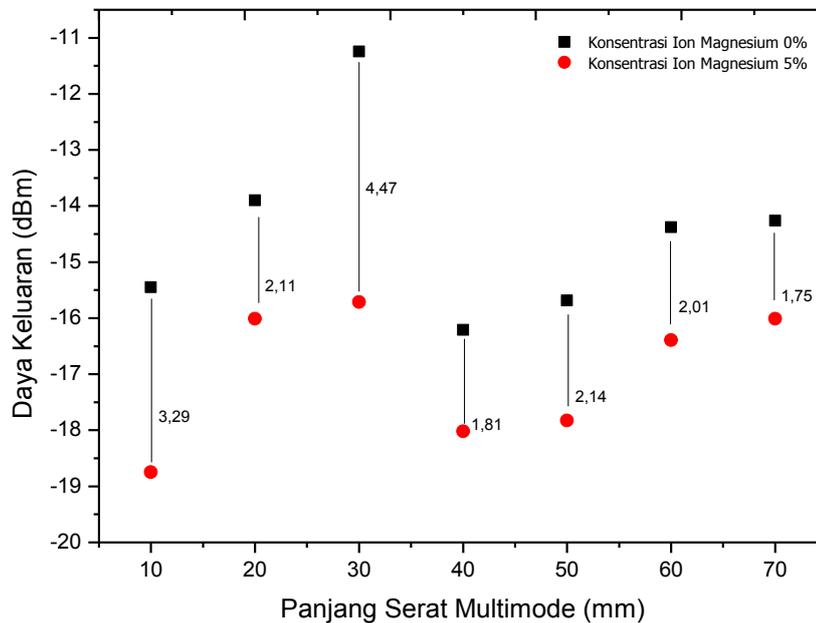
pengukuran. Span pengukuran digunakan untuk menentukan sensitivitas sensor yang tinggi. Sebuah sensor yang mempunyai karakteristik baik akan mempunyai jangkauan yang lebih besar sehingga sensitivitas tinggi dan dapat mengukur perubahan keluaran yang kecil serta mempunyai *error* pengukuran yang kecil.



Gambar 4.3 Hasil pengukuran indeks bias ion magnesium

Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%

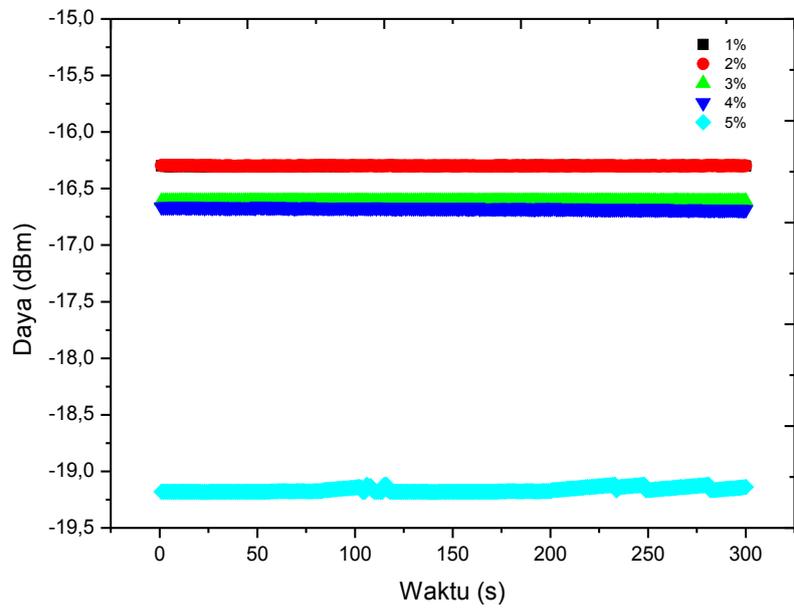
Panjang Serat <i>Multimode</i> (mm)	Daya Keluaran (dBm)		Span pengukuran
	Konsentrasi ion magnesium 0%	Konsentrasi ion magnesium 5%	
10	-15,45	-18,74	3,29
20	-13,9	-16,01	2,11
30	-11,25	-15,72	4,47
40	-16,21	-18,02	1,81
50	-15,68	-17,82	2,14
60	-14,38	-16,39	2,01
70	-14,26	-16,01	1,75



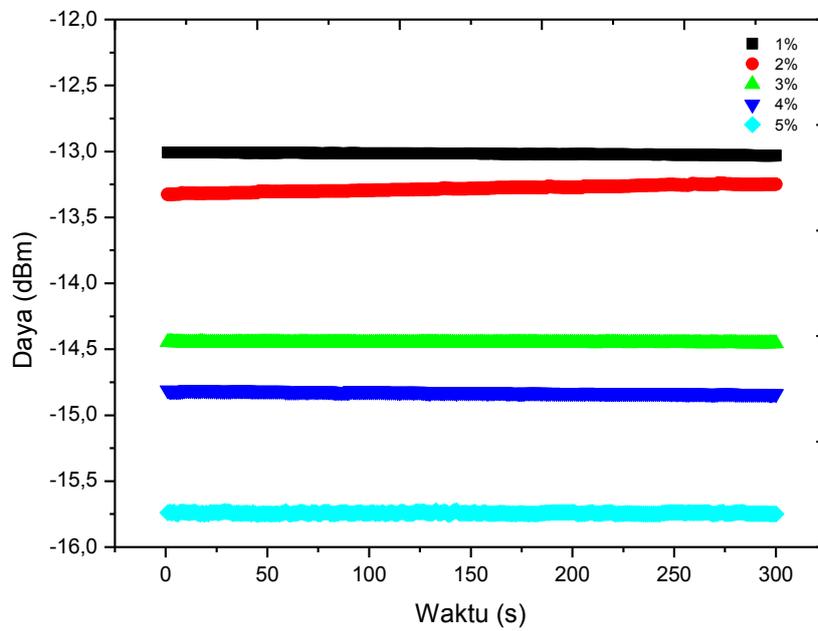
Gambar 4.4 Jangkauan pengukuran sensor serat SMS pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%

Berdasarkan gambar 4.4 diketahui bahwa sensor serat SMS untuk menguji ion magnesium yang paling sensitif pada panjang serat *multimode* 10 mm, 30 mm dan 50 mm. Setelah itu dilakukan pengujian ion magnesium konsentrasi 0% sampai 5% dengan menggunakan 3 variasi panjang serat *multimode* paling optimal. Peletakkan sensor dikondisikan tercelup ion magnesium.

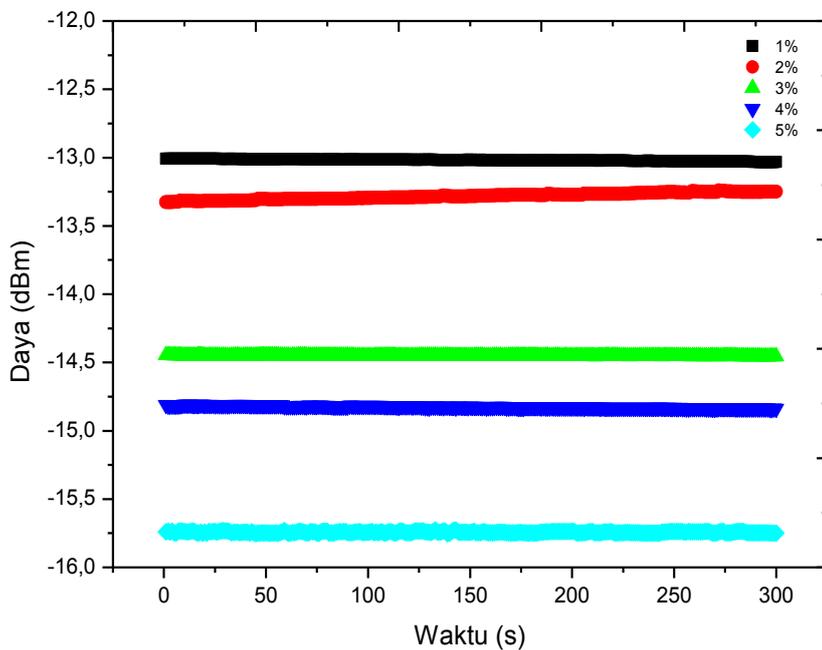
Hasil dari pengujian sensor serat SMS sebagai sensor ion magnesium berupa daya keluaran sensor akibat pengaruh ion magnesium. Perubahan daya keluaran serat optik sangat sensitif dengan perubahan suhu lingkungan sehingga dalam semua pengujian dikondisikan pada suhu 20°C. Berikut adalah hasil pengujian daya keluaran serat optik SMS dengan variasi panjang serat *multimode*. Pengujian dilakukan terhadap stabilitas sensor tiap variasi panjang untuk uji ion magnesium. Pengujian kestabilan pengukuran dilakukan pengambilan 1000 data dengan interval waktu 0,1 sekon. Berikut hasil stabilitas sensor tiap variasi panjang.



(a)



(b)



(c)

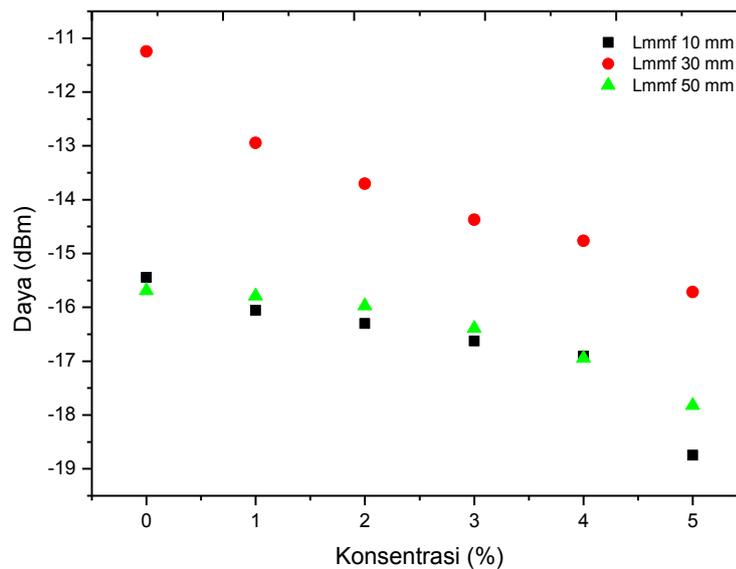
Gambar 4.5 Kestabilan sensor serat SMS (a) panjang serat *multimode* 10 mm, (b) panjang serat *multimode* 30 mm, (c) panjang serat *multimode* 50 mm

Gambar 4.5 menunjukkan stabilitas sensor yang dilakukan pengujian selama 300 detik. Tujuan dilakukan uji stabilitas sensor ini supaya sensor stabil ketika digunakan untuk uji ion magnesium. Kestabilan sensor diperlukan untuk mengetahui bahwa sensor bekerja stabil selama pengukuran. Pengambilan data selama 300 detik diketahui hasil pengukuran yang hampir konstan, sehingga sensor dapat dikategorikan stabil. Respon daya keluaran serat SMS terhadap konsentrasi ion magnesium ditunjukkan pada tabel berikut. Pengujian sensor menggunakan 3 buah variasi sensor seperti yang sudah dijelaskan diatas. Pengujian sensor dilakukan pada variasi konsentrasi ion magnesium 0% – 5%. Pengulangan pengukuran sebanyak 5 kali yang bertujuan untuk mengetahui *error* pengukuran akibat pengulangan. *Error* pengukuran tersebut dapat dijadikan acuan sebagai stabilitas sensor, seberapa stabil sensor bekerja pada waktu pengukuran berbeda. Hasil pengukuran tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Daya keluaran sensor serat SMS pada panjang serat *multimode coreless* 10, 30 dan 50 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)		
	Lmmf 10 mm	Lmmf 30 mm	Lmmf 50 mm
0	-15,446	-11,247	-15,687
1	-16,057	-12,947	-15,791
2	-16,301	-13,701	-15,970
3	-16,623	-14,371	-16,361
4	-16,905	-14,767	-16,944
5	-18,745	-15,716	-17,824

Daya keluaran yang ditunjukkan pada tabel dapat diplot menjadi grafik untuk memudahkan dalam pembacaan. Respon sensor dapat ditunjukkan pada gambar 4.6 yang menunjukkan hubungan daya terhadap konsentrasi ion magnesium. Semakin besar konsentrasi akan menyebabkan semakin kecil daya keluaran serat. Daya keluaran serat yang semakin menurun dikarenakan rugi daya akibat bertambahnya konsentrasi ion magnesium semakin besar.



Gambar 4.6 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS konfigurasi lurus

Daya keluaran serat optik SMS setelah dilakukan pengujian ion magnesium terdapat perbedaan daya dengan daya awal serat optik. Hal ini dikarenakan pada pengujian awal yang berperan sebagai *cladding* serat *multimode* adalah udara. Pada pengujian sensor yang berperan sebagai *cladding* adalah ion magnesium. Perbedaan indeks bias yang menyebabkan perubahan daya keluaran sensor serat SMS. Indeks bias *cladding* serat *multimode coreless* akan berubah seiring dengan bertambahnya konsentrasi ion magnesium. Sensor SMS dengan panjang *multimode* 10 mm memiliki rentang daya keluaran -18,745 sampai -16,057 dBm ; panjang *multimode* 30 mm memiliki rentang sebesar -15,716 sampai -12,948 dBm sedangkan panjang 50 mm memiliki rentang -17,824 sampai -15,791 dBm. Masing-masing sensor SMS dengan panjang *multimode* 10, 30 dan 50 mm memiliki jangkauan sebesar 2,688 ; 2,768 dan 2,033 dBm. Berdasarkan analisis besar jangkauan maka sensor SMS dengan panjang *multimode* 30 mm memiliki sensitivitas tinggi. Karakteristik sensor dapat dilihat pada tabel 4.3. Karakteristik sebuah sensor salah satunya dapat dilihat dari respon linieritas pengukuran. Selain itu, karakteristik sensor dilihat dari *error* pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7. Gambar tersebut juga menunjukkan respon linier dan sensitivitas sebuah sensor pada setiap variasi panjang serat *multimode*. Pada gambar tersebut diketahui sensitivitas sensor masing masing panjang serat *multimode* 10, 30 dan 50 mm adalah 0,2868 dBm/%, 0,6632 dBm/% dan 0,5041 dBm/% dengan nilai linieritas masing masing 99%, 98% dan 93%.

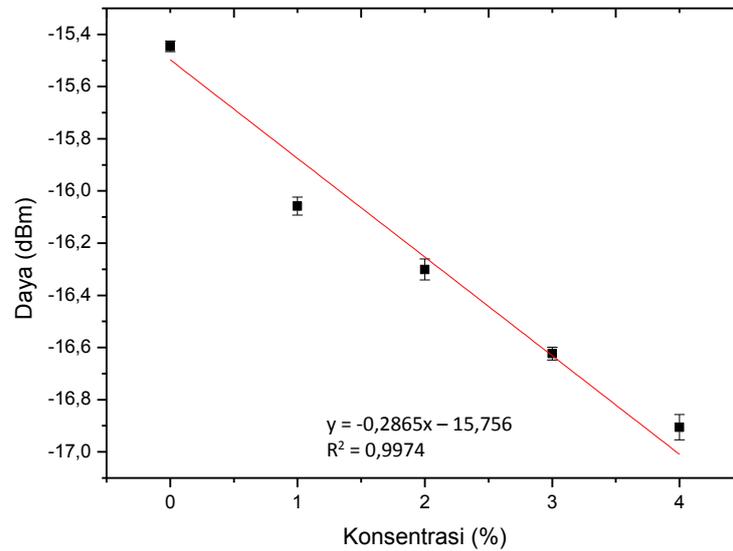
Hasil yang menunjukkan tren daya turun yaitu semakin besar konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran sensor akan turun. Berdasarkan hal tersebut, masing masing sensor memiliki hubungan daya keluaran dengan konsentrasi yang ditunjukkan pada persamaan (4.1) untuk panjang serat *multimode* 10 mm, persamaan (4.2) untuk panjang serat *multimode* 30 mm dan persamaan (4.3) untuk panjang serat *multimode* 50 mm.

$$P_{out} = -0,2865C - 15,756 \quad (4.1)$$

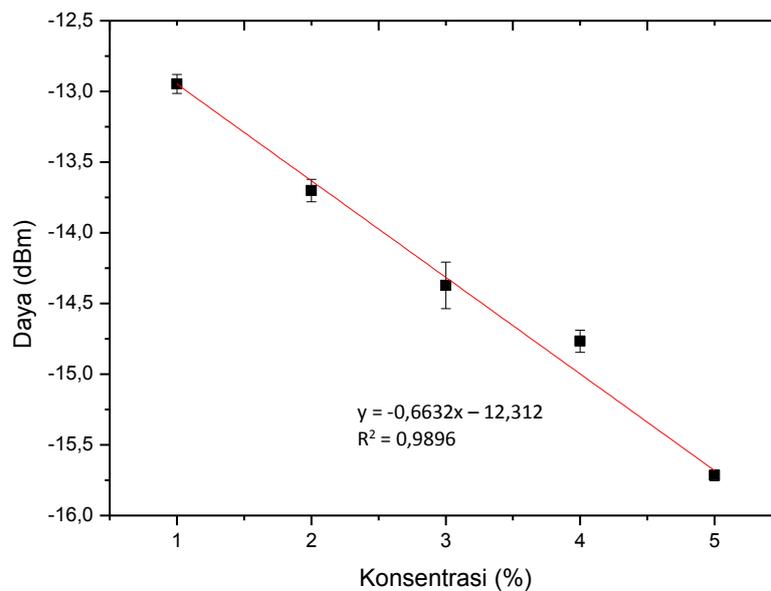
$$P_{out} = -0,6632C - 12,312 \quad (4.2)$$

$$P_{out} = -0,5041C - 15,066 \quad (4.3)$$

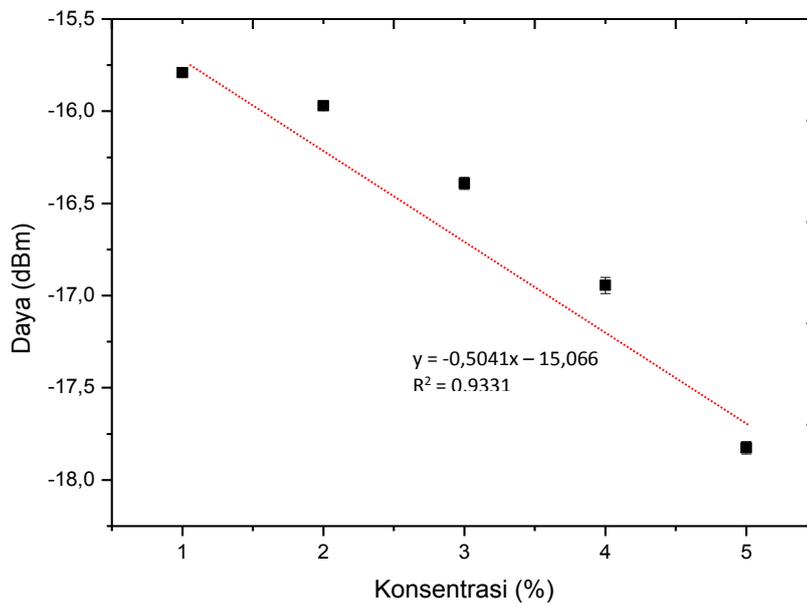
Dimana C adalah konsentrasi ion magnesium. Jika dilakukan pengukuran dengan besar konsentrasi selanjutnya maka dapat diketahui berapa nilai daya keluaran yang didapatkan dari eksperimen sesuai atau tidak dengan pemodelannya.



Gambar 4.7 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat *multimode* 10 mm



Gambar 4.8 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat *multimode* 30 mm



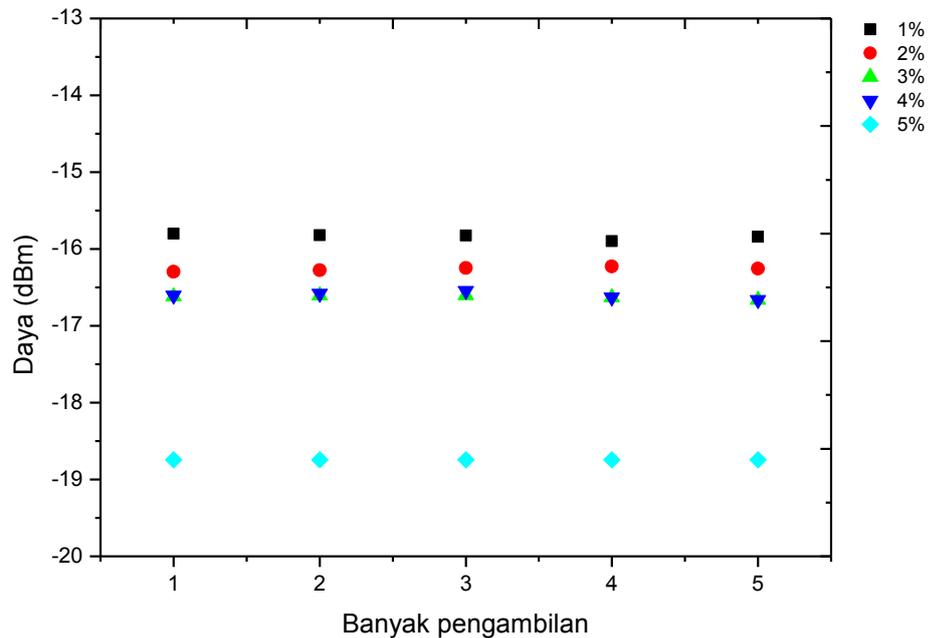
Gambar 4.9 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan panjang serat *multimode* 50 mm

Tabel 4.4 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS konfigurasi lurus

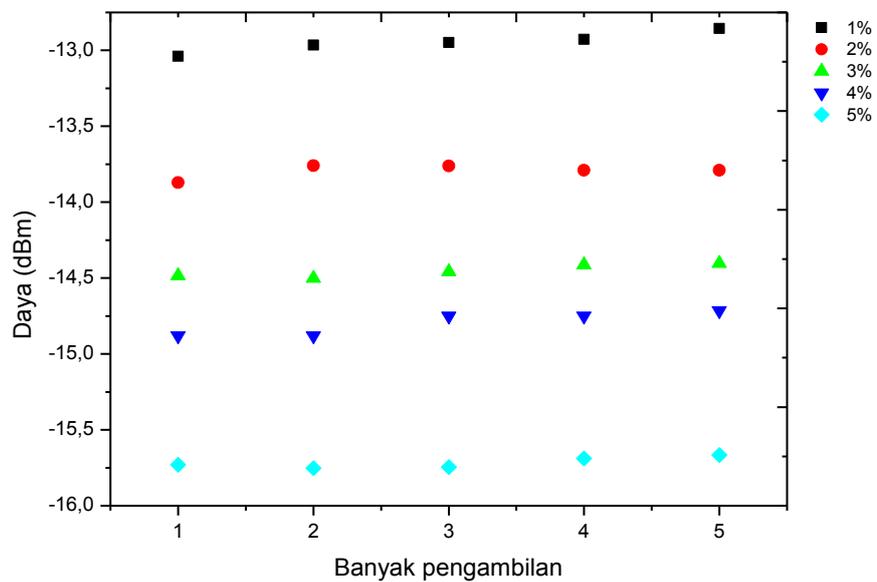
Karakteristik Statis	Panjang Serat <i>Multimode Coreless</i> (mm)		
	10	30	50
Sensitivitas	0,2865 dBm/%	0,6632 dBm/%	0,5041 dBm/%
Range input	0% - 4%	1% - 5%	1% - 5%
Span input	4%	4%	4%
Span output	2,688	2,768	2,033
Linieritas	99%	98%	93%
Standar Deviasi	0,0902	0,0379	0,0437
Resolusi	0,3148	0,0571	0,0867

Tabel 4.4 merupakan karakteristik sensor ion magnesium dengan menggunakan serat SMS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada panjang serat *multimode* 30 mm memiliki sensitivitas yang lebih tinggi daripada panjang lainnya. Selain sensitivitas, standar deviasi dan resolusi pengukuran dengan menggunakan

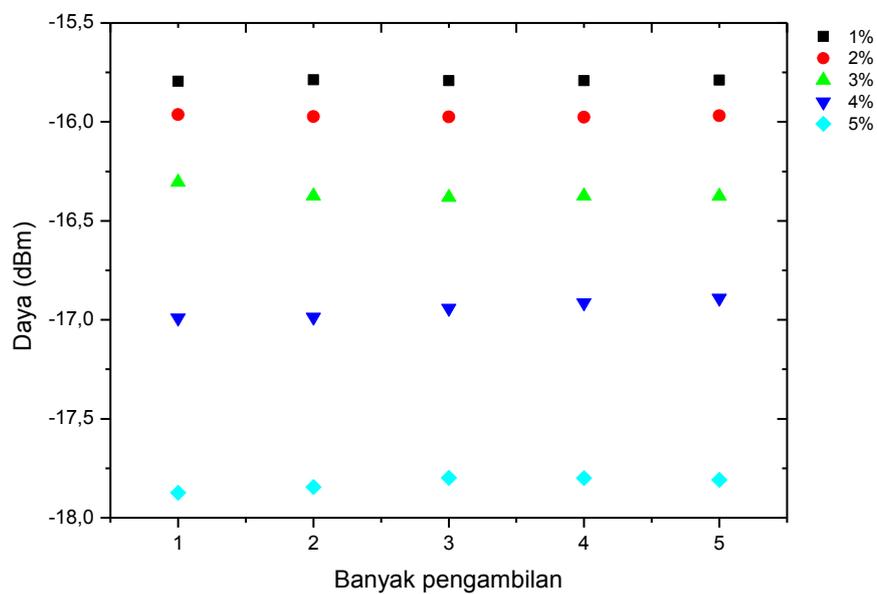
sensor panjang *multimode* 30 mm sangat kecil yang berarti menunjukkan kinerja sensor baik. Rata – rata *error* akibat pengulangan pengukuran masing masing sensor adalah 0,09 ; 0,03 dan 0,04. Hasil tersebut masih dibawah *error* yang diperbolehkan dalam pengukuran yaitu 0,05 sehingga sensor serat SMS dengan panjang serat *multimode* 30 mm dan 50 mm memiliki repeatabilitas yang baik. Akan tetapi sensor serat SMS dengan panjang serat *multimode* 50 mm memiliki sensitivitas dan linieritas yang lebih rendah dibanding sensor serat SMS dengan panjang serat *multimode* 30 mm. Sensor serat SMS dengan panjang serat 30 mm memiliki karakteristik yang jauh lebih baik dibanding panjang lainnya sehingga baik digunakan sebagai sensor ion magnesium. Karakteristik sensor lainnya yaitu presisi dalam pengukuran yang diambil 5 hari pengambilan data setiap konsentrasi yang ditunjukkan pada gambar 4.10.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Tingkat presisi pengukuran setiap variasi panjang *probe* sensor (a) 10 mm, (b) 30 mm dan (c) 50 mm

Salah satu faktor sensor memiliki kinerja yang baik dilihat dari sensitivitas yang tinggi. Pada penelitian ini didapatkan panjang serat *multimode coreless* 30 mm pada serat SMS memiliki sensitivitas yang tinggi. Akan tetapi untuk meningkatkan sensor serat optik dapat dengan menambahkan pelapisan material. Material untuk meningkatkan sensitivitas sensor serat optik ini menggunakan *graphene* dan *carbon nano tube* (CNT). Pada penelitian ini CNT yang digunakan yaitu *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs)

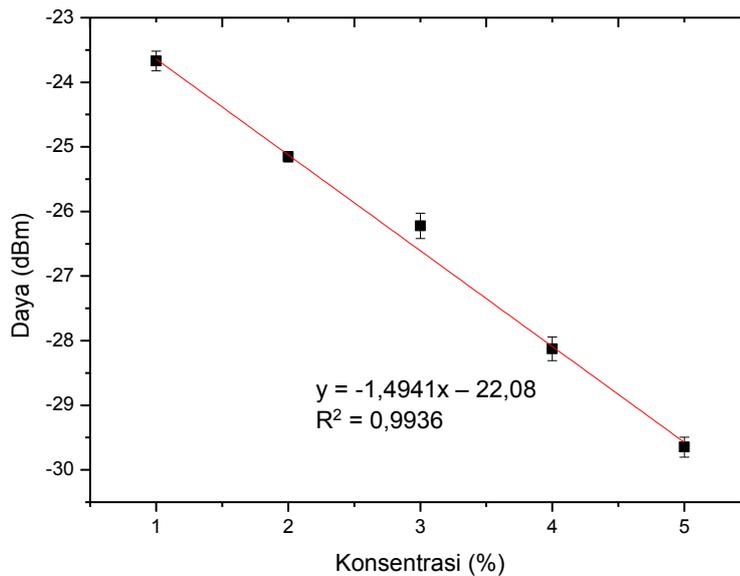
Pada penelitian ini digunakan sensor dengan panjang *multimode* pada serat SMS yang paling sensitif kemudian dilapisi dengan *graphene* dan CNT. Material tersebut menggantikan *cladding* dari serat *multimode coreless* yang mana tidak mempunyai core sehingga *cladding* berperan sebagai *core*. Hasil pengujian sensor ion magnesium dengan serat SMS yang telah dilapisi *graphene* dan MWCNTs ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Daya keluaran sensor serat SMS dengan pelapisan *graphene*

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)	
	Pelapisan <i>graphene</i>	Pelapisan CNT
1	-23,670	-24,4548
2	-25,142	-26,2649
3	-26,223	-29,6977
4	-28,126	-33,5895
5	-29,648	-36,3740

Hubungan daya keluaran dan konsentrasi ion magnesium menggunakan sensor SMS dengan tambahan lapisan *graphene* dan MWCNTs masing masing ditunjukkan oleh gambar 4.11 dan 4.12. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa dengan penambahan *graphene* dan MWCNTs sebagai pengganti *cladding* serat *multimode coreless* maka daya keluaran serat SMS mempunyai jangkauan yang lebih besar dibanding tanpa pelapisan. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa semakin besarnya rugi daya serat SMS yang terlapisi *graphene* akibat konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran serat akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan, *graphene* mempunyai sifat optis yaitu adsorpsi. Mekanisme *sensing* ion magnesium yaitu setelah serat SMS yang terlapisi *graphene* menyerap ion

magnesium yang *disensing* maka indeks bias *graphene* akan berubah seiring bertambahnya konsentrasi ion magnesium. Sehingga hal tersebut dapat menyebabkan daya keluaran serat SMS juga berubah. Berdasarkan hal tersebut, sensor memiliki hubungan daya keluaran dengan konsentrasi yang ditunjukkan pada persamaan 4.4.



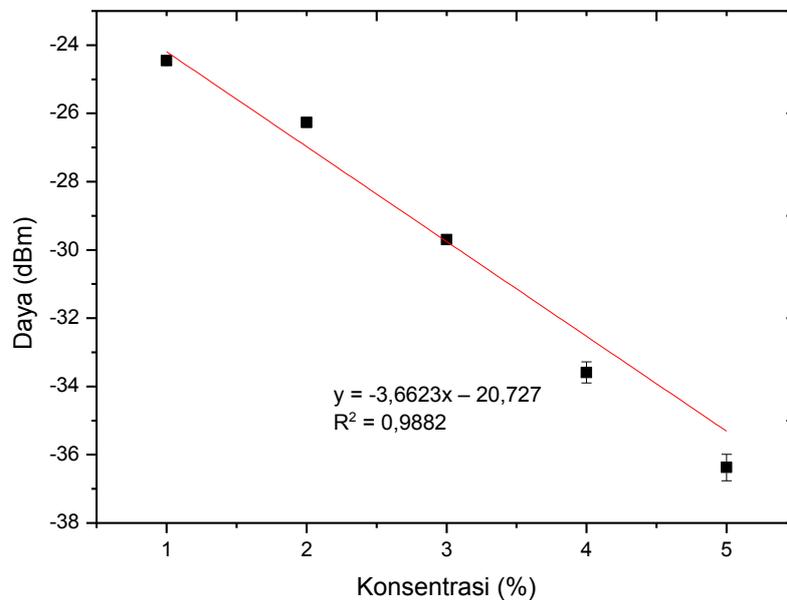
Gambar 4.11 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan penambahan lapisan *graphene*

Karakteristik sensor serat SMS dengan pelapisan *graphene* menunjukkan hasil yang baik dilihat dari gambar 4.11. Karakteristik sensor yang dapat diketahui berdasarkan gambar yaitu linieritas pengukuran, sensitivitas dan *error* pengukuran tiap masing-masing konsentrasi. Jangkauan pengukuran daya keluaran serat optik SMS yaitu 5,978 dBm pada range masukan 1% – 5%. Linieritas dan sensitivitas sensor serat SMS menggunakan pelapisan *graphene* masing masing yaitu 99% dan 1,4941 dBm/%.

$$P_{out} = -1,4941C - 22,08 \quad (4.4)$$

dimana C adalah konsentrasi ion magnesium.

Pengujian sensor ion magnesium menggunakan serat SMS juga dilakukan dengan mengganti material pelapisan *cladding* serat dengan MWCNTs. MWCNTs digunakan seperti halnya dengan *graphene*, karena mempunyai sifat adsorpsi yang sangat kuat sehingga moda yang menjalar sepanjang serat sebagian akan diserap oleh material tersebut. Sehingga daya akan semakin berkurang sepanjang serat yang ditangkap oleh detektor seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.12. Semakin besar konsentrasi ion magnesium maka semakin besar pula rugi daya yang dihasilkan sehingga daya keluaran serat SMS akan turun. Hubungan tersebut dapat didekati dengan persamaan 4.5.



Gambar 4.12 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS dengan penambahan lapisan MWCNTs

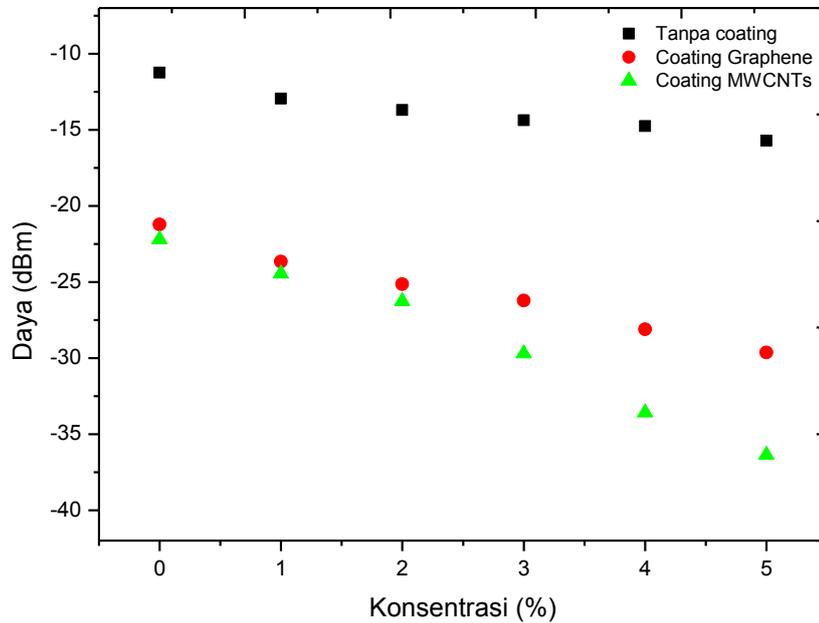
Gambar 4.12 menunjukkan hubungan konsentrasi ion magnesium dengan daya keluaran serat SMS dengan pelapisan MWCNTs. Dari gambar tersebut dapat diketahui karakteristik sebuah sensor antara lain linieritas, sensitivitas, jangkauan pengukuran, range masukan dan *error* pengukuran. Nilai sensitivitas dan linieritas didekati dengan persamaan linieritas seperti ditunjukkan pada gambar. Jangkauan pengukuran pada pengujian serat SMS menggunakan pelapisan MWCNTs adalah

11,919 dBm pada range masukan 1% - 5%. Linieritas dan sensitivitas pengukuran yaitu masing – masing 98% dan 3,6623 dBm/%.

$$P_{out} = -3,6623C - 20,272 \quad (4.5)$$

dimana C adalah konsentrasi ion magnesium.

Perbandingan karakteristik sensor serat SMS konfigurasi lurus dengan menggunakan penambahan lapisan *graphene* dan MWCNTs sebagai pengganti *cladding* serat dapat ditunjukkan pada tabel 4.6. Respon daya keluaran serat sama – sama menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran serat juga semakin kecil akibat dari rugi daya yang semakin besar. Perbedaannya yaitu jangkauan pengukuran menggunakan pelapisan jauh lebih besar dibandingkan hanya menggunakan serat SMS lurus. Perbedaan respon daya tersebut dapat dilihat pada gambar 4.13.



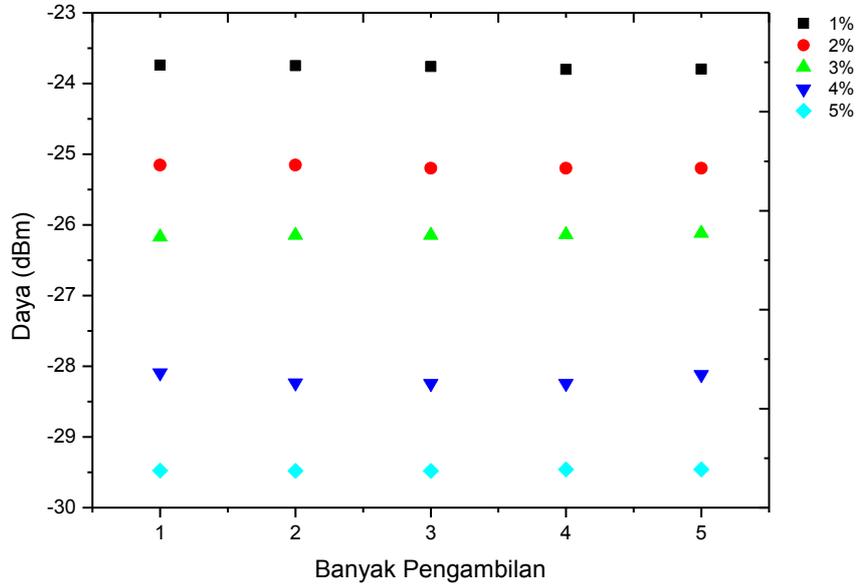
Gambar 4.13 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS tanpa dan dengan penambahan lapisan *graphene* dan MWCNTs

Tabel 4.6 Perbandingan karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS tanpa dan dengan pelapisan *graphene* dan MWCNTs

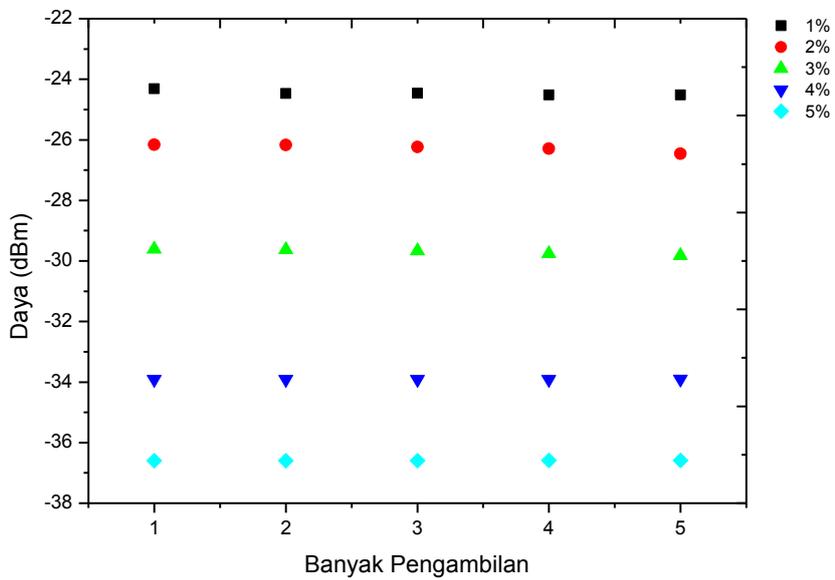
Karakteristik Statis	Panjang Serat <i>Multimode</i> 30 mm		
	Tanpa Coating	Coating <i>Graphene</i>	Coating MWCNTs
Sensitivitas	0,6632 dBm/%	1,4941 dBm/%	3,6623 dBm/%
Range	0% - 5%	0% - 5%	0% - 5%
Span input	5%	5%	5%
Span output	2,768	5,978	11,91
Linieritas	98%	99%	98%
Standar Deviasi	0,0379	0,0803	0,0845
Resolusi	0,0571	0,0537	0,0231

Berdasarkan hasil karakteristik statis diketahui bahwa dengan penambahan pelapisan *graphene* dan MWCNTs pada serat *multimode coreless* dapat meningkatkan sensitivitas. Sensor serat SMS dengan penambahan *graphene* dan MWCNTs memiliki masing – masing jangkauan daya keluaran sebesar 5,978 dan 11,91. Sensitivitas sensor SMS dengan pelapisan *graphene* dan MWCNTs masing – masing 1,4941 dBm/% dan 3,6623 dBm/%. Sensitivitas tersebut sangat jauh lebih tinggi dibandingkan sensor SMS tanpa pelapisan material tersebut. Akan tetapi sensor serat SMS dengan penambahan pelapisan sebagai pengganti *cladding* mempunyai kelemahan yaitu fabrikasi yang lebih rumit dan rentan putus dibandingkan sensor serat SMS konfigurasi lurus. Rentan putus dikarenakan serat SMS yang terlapis material tersebut menjadi lebih kaku. Fabrikasi yang lebih rumit dikarenakan pembuatan lapisan *graphene* maupun MWCNTs melalui tahapan. Pembuatan lapisan *graphene* yaitu lembaran *graphene* ditumbuk kemudian dicampur larutan *Tetrahidrofur* (THF) dengan perbandingan 1 mg *graphene* dengan 1 ml THF. Sedangkan pembuatan lapisan MWCNTs yaitu lembaran MWCNTs ditumbuk kemudian dicampur dengan aseton dengan perbandingan 1 mg MWCNTs dengan 1 ml aseton. Kemudian setelah tercampur dilakukan proses penghilangan butiran-butiran hasil tumbukan material agar dapat tercampur

sempurna. Tingkat presisi pengukuran sensor yang dilakukan sebanyak 5 kali yaitu sebagai berikut.



(a)

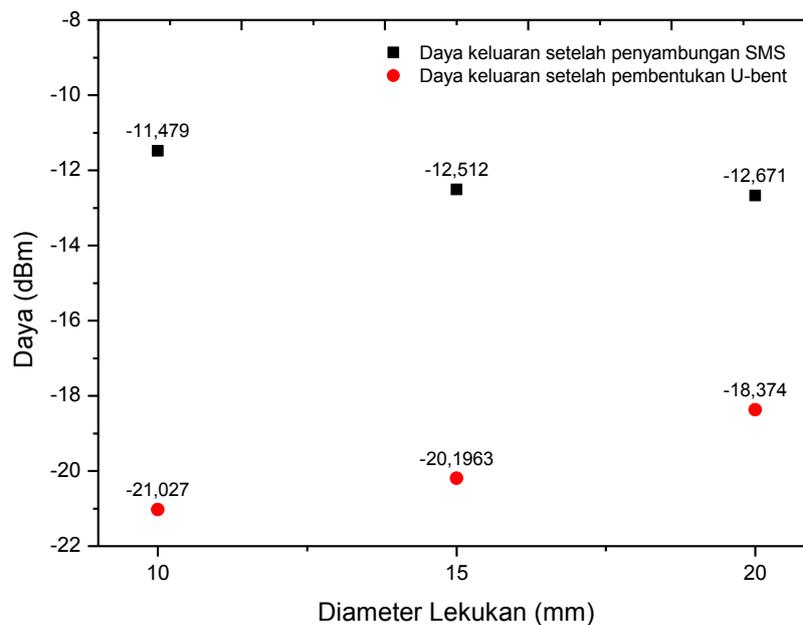


(b)

Gambar 4.14 Tingkat presisi pengukuran sensor serat SMS dengan pelapisan (a) *graphene*, (b) MWCNTs

#### 4.2. Analisa Karakteristik Sensor Serat Optik SMS Konfigurasi U-bent

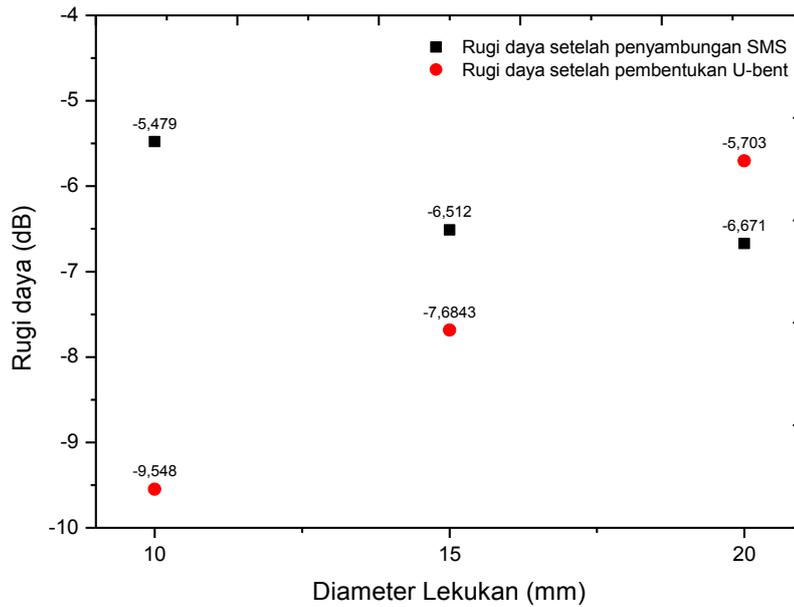
Pengujian sensor ion magnesium juga dilakukan dengan serat SMS U-bent terhadap variasi konsentrasi ion magnesium. Konsentrasi ion magnesium pada pengujian ini yaitu 0% - 5%. Konfigurasi yang telah dirancang ditunjukkan pada gambar 3.9. Terdapat 3 variasi diameter lekukan pada panjang 30 mm serat *multimode coreless*. Variasi tersebut masing masing adalah 10 mm, 15 mm dan 20 mm. Diameter lekukan bentuk U ditentukan dari pembentukan diameter minimal dan maksimal yang dapat dibentuk dari panjang serat *multimode* 30 mm. Gambar 4.15 menunjukkan hasil daya keluaran serat setelah pembentukan serat SMS dan serat SMS U-bent. Pengujian tersebut dilakukan pada medium udara. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa rugi daya akibat penyambungan dan pembentukan U-bent.



Gambar 4.15 Respon daya keluaran serat SMS dan SMS U-bent

Gambar 4.15 menunjukkan hubungan daya keluaran serat dengan diameter lekukan bentuk U. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil diameter lekukan maka daya keluaran akan semakin kecil. Hal tersebut karena pembentukan lekukan pada serat optik dapat mengakibatkan rugi daya serat semakin besar. Hasil

tersebut menunjukkan prinsip teori rugi daya akibat *macrobending* atau *microbending*. Pada penelitian ini, serat SMS *U-bent* dikategorikan sebagai *macrobending* karena pembentukan diameter lekukan lebih besar daripada jari jari serat optik. Pada setiap penyambungan serat SMS dan pembentukan serat SMS *U-bent* didapatkan rugi daya serat yang ditunjukkan pada gambar 4.16.

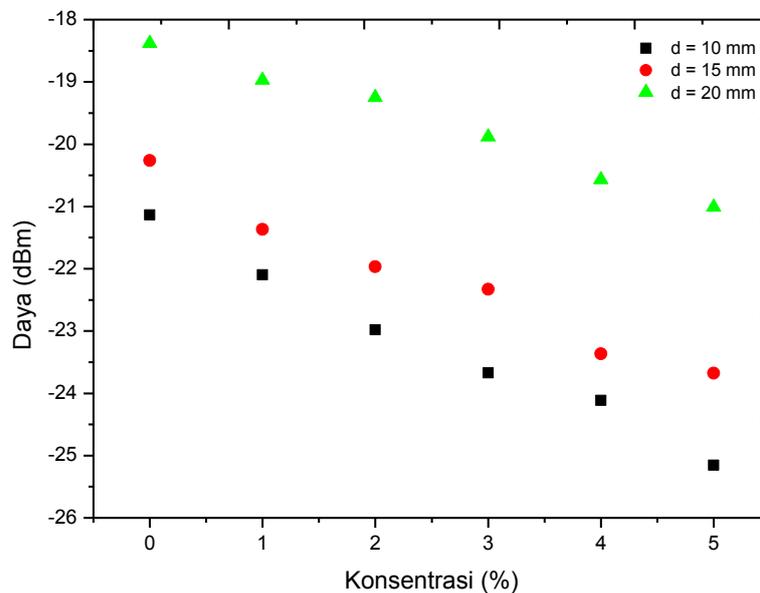


Gambar 4.16 Rugi daya keluaran serat SMS dan SMS *U-bent*

Gambar 4.16 merupakan rugi daya serat optik akibat penyambungan dan pembentukan diameter lekukan. Titik hitam menunjukkan rugi daya akibat penyambungan serat SMS dan diketahui bahwa serat SMS dengan panjang 30 mm yang dibentuk diameter lekukan 10 mm memiliki rugi daya yang paling besar. Rugi daya serat SMS dapat dihitung dari daya keluaran serat SMS dikurangi daya masukan sebesar -6 dBm. Sedangkan titik merah menunjukkan rugi daya akibat pembentukan *U-bent*. Semakin kecil diameter memiliki rugi daya yang semakin besar sehingga daya keluaran yang dihasilkan semakin kecil.

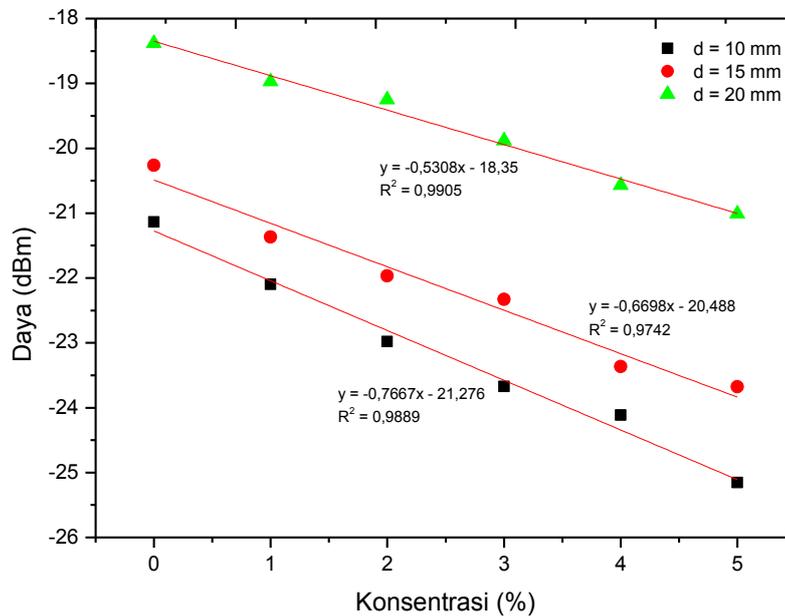
Rugi daya akibat pembentukan lekukan menyebabkan rugi daya lebih besar. Hal tersebut dikarenakan adanya kebocoran medan *evanescent* pada daerah *cladding* akan lebih besar dibandingkan sebelumnya. Ketika melalui lekukan, ekor

medan akan bocor lebih panjang dan pada jarak tertentu dari pusat *core*, sehingga energi akan hilang dan itulah yang menyebabkan rugi daya menjadi lebih besar dari pada fiber tanpa bengkokan. Telah dilakukan pengujian respon sensor SMS *U-bent* terhadap variasi ion magnesium yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Pada masing masing diameter lekukan menunjukkan tren daya keluaran yang semakin besar konsentrasi ion magnesium akan semakin kecil daya keluaran sensor serat SMS *U-bent*.



Gambar 4.17 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS *U-bent*

Sebuah sensor memiliki karakteristik yang menunjukkan kinerja sensor tersebut seperti yang telah dijelaskan di bab II. Sensor memiliki karakteristik statis antara lain span, range pengukuran, sensitivitas, linieritas, resolusi dan *error* pengukuran. Karakteristik statis sebuah sensor tersebut diketahui melalui beberapa pendekatan. Sensitivitas sensor diketahui dengan membandingkan perubahan nilai *output* dengan *input* sensor. *Error* pengukuran menunjukkan seberapa baik sensor digunakan untuk pengukuran berulang. Perbandingan *error* pengukuran dengan sensitivitas didapatkan nilai resolusi sensor. Karakteristik sensor dapat didekati dengan regresi linier seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18



Gambar 4.18 Linieritas sensor serat SMS *U-bent* terhadap konsentrasi ion magnesium

Hasil pengujian tersebut dilakukan pendekatan regresi linier. Hal ini dilakukan dengan cara meregresikan titik-titik yang memiliki kecenderungan membentuk garis lurus, sehingga tidak semua titik hasil pengukuran didekati dengan persamaan garis lurus. Nilai kemiringan garis menunjukkan nilai sensitivitas masing-masing sensor.

Tabel 4.7 merupakan tabel karakteristik sensor ion magnesium pada masing masing variasi diameter lekukan. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa dengan panjang serat *multimode coreless* yang dibentuk tiga variasi *U-bent* yaitu diameter lekukan 10 mm, 15 mm dan 20 mm didapatkan diameter 10 mm memiliki sensitivitas paling tinggi yaitu sebesar 0,7667 dBm/%. Variasi sensor ion magnesium berbasis *U-bent* pada diameter lekukan 15 mm dan 20 mm masing – masing memiliki sensitivitas 0,6698 dBm/% dan 0,5308 dBm/% pada rentang pengukuran 0% - 5%.. Jangkauan pengukuran sensor pada masing masing variasi diameter lekukan 10, 15 dan 20 mm yaitu 4,018 dBm, 3,418 dBm dan 2,631 dBm. Selain sensitivitas, karakteristik sensor ditunjukkan dengan adanya resolusi

pengukuran. Resolusi pengukuran pada masing masing variasi diameter lekukan 10, 15 dan 20 mm yaitu 0,016 ; 0,014 dan 0,018. Resolusi merupakan seberapa kecil respon suatu sensor akibat adanya perubahan masukan sensor. *Error* akibat pengulangan pengukuran didapatkan masing – masing variasi sensor yaitu 0,012 ; 0,008 dan 0,01. Hasil tersebut menunjukkan *error* pengukuran masih dibawah standar yang diperbolehkan yaitu 0,05. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor serat SMS dengan konfigurasi *U-bent* dengan variasi diameter lekukan dapat digunakan sebagai sensor ion magnesium.

Tabel 4.7 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS *U-bent*

Karakteristik Statis	Diameter Serat <i>Multimode</i> (mm)		
	10	15	20
Sensitivitas	0,7667 dBm/%	0,6698 dBm/%	0,5308 dBm/%
Range input	0% - 5%	0% - 5%	0% - 5%
Span input	5%	5%	5%
Span output	4,018	3,418	2,631
Linieritas	98%	97%	98%
Standar Deviasi	0,012	0,008	0,01
Resolusi	0,016	0,014	0,018

Sensor serat SMS memiliki hubungan antara daya keluaran dengan konsentrasi ion magnesium yang ditunjukkan masing – masing dengan persamaan (4.6), (4.7) dan (4.8) untuk untuk diameter lekukan panjang serat *multimode* 10, 15 dan 20 mm.

$$P_{out} = -0,7667C - 21,276 \quad (4.6)$$

$$P_{out} = -0,6698C - 20,488 \quad (4.7)$$

$$P_{out} = -0,5308C - 18,35 \quad (4.8)$$

Dimana C adalah konsentrasi ion magnesium. Jika dilakukan pengukuran dengan besar konsentrasi selanjutnya maka dapat diketahui berapa nilai daya keluaran yang didapatkan dari eksperimen sesuai atau tidak dengan pemodelannya.

#### 4.3. Analisa Karakteristik Sensor dan Kestabilan Sensor Serat Optik SMS- *Tapered Fiber*

Pengujian sensor ion magnesium menggunakan sensor serat SMS-*tapered fiber*. Serat *multimode* dengan panjang yang paling sensitif di konfigurasi lurus yaitu 30 mm dibuat menjadi *tapered fiber*. Pembuatan konfigurasi *tapered fiber* ini menggunakan larutan *Hydrofluoric* (HF). Larutan HF yang bersifat asam dapat berperan untuk mengurangi diameter serat optik. Serat SMS dibuat sebanyak 4 buah karena akan divariasikan waktu pencelupan kedalam larutan HF masing – masing 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit. Pada perancangan ini yaitu membuat serat SMS sebanyak 4 buah. Masing – masing sambungan serat SMS tersebut dicelupkan kedalam larutan HF sesuai dengan waktu yang ditentukan. Langkah selanjutnya mengukur daya keluaran serat SMS setelah penyambungan. Berikut pengukuran daya keluaran serat SMS.

Tabel 4.8 Pengukuran daya keluaran serat SMS setelah penyambungan

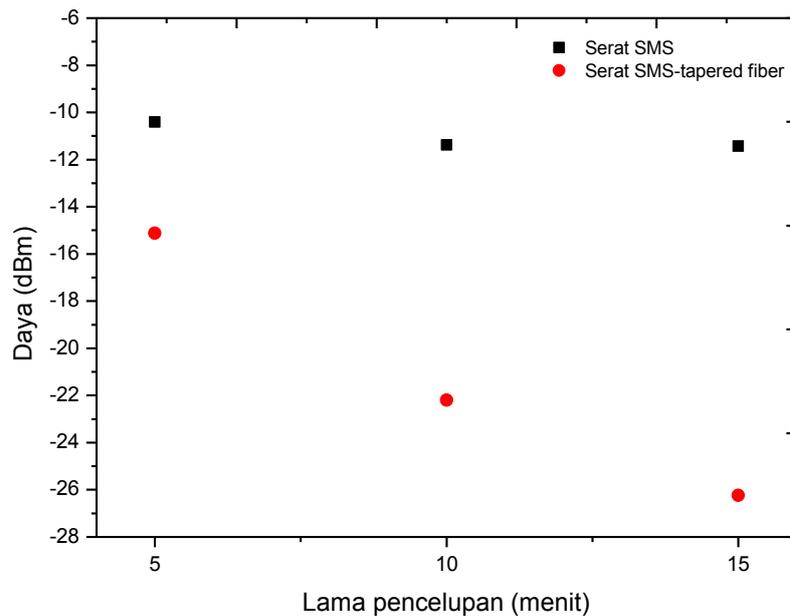
Panjang serat <i>multimode</i> (mm)	Daya keluaran serat SMS (dBm)
30 mm	-10,412
	-11,381
	-11,435
	-11,796

Daya keluaran serat SMS dibuat hampir sama karena akan dicelupkan ke larutan HF sehingga dapat dikarakteristik hubungan waktu pencelupan dan daya keluaran. Lamanya waktu pencelupan akan berpengaruh terhadap perubahan diameter serat *multimode* pada serat SMS sehingga mempengaruhi daya keluaran serat. Dalam hal ini juga akan diketahui rugi daya serat akibat lama pencelupan. Pada lama waktu pencelupan kedalam larutan HF selama 20 menit, serat SMS mengalami putus didalam larutan. Hal ini dapat diketahui bahwa perubahan diameter ketika dicelupkan selama 20 menit sangat besar sehingga mengalami putus sebelum diketahui perubahan dayanya. Berikut perubahan daya keluaran serat SMS setelah terbentuk *tapered fiber* ditunjukkan pada tabel 4.9 dan gambar 4.19.

Rugi daya serat SMS akibat pembentukan serat SMS-*tapered fiber* ditunjukkan pada gambar 4.19.

Tabel 4.9 Daya keluaran dan rugi daya serat SMS-*tapered fiber*

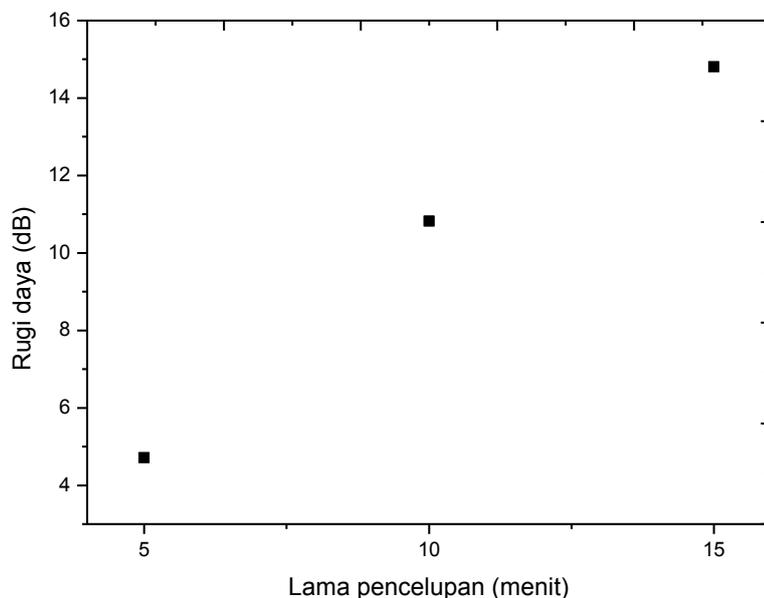
Lamanya waktu pencelupan (menit)	Daya keluaran (dBm)		Rugi daya (dB)
	Serat SMS	Serat SMS- <i>tapered fiber</i>	
5	-10,412	-15,127	-4,715
10	-11,381	-22,205	-10,824
15	-11,435	-26,240	-14,805



Gambar 4.19 Daya keluaran serat SMS dan serat SMS-*tapered fiber*

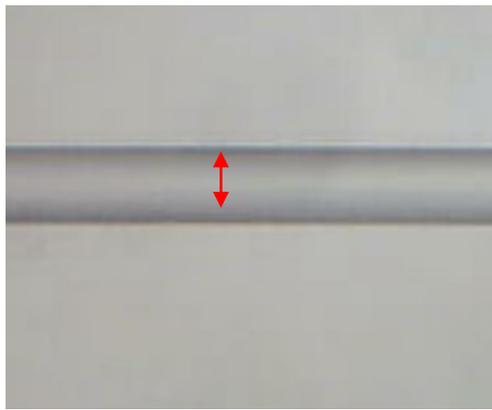
Gambar 4.19 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pencelupan maka daya akan mengalami penurunan. Sedangkan rugi daya serat SMS semakin besar ketika semakin lama pencelupan serat kedalam larutan HF yang ditunjukkan gambar 4.20. Berkurangnya daya serat akibat pembentukan *tapered fiber*

disebabkan karena banyaknya loss akibat perubahan diameter serat. *Tapered fiber* bekerja berdasarkan prinsip medan evanescent. Pada serat optik yang dibuat *taper* akan berubah diameter serat tanpa merubah nilai indeks bias.

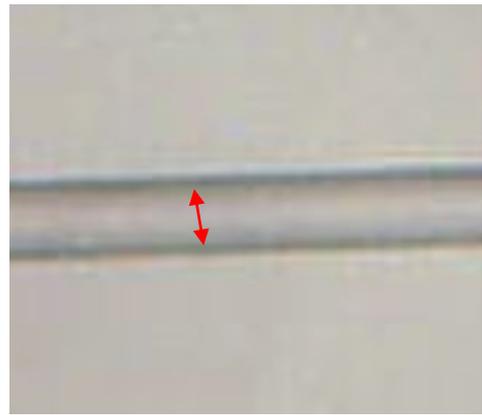


Gambar 4.20 Rugi daya serat SMS akibat pembentukan serat SMS-*tapered fiber*

Langkah selanjutnya setelah melakukan pengujian daya keluaran dan rugi daya adalah mengetahui perubahan diameter akibat pencelupan didalam larutan HF. Setelah dilakukan pengukuran daya, serat diletakkan pada mikroskop Olympus untuk mengetahui gambar perubahan diameter serat akibat pencelupan. Diameter awal serat optik *multimode* yaitu 125  $\mu\text{m}$  dan setelah dicelupkan kedalam larutan HF selama 5, 10, 15 dan 20 menit didapatkan hasil gambar sebagai berikut. Berikut hasil gambar diameter di mikroskop dengan pembesaran 10X/0,25 yang dapat dilihat pada gambar 4.21. Gambar 4.21 merupakan hasil mikroskop tiap variasi waktu pencelupan. Dari gambar tersebut dihitung perubahan diameter dengan menggunakan perbandingan pembesaran di mikroskop. Hubungan perubahan diameter serat SMS terhadap lama waktu pencelupan ditunjukkan pada gambar 4.22.



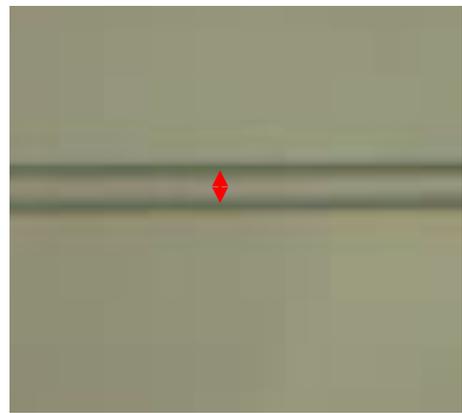
(a)



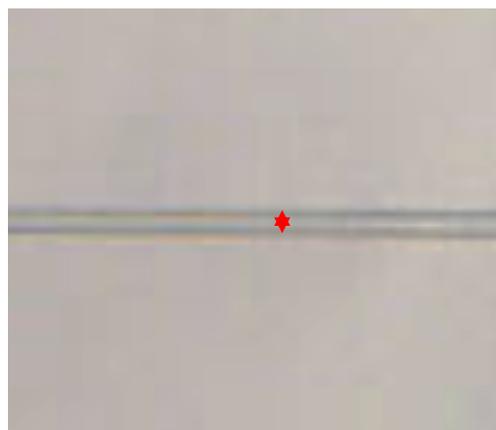
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.21 Hasil mikroskop perubahan diameter terhadap lama waktu pencelupan serat ke larutan HF (a) serat optik diameter 125  $\mu\text{m}$ , (b) 5 menit, (c) 10 menit, (d) 15 menit dan (e) 20 menit

Gambar 4.23 merupakan hubungan waktu pencelupan dengan perubahan diameter serat SMS yang telah dicelupkan kedalam larutan HF pada variasi waktu tertentu. Perubahan diameter serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

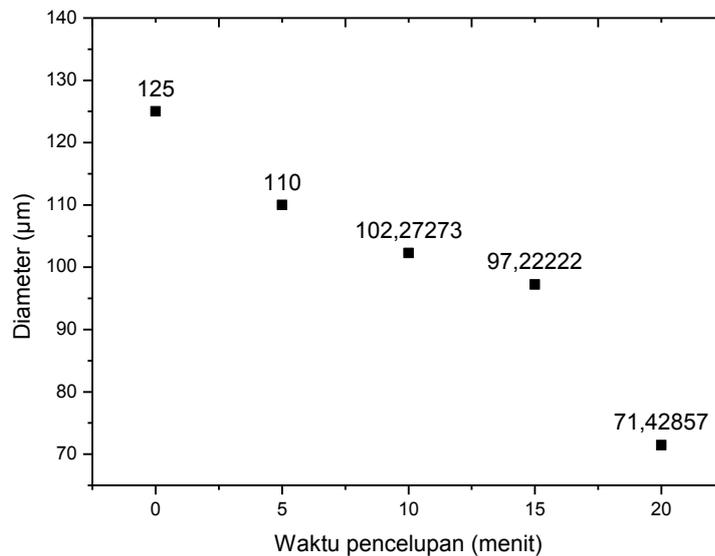
$$\text{Viewfield Diameter} = \frac{FN}{M(O)} \times M(T) \quad (4.9)$$

dimana

$FN$  = field number

$M(O)$  = objective magnification

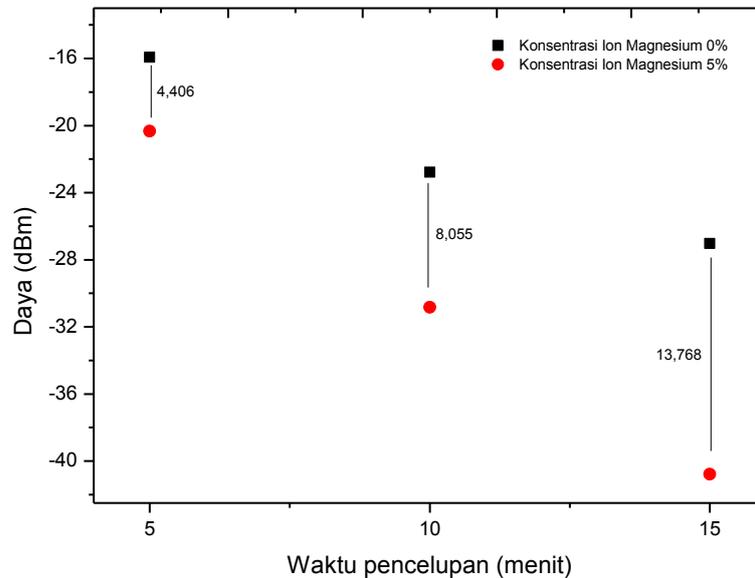
$M(T)$  = tube lens magnification



Gambar 4.22 Hubungan lama waktu pencelupan serat kedalam larutan HF terhadap perubahan diameter

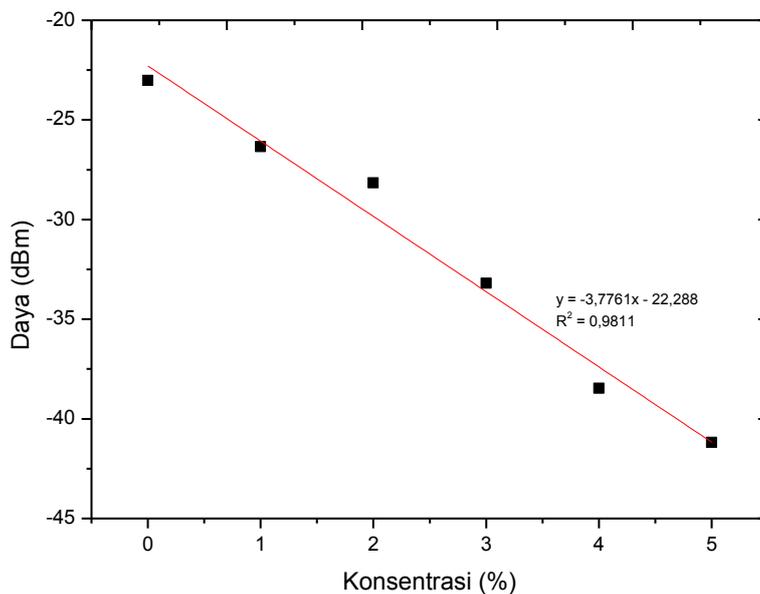
Langkah selanjutnya menguji sensor serat SMS setiap variasi waktu pencelupan terhadap konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui karakterisasi sensor serat SMS dengan variasi waktu pencelupan berapa yang paling sensitif. Hasil pengujian sensor serat SMS-*tapered fiber* ditunjukkan pada gambar 4.23. Berdasarkan gambar tersebut bahwa pada waktu pencelupan serat ke larutan HF selama 15 menit menunjukkan span pengukuran 0% dan 5% yang tinggi dibanding waktu pencelupan 5 menit dan 10

menit. Hal tersebut digunakan dasar peneliti untuk melakukan uji ion magnesium menggunakan sensor serat SMS-*tapered fiber* yang telah dibuat dari mencelupkan serat kedalam larutan HF selama 15 menit.



Gambar 4.23 Jangkauan pengukuran sensor serat SMS-*tapered fiber* pada konsentrasi ion magnesium 0% dan 5%

Pengujian ion magnesium dengan menggunakan sensor serat SMS-*tapered fiber* dilakukan hanya pada variasi pencelupan serat kedalam larutan HF selama 15 menit. Pemilihan waktu pencelupan 15 menit didasarkan pada jangkauan pengukuran juga berdasarkan perubahan daya yang besar dibandingkan lainnya. Sebuah sensor serat optik memanfaatkan rugi daya serat, maka digunakanlah rugi daya yang besar yaitu pada variasi waktu pencelupan 15 menit. Pengukuran diambil 5 kali data setiap konsentrasi dari 0% - 5%. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui *error* akibat pengulangan pengukuran. *Error* pengukuran menunjukkan seberapa stabil sebuah sensor digunakan untuk pengukuran beda waktu. Hasil pengujian sensor ion magnesium menggunakan serat SMS-*tapered fiber* ditunjukkan pada gambar 4.24. Gambar 4.24 merupakan hubungan konsentrasi ion magnesium dengan daya keluaran sensor serat SMS-*tapered fiber*. Bertambahnya konsentrasi ion magnesium akan mengakibatkan berkurangnya daya serat SMS



Gambar 4.24 Grafik hubungan konsentrasi ion magnesium terhadap daya keluaran serat SMS-*tapered fiber*

Tabel 4.10 merupakan tabel karakteristik sensor ion magnesium menggunakan serat SMS-*tapered fiber* didapatkan bahwa sensor memiliki sensitivitas sebesar 3,7761 dBm/% pada rentang pengukuran 0% - 5%. Resolusi pengukuran sebesar 0,016. Resolusi merupakan seberapa kecil respon suatu sensor akibat adanya perubahan masukan sensor. *Error* akibat pengulangan pengukuran 0,016.

Tabel 4.10 Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS-*tapered fiber*

Karakteristik Statis	Sensor serat SMS- <i>tapered fiber</i>
Sensitivitas	3,7761 dBm/%
Range input	0% - 5%
Span input	5%
Span output	14,83
Linieritas	98%
Standar Deviasi	0,012
Resolusi	0,016

#### 4.4. Karakteristik Sensor Serat SMS sebagai Sensor Ion Magnesium

Pengujian konsentrasi ion magnesium 0% - 5% dilakukan menggunakan sensor serat SMS konfigurasi lurus, penambahan lapisan *cladding* dengan *graphene* dan CNT, serat SMS *U-bent* dan serat SMS-*tapered fiber*. Pengujian sensor serat SMS konfigurasi lurus dengan panjang serat *multimode* 10, 30 dan 50 mm menunjukkan bahwa sensor serat SMS dengan panjang serat *multimode* 30 mm mempunyai karakteristik sensor yang baik. Hasil pengujian daya keluaran menunjukkan bahwa pada panjang 30 mm memiliki rugi daya yang paling kecil dibandingkan panjang lainnya. Besar kecilnya daya pada serat SMS salah satunya bergantung pada panjang dari serat *multimode*. Hal tersebut karena terjadi *self imaging* pada ujung serat *multimode*. Panjang serat *multimode* akan mempengaruhi terjadinya *self imaging* pada ujung serat *multimode* yang dihasilkan dari cahaya yang terpandu didalam serat *multimode* merupakan moda hasil interferensi maksimum yang memiliki intensitas tinggi. Karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS konfigurasi mempunyai sensitivitas 0,6632 dBm/% dengan resolusi 0,05 dBm. Sedangkan hasil pengujian dengan sensor serat SMS yang ditambahkan lapisan *graphene* dan CNT sebagai pengganti *cladding* didapatkan hasil sensitivitas yang lebih besar dibanding tanpa pelapisan. *Graphene* dan CNT mempunyai sifat adsorpsi yang secara teoritis menunjukkan bahwa lapisan *graphene* menyerap lebih banyak mode TE cahaya daripada mode TM dalam peristiwa *total internal reflection*. Oleh karena itu, resolusi dan sensitivitas sangat bisa ditingkatkan dengan mengukur perbedaan intensitas cahaya yang dipantulkan dari mode TM dan mode TE. *Graphene* dan CNT akan mengikat ion magnesium yang mempunyai indeks bias berbeda setiap konsentrasinya. Indeks bias *graphene* maupun CNT akan berubah seiring dengan naiknya konsentrasi ion magnesium sehingga daya yang dihasilkan akan berubah. Rugi daya yang dihasilkan semakin besar dikarenakan *graphene* maupun CNT akan lebih kuat mengikat ketika terjadi perbedaan indeks bias *cladding* dan *core* yang cukup besar.

Berdasarkan pengujian sensor ion magnesium menggunakan sensor serat SMS *U-bent* dapat dikatakan lebih sensitif dibanding konfigurasi serat SMS lurus. Sensitivitas sensor serat SMS konfigurasi lurus dan *U-bent* masing – masing 0,6632 dBm/% dan 0,7667 dBm/% pada range pengukuran 0 – 5%. *Error* akibat

pengulangan pengukuran masing – masing 0,037 dan 0,012 dengan resolusi 0,05 dan 0,01 dBm. Dilihat dari berbagai karakteristik sensor, serat SMS *U-bent* memiliki karakteristik jauh lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan sensor serat SMS *U-bent* bekerja berdasarkan medan evanescent yang dihasilkan dari fenomena makrobending serat. Makrobending pada serat SMS *U-bent* akan mempengaruhi jumlah moda yang terpandu sepanjang serat *multimode*. Semakin kecil diameter lekukan maka jumlah moda yang terpandu semakin sedikit, begitu sebaliknya. Medan evanescent lebih sensitif terhadap larutan maupun indeks bias yang akan mempengaruhi daya keluaran serat SMS. Selain itu, pola *self imaging* yang dipengaruhi oleh panjang serat *multimode* juga berperan dalam proses *sensing* ion magnesium. Kelengkungan serat dapat mempengaruhi daya keluaran serat yang terukur maupun rugi daya serat. Hal tersebut dimanfaatkan untuk proses *sensing* ion magnesium. Berdasarkan *total internal reflection*, cahaya mengalami pemantulan sempurna dan tetap terpandu didalam *core*. Akan tetapi ketika serat dibengkokkan ada sebagian kecil berkas cahaya yang menjalar dalam *core* akan menembus perbatasan antara *core* dan *cladding* serat. Fenomena inilah yang disebut medan evanescent. Serat SMS *U-bent* akan mampu memperkecil sudut datang berkas sehingga medan evanescent lebih besar dan akan mampu meningkatkan sensitivitas sensor. Sensor serat optik akan bekerja pada moda yang bocor akibat bengkokkan pada serat. Berkas cahaya yang mengenai perbatasan *core* dan menembus dinding *cladding* disebut moda yang bocor sehingga daya akan berkurang. Berkurangnya daya tersebut disebabkan oleh absorpsi dinding *cladding*. Prinsip yang dapat diimplementasikan pada sensor serat SMS *U-bent* adalah rugi daya serat akibat medan evanescent ketika proses pencelupan serat ke dalam ion magnesium dengan perubahan kenaikan indeks bias seiring dengan kenaikan konsentrasi ion magnesium. Sehingga dari hasil pengujian didapatkan semakin besar ion magnesium akan mengakibatkan rugi daya serat semakin besar dan daya keluaran serat semakin kecil.

Pengujian konsentrasi magnesium menggunakan sensor serat SMS-*Tapered fiber*. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa sensor serat SMS-*tapered fiber* mempunyai karakteristik sensor yang jauh lebih baik dibanding tiga konfigurasi sensor serat SMS lainnya. Sensor serat SMS-*Tapered fiber* mempunyai

sensitivitas 3,7761 dBm/% pada rentang 0% - 5% dengan resolusi 0,016 dBm. *Tapered fiber* bekerja berdasarkan prinsip medan evanescent. Pada *tapered fiber*, medan bocor diakibatkan karena berubahnya diameter serat. Salah satu yang menyebabkan berkurangnya daya serat yaitu diameter serat. *Tapered fiber* pada struktur serat SMS dilakukan pada serat *multimode*. Medan evanescent lebih sensitif terhadap larutan maupun indeks bias yang akan mempengaruhi daya keluaran serat SMS. Pada serat SMS *tapered fiber*, moda yang menjalar melewati serat *singlemode* kemudian diteruskan keserat *multimode* akan mengalami perubahan jumlah moda. Hal tersebut dikarenakan perbedaan diameter serat *singlemode* dengan serat *multimode-taper*. Sehingga daya keluaran dari serat akan semakin kecil. Hasil pengujian sensor ion magnesium berbasis serat SMS-*tapered fiber* menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran serat akan semakin kecil.

Berikut hasil perbandingan karakteristik serat SMS sebagai sensor ion magnesium yang ditunjukkan pada tabel 4.11. Hasil karakteristik sensor serat SMS-*Tapered fiber* lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya. Akan tetapi mempunyai kelemahan yaitu sensor yang rentan dan fabrikasi yang rumit. Sensor serat SMS dengan penambahan lapisan CNT memiliki sensitivitas tinggi hampir sama dengan SMS-*tapered fiber*. Sehingga dilihat dari segi fabrikasi, lebih mudah menggunakan serat SMS konfigurasi lurus dengan penambahan lapisan CNT dibanding membuat *tapered fiber*.

Tabel 4.11 Perbandingan karakteristik sensor ion magnesium berbasis serat SMS

Karakteristik Statis	Konfigurasi Sensor Serat SMS				
	Lurus	Coating Graphene	Coating CNT	<i>U-bent</i>	<i>Tapered fiber</i>
Sensitivitas (dBm/%)	0,6632	1,4941	3,6623	0,7667	3,7761
Linieritas (%)	98	99	98	98	98
Standar Deviasi	0,0379	0,0803	0,0845	0,012	0,012
Resolusi (dBm)	0,0571	0,0537	0,0231	0,016	0,016

Hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu pengujian sensor ion magnesium berbasis serat optik *singlemode-multimode coreless-singlemode* (SMS) jika dibandingkan dengan hasil penelitian lain yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.12 Perbandingan hasil penelitian ini dengan hasil peneliti lainnya

Jenis sensor	Sensitivitas Sensor	Keterangan	Referensi
Sensor berbasis <i>fluorescent</i>	Sensitivitas baik dan afinitas tinggi		(Prodi et al., 1998)
Serat optik berbasis antibiotik polietilena carboxylik	Sensitivitas konstan selama 5 hari dan menurun 18% setelah 14 hari		(Suzuki et al., 1989)
<i>Tapered multimode fiber</i>	2 ppm (w/w)	Sensor digunakan untuk deteksi ion kalsium tetapi dapat diaplikasikan pada ion magnesium	(Hale & Payne, 1994)
Deteksi ion magnesium menggunakan <i>fiber coupler</i> berbasis sensor displacement menggunakan <i>concave mirror</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,54 mV/% untuk CM1</li> <li>• 2,75 mV/% untuk CM2</li> </ul>	Konsentrasi ion magnesium 0% - 5%	(Yasin & Khasanah, 2018)
Serat SMS-konfigurasi lurus	0,6632 dBm/%	Panjang serat <i>multimode coreless</i> 30 mm	Hasil penelitian ini
Serat SMS dilapisi <i>graphene</i>	1,4941 dBm/%		
Serat SMS dilapisi CNT	3,6623 dBm/%		

Jenis sensor	Sensitivitas Sensor	Keterangan	Referensi
Serat SMS <i>U-bent</i>	0,7667 dBm/%	Diameter U 10 mm dengan panjang serat <i>multimode coreless</i> 30 mm	Hasil penelitian ini
Serat SMS- <i>tapered fiber</i>	3,7761 dBm/%	Perubahan diameter serat dari 125 $\mu\text{m}$ menjadi 97,22 $\mu\text{m}$	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan masalah maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dilakukan perancangan sensor ion magnesium berbasis serat optik SMS konfigurasi lurus, penambahan lapisan *graphene* dan MWCNTs sebagai pengganti *cladding* serat *multimode*, serat SMS *U-bent* dan serat SMS-*tapered fiber*.
2. Sensitivitas sensor serat SMS konfigurasi lurus sebesar 0,6632 dBm/% pada panjang serat *multimode coreless* 30 mm dan sensor serat SMS konfigurasi lurus dengan penampahan lapisan *graphene* dan MWCNTs sebagai *cladding*, didapatkan sensitivitas yang lebih tinggi dibanding tanpa penambahan lapisan yaitu 1,4941 dBm/% dan 3,6623 dBm/%. Sensor serat SMS *U-bent* memiliki sensitivitas sebesar 0,7667 dBm/% pada diameter serat 10 mm sedangkan sensor serat SMS-*tapered fiber* memiliki sensitivitas 3,7761 dBm/% pada variasi waktu pencelupan 15 menit.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion magnesium maka daya keluaran serat SMS akan semakin menurun. Hal tersebut dikarenakan sensor ion magnesium berbasis serat SMS memanfaatkan prinsip *sensing* indeks bias. Indeks bias ion magnesium berbeda setiap konsentrasi, semakin besar konsentrasi maka indeks bias akan semakin besar sehingga daya keluaran serat akan menurun.

#### **5.2.Saran**

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan sensor ion magnesium pada larutan yang tidak hanya mengandung ion magnesium murni. Dapat diaplikasikan pada sensor magnesium pada air mineral dimana komposisi penyusunnya tidak hanya magnesium tetapi ada kandungan lainnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- An, J., Jin, Y., Sun, M., & Dong, X. (2014). Relative humidity sensor based on SMS fiber structure with two waist-enlarged tapers. *IEEE Sensors Journal*, *14*(8), 2683–2686. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2313878>
- André, R. M., Biazoli, C. R., Silva, S. O., Marques, M. B., Cordeiro, C. M. B., & Frazão, O. (2013). Strain-Temperature Discrimination Using Multimode Interference in Tapered Fiber, *25*(2), 155–158.
- Aqel, A., El-Nour, K. M. M. A., Ammar, R. A. A., & Al-Warthan, A. (2012). Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, *5*(1), 1–23. <http://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.08.022>
- Bentley, J. P. (2005). *Principles of Measurement Systems* (Fourth Edi). England: Prentice Hall.
- Biazoli, C. R., Silva, S., Franco, M. A. R., Frazão, O., & Cordeiro, C. M. B. (2012). Multimode interference tapered fiber refractive index sensors Multimode interference tapered fiber refractive index sensors, (May 2014). <http://doi.org/10.1364/AO.51.005941>
- Blasco, F., Medina-Hernández, M. J., Sagrado, S., & Fernández, F. M. (1997). Simultaneous spectrophotometric determination of calcium and magnesium in mineral waters by means of multivariate partial least-squares regression. *The Analyst*, *122*(7), 639–43. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9330035>
- Calandra, D. M., Mauro, D. Di, Cutugno, F., & Martino, S. Di. (2016). Navigating wall-sized displays with the gaze: A proposal for cultural heritage. *CEUR Workshop Proceedings*, *1621*(May 2014), 36–43. <http://doi.org/10.1023/A>
- Chen, Y., Liu, T., Han, Q., & Lu, X. (2014). Magnetic Field Sensor Based on U-Bent Single-Mode Fiber and Magnetic Fluid Magnetic Field Sensor Based on U-Bent. *IEEE Photonics Journal*, *6*(6). <http://doi.org/10.1109/JPHOT.2014.2368781>
- Choudhury, P. K., & Yoshino, T. (2003). On the pH response of fiber optic evanescent field absorption sensor having a U-shaped probe : An experimental

- analysis. *Optik*, 1(1), 13–18. <http://doi.org/10.1078/0030-4026-00210>
- Cui, Z. (2014). WET ETCHING OPTICAL FIBERS TO SUB-MICRON DIAMETERS WET ETCHING OPTICAL FIBERS TO SUB-MICRON DIAMETERS.
- Fraden, J. (2016). Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, 1–758. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-19303-8>
- Gao, R. X., Liu, W. J., Wang, Y. Y., Wang, Q., Zhao, F., & Qu, S. L. (2012). Design and fabrication of SMS fiber refractometer for liquid. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 179, 5–9. <http://doi.org/10.1016/j.sna.2012.02.020>
- Ghatak, A., & Thyagarajan, K. (1997). Introduction to fibers optics. New Delhi: Cambridge University Press.
- Girei, S. H., Shabaneh, A. A., Arasu, P. T., Painam, S., & Yaacob, M. H. (2013). Tapered multimode fiber sensor for ethanol sensing application. *4th International Conference on Photonics, ICP 2013 - Conference Proceeding*, (2), 275–277. <http://doi.org/10.1109/ICP.2013.6687137>
- Girei, S. H., Shabaneh, A. A., Ngee-Lim, H., Hamidon, M. N., Mahdi, M. A., & Yaacob, M. H. (2015). Tapered optical fiber coated with graphene based nanomaterials for measurement of ethanol concentrations in water. *Optical Review*, 22(3), 385–392. <http://doi.org/10.1007/s10043-015-0075-8>
- Gowri, A., & Sai, V. V. R. (2016). Sensors and Actuators B: Chemical Development of LSPR based U-bent plastic optical fiber sensors. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 230, 536–543. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2016.02.074>
- Hale, Z. M., & Payne, F. P. (1994). Demonstration of an optimised evanescent field optical fibre sensor. *Analytica Chimica Acta*, 293(1–2), 49–54. [http://doi.org/10.1016/0003-2670\(94\)00104-9](http://doi.org/10.1016/0003-2670(94)00104-9)
- Kulkarni, V. K., Bendigeri, H. H., & Kulkarni, R. M. (2016). LED based evanescent wave fiber optic sensor technique to detect Fe<sup>+2</sup> concentration. *AIP Conference Proceedings*, 1731. <http://doi.org/10.1063/1.4947830>
- Kumar, A., Varshney, R. K., C, S. A., & Sharma, P. (2003). Transmission characteristics of SMS fiber optic sensor structures. *Optics Communications*,

- 219, 215–219. [http://doi.org/10.1016/S0030-4018\(03\)01289-6](http://doi.org/10.1016/S0030-4018(03)01289-6)
- Kumar, M., Kumar, A., & Mani, S. T. (2014). A comparison of temperature sensing characteristics of SMS structures using step and graded index multimode fibers. *Optics Communications*, 312, 222–226. <http://doi.org/10.1016/j.optcom.2013.09.034>
- Kushida, Y., Fukano, H., & Taue, S. (2013). High-sensitivity optical fiber temperature sensor using multimode interference, (2), 1–2.
- Mohamed, H., Irawati, N., Ahmad, F., Ibrahim, M. H., Ambran, S., Rahman, M. A. A., & Harun, S. W. (2017). Optical humidity sensor based on tapered fiber with multi-walled carbon nanotubes slurry. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 6(1), 97–103. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v6.i1.pp97-103>
- Prodi, L., Bolletta, F., Montalti, M., Zaccheroni, N., Savage, P. B., Bradshaw, J. S., & Izatt, R. M. (1998). A fluorescent sensor for magnesium ions. *Tetrahedron Letters*, 39(31), 5451–5454. [http://doi.org/10.1016/S0040-4039\(98\)01070-3](http://doi.org/10.1016/S0040-4039(98)01070-3)
- Schlingmann, K. P., Konrad, M., & Seyberth, H. W. (2004). Genetics of hereditary disorders of magnesium homeostasis. *Pediatric Nephrology*, 19(1), 13–25. <http://doi.org/10.1007/s00467-003-1293-z>
- Shabaneh, A. A., Girei, S. H., Arasu, P. T., Rashid, S. A., Yunusa, Z., Mahdi, M. A., ... Yaacob, M. H. (2014). Reflectance Response of Optical Fiber Coated With Carbon Nanotubes for Aqueous Ethanol Sensing. *IEEE Photonics Journal*, 6(6). <http://doi.org/10.1109/JPHOT.2014.2363429>
- Structures, S. M. S., Varshney, R. K., Kumar, Y. B. P., Member, S., & Marin, E. (2009). Strain and Temperature Sensing Characteristics of, 27(13), 2348–2356.
- Suzuki, K., Tohda, K., Tanda, Y., Ohzora, H., Nishihama, S., Inoue, H., & Shirai, T. (1989). Fiber-Optic Magnesium and Calcium-Ion Sensor Based on a Natural Carboxylic Polyether Antibiotic. *Analytical Chemistry*, 61(4), 382–384.
- Wang, P., Brambilla, G., Ding, M., Semenova, Y., Wu, Q., & Farrell, G. (2011). High-sensitivity , evanescent field refractometric sensor based on a tapered , multimode fiber interference, 36(12), 2233–2235.
- Wang, P., Ding, M., Bo, L., Guan, C., Semenova, Y., Wu, Q., ... Brambilla, G. (2013). Fiber-tip high-temperature sensor based on multimode interference.

- Optics Letters*, 38(22), 4617–20. <http://doi.org/10.1364/OL.38.004617>
- Wang, Q. W. Q., Farrell, G., & Yan, W. Y. W. (2008). Investigation on Single-Mode&#x2013;Multimode&#x2013; Single-Mode Fiber Structure. *Journal of Lightwave Technology*, 26(5), 512–519. <http://doi.org/10.1109/JLT.2007.915205>
- Wang, R. (2011). Displacement Sensor Based on SMS Fiber Structure. *Lightwave*, (1), 1–3.
- Wu, Q., Semenova, Y., Hatta, A. M., Wang, P., & Farrell, G. (2010). Bent SMS fibre structure for temperature measurement. *Electronics Letters*, 46(16), 1129. <http://doi.org/10.1049/el.2010.1769>
- Xu, F., Das, S., Gong, Y., Liu, Q., Chien, H., Chiu, H., ... Hui, R. (2015). Complex refractive index tunability of graphene at 1550 nm wavelength, *31109*, 2–5.
- Yasin, M., & Khasanah, M. (2018). Optik Detection of magnesium ion concentration using fiber coupler based displacement sensor with concave mirror target. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 158, 37–43. <http://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.12.015>
- Zhang, R., Liu, T., Han, Q., Chen, Y., & Li, L. (2014). U-bent single-mode–multimode–single-mode fiber optic magnetic field sensor based on magnetic fluid, *72501*.
- Zhao, Y., Cai, L., & Hu, H. (2015). Fiber-Optic Refractive Index Sensor Based on Multi-Tapered SMS Fiber Structure, *15*(11), 6348–6353.
- Zhao, Y., Jin, Y., Liang, H., Dong, X., & Wang, J. (2011). All-fiber-optic sensor for relative humidity measurement. *ICEOE 2011 - 2011 International Conference on Electronics and Optoelectronics, Proceedings*, 2(Iceoe), 83–86. <http://doi.org/10.1109/ICEOE.2011.6013181>
- Zhao, Y., Jin, Y., Wang, J., & Dong, X. (2013). Detection of liquid-level variation using a SMS fiber structure. *Optik*, 124(18), 3771–3773. <http://doi.org/10.1016/j.ijleo.2012.11.034>
- Zhao, Y., Li, X. G., Zhou, X., & Zhang, Y. N. (2016). Review on the graphene based optical fiber chemical and biological sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 231, 324–340. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.026>

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### A-1. SPESIFIKASI SUMBER CAHAYA



Type	JW3109			
Wavelengths(nm)	650	1310/1550	850/1300	850/1300/1310/1550
Emitter Type	FP-LD,LED or others please specify			
Typical Output Power (dBm)	0	-7dBm for LD, -20dBm for LED		
Spectral Width(nm)	1. $\leq 10$			
Output Stability	$\pm 0.05\text{dB}/15\text{mins}$ ; $\pm 0.1\text{dB}/ 8\text{hours}$			
Modulation Frequencies	CW,2Hz	CW,270Hz,1KHz,2KHz		
Optical Connector	FC/ universal adaptor	FC/PC		
Power Supply	Alkaline Battery(3 AA 1.5V batteries)			
Battery Operating Time(hour)	45			
Operating Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	-10~+60			
Storage Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	-25~+70			
Dimension(mm)	175x82x33			
Weight (g)	295			
<b>Joinwit Recommendation</b>				
JW3109 Handheld Light Source is designed for optimal use with JW3208 Optical Power Meter for measuring optical loss on both single mode and multimode fiber cable.				

## A-2. SPESIFIKASI SERAT OPTIK

### - Pigtail Serat Optik *Singlemode*



Connector:	ST	Fiber Count:	Simplex 1 Core
Insertion Loss:	<0.3dB	Fiber Type:	Corning Fiber SMF-28e
Package:	Plastic Bag With Label	Cable Diameter:	0.9mm
Jacket:	LSZH, PVC	Connector Color:	Yellow, Orange, White, aqua
Temperature:	-40~+80°C	Customer Logo:	Yes

Parameter	PC	UPC	APC
Insertion loss(dB)	≤0.30		
Repeatability(dB)	≤0.10		
Interchangeability(dB)	≤0.10		
Return loss(dB)	≥50	≥55	≥60
Mating times	≥500		
Operating temperature(°C)	-40- +75		
Fiber	G652, G655		
Fiber length (M)	3.5.7.10 (in terms of customer demands)		

### - Serat *Multimode Coreless*



#### *Specifications*

Specifications			
Item #	FG125LA	FG250LA	FG400LA
Wavelength Range	400 - 2400 nm		
Return Loss	>65 dB with 0.25 m		
Glass Diameter	125 ± 1 μm	250 ± 10 μm	400 ± 15 μm
Coating Diameter	250 μm ± 5%	400 ± 20 μm	550 ± 20 μm
Coating	Acrylate		
Glass Refractive Index	1.467287 @ 436 nm 1.458965 @ 589.3 nm 1.450703 @1020 nm 1.444 @1550 nm		
Operating Temperature	-40 to 85 °C		
Proof Test Level	>100 kpsi		
Recommended Stripping Tool	T06S13 or FTS4	T12S16	T18S25

### A-3. SPESIFIKASI DETEKTOR



PM100USB



Item #	PM100USB
<b>Display</b>	
Display Type	External PC - Windows Application or Driver Set
Display Screens	Windows Application Software Provided
GUI Refresh Rate	300 Hz (Dependent on PC and Settings)
<b>Sensor Interface</b>	
Compatible Sensors	All Photodiodes, Thermopiles, and Pyros See below for full sensor specs
AD Converter	16 bit
Connector	DB9F
Sensor Temperature Control	Thermistor
Temperature Measurement Range	-10 to 80 °C
<b>Digital Outputs</b>	
Connector / Interface	Mini USB / USB2.0
<b>Power</b>	
Battery	N/A
Charger / DC Input	USB / PC Provided
<b>Dimensions and Mounting</b>	
Dimensions (LxWxH)	93.1 mm x 60.4 mm x 28.7 mm (3.67" x 2.38 " x 1.13")
Weight	0.15 kg (0.33 lbs)
Operating Temperature	0 to 40 °C
Storage Temperature	-40 to 70 °C

Item #	PM100USB		
Detector Compatibility	Photodiode Sensors: S1xxC Series Photodiodes (Max 5 mA)	Thermal Sensors: S3xxC Series Thermopiles (Max 1V)	Pyroelectric Sensors: ESxxxC Series Pyros (Max 100V)
Measurement Ranges	6 Decades; 50 nA - 5 mA, Sensor Dependent	4 Decades; 1 mV - 1 V, Sensor Dependent	4 Decades; 100 mV - 100 V, Sensor Dependent
Wavelength Ranges	200 nm - 1800 nm	190 nm - 25 µm	185 nm - 25 µm
Power / Energy Ranges	100 pW - 20 W	100 µW - 200 W	10 µJ - 15 J
Selectable Units	W, W/cm <sup>2</sup> , dBm, A	W, W/cm <sup>2</sup> , dBm, V	J, J/cm <sup>2</sup> , W, W/cm <sup>2</sup> , V
Accuracy	±0.2% of Full Scale (5 µA - 5 mA) ±0.5% of Full Scale (50 nA)	±0.5% of Full Scale (10 mV - 1 V) ±1% of Full Scale (1 mV)	±0.5% of Full Scale (100 mV - 100 V)
Display Resolution	1 pA / Responsivity Value (A/W)	1 µV / Responsivity Value (V/W)	100 µV / Responsivity Value (V/J)
Input Bandwidth	DC - 100 kHz, Dependent on Sensor and Settings	DC - 10 Hz, Dependent on Sensor and Settings	DC - 3 kHz, Dependent on Sensor and Settings
Wavelength Correction	Sensor Dependent; nm (A/W)	Sensor Dependent; nm (V/W)	Sensor Dependent; nm (V/J)

#### A-4. SPESIFIKASI MIKROSKOP



<b>Optical System:</b>	UIS2 (Universal infinity-corrected) optical system	
<b>Illumination:</b>	Built-in transmitted Koehler illuminator 6V/30W halogen bulb 100-120V/220-240V ~ 0.85/0.45A 50/60Hz	
<b>Focusing:</b>	Stage height movement by roller guide (rack and pinion) Stroke per rotation: 36.8mm Full stroke range: 25mm Upper limit stopped by simplified pre-focusing dial Tension adjustment on coarse focus adjustment knob	
<b>Revolving Nosepiece:</b>	Fixed quadruple nosepiece with inward tilt	
<b>Objectives:</b>	Plan C Achromat Objectives: 4x NA: 0.10 W.D.: 27.8 mm 10x NA: 0.25 W.D.: 8.0 mm 40x NA: 0.65 W.D.: 0.6mm 100xOil NA: 1.25 W.D.: 0.13mm	
<b>Trinocular Observation Tube:</b>	Field Number:	20
	Tube inclination:	30°
	Interpupillary distance adjustment range:	48mm-75mm
<b>Stage:</b>	Size:	188mm(W) x 134mm(D)
	Movement range:	76mm X-direction x 50mm Y-direction
	Specimen holder:	Double slide holder
	Rubber grip:	Equipped as standard

## LAMPIRAN B

### B-1. DATA PENGUJIAN SENSOR ION MAGNESIUM BERBASIS SERAT

#### SMS KONFIGURASI LURUS

##### 1. Panjang serat *multimode* 10 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-16,300	-16,320	-15,827	-15,899	-15,943	-16,058	0,234
2	-16,296	-16,276	-16,250	-16,228	-16,456	-16,301	0,090
3	-16,617	-16,606	-16,601	-16,630	-16,663	-16,623	0,025
4	-16,704	-16,581	-16,547	-16,830	-17,866	-16,906	0,549
5	-18,745	-18,745	-18,745	-18,745	-18,745	-18,745	0,000

##### 2. Panjang serat *multimode* 30 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-13,040	-12,964	-12,948	-12,928	-12,855	-12,947	0,067
2	-13,191	-13,456	-13,762	-13,990	-14,110	-13,702	0,379
3	-14,085	-14,501	-14,459	-14,412	-14,402	-14,372	0,165
4	-14,880	-14,880	-14,750	-14,750	-14,715	-14,795	0,079
5	-15,730	-15,752	-15,746	-15,688	-15,665	-15,716	0,038

##### 3. Panjang serat *multimode* 50 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-15,795	-15,788	-15,792	-15,792	-15,789	-15,791	0,003
2	-15,963	-15,973	-15,975	-15,976	-15,969	-15,971	0,005
3	-16,305	-16,374	-16,382	-16,374	-16,376	-16,362	0,032
4	-16,991	-16,986	-16,941	-16,914	-16,891	-16,945	0,044
5	-17,874	-17,845	-17,798	-17,799	-17,809	-17,825	0,033

**B-2. DATA PENGUJIAN SENSOR ION MAGNESIUM BERBASIS SERAT  
SMS KONFIGURASI LURUS + PELAPISAN GRAPHENE DAN CNT**

1. Penambahan lapisan *graphene* sebagai pengganti *cladding*

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-22,738	-23,349	-23,760	-24,107	-24,396	-23,670	0,651
2	-25,054	-25,054	-25,201	-25,201	-25,201	-25,142	0,080
3	-26,572	-26,147	-26,146	-26,137	-26,116	-26,224	0,195
4	-28,092	-28,236	-28,242	-28,244	-27,820	-28,127	0,183
5	-29,764	-29,478	-29,478	-29,761	-29,761	-29,648	0,156

2. Penambahan lapisan CNT sebagai pengganti *cladding*

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-24,310	-24,473	-24,462	-24,514	-24,516	-24,455	0,085
2	-26,164	-26,171	-26,236	-26,295	-26,460	-26,265	0,121
3	-29,612	-29,627	-29,666	-29,760	-29,823	-29,698	0,091
4	-33,463	-33,463	-33,907	-33,907	-33,206	-33,590	0,309
5	-35,950	-35,950	-36,595	-36,688	-36,688	-36,374	0,389

**B-3. DATA PENGUJIAN SENSOR ION MAGNESIUM BERBASIS SERAT**

**SMS *U-bent***

1. Diameter lekukan serat *multimode* pada serat SMS sebesar 10 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-22,098	-22,067	-22,095	-22,085	-22,097	-22,098	0,0130
2	-22,967	-22,970	-22,965	-22,962	-22,977	-22,982	0,0055
3	-23,625	-23,623	-23,650	-23,628	-23,670	-23,672	0,0203
4	-24,113	-24,121	-24,120	-24,112	-24,121	-24,116	0,0044
5	-25,143	-25,146	-25,144	-25,159	-25,176	-25,153	0,0138

2. Diameter lekukan serat *multimode* pada serat SMS sebesar 15 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-21,298	-21,347	-21,400	-21,399	-21,401	-21,369	0,0457
2	-21,967	-21,970	-21,965	-21,962	-21,977	-21,968	0,0055
3	-22,303	-22,323	-22,325	-22,348	-22,354	-22,330	0,0207
4	-23,358	-23,348	-23,374	-23,372	-23,376	-23,366	0,0119
5	-23,683	-23,686	-23,684	-23,666	-23,676	-23,679	0,0084

3. Diameter lekukan serat *multimode* pada serat SMS sebesar 20 mm

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-18,961	-18,983	-18,96	-18,972	-18,96	-18,97	0,0102
2	-19,254	-19,24	-19,26	-19,26	-19,261	-19,251	0,0088
3	-19,86	-19,892	-19,891	-19,887	-19,882	-19,881	0,0131
4	-20,547	-20,567	-20,582	-20,573	-20,573	-20,568	0,0131
5	-21,012	-21,015	-21,013	-21,025	-21,011	-21,012	0,0057

**B-4. DATA PENGUJIAN SENSOR ION MAGNESIUM BERBASIS SERAT**

***SMS-tapered fiber***

Konsentrasi (%)	Daya (dBm)					Daya Rata-Rata (dBm)	Standar Deviasi
1	-26,926	-26,921	-23,985	-26,923	-26,991	-26,349	1,3220
2	-28,163	-28,166	-28,163	-28,162	-28,142	-28,159	0,0097
3	-33,196	-33,199	-33,192	-33,196	-33,185	-33,194	0,0054
4	-38,471	-38,473	-38,484	-38,459	-38,461	-38,470	0,0101
5	-41,178	-41,179	-41,188	-41,188	-41,208	-41,188	0,0120



## BIODATA PENULIS



**Rinda Nur Hidayati**-lahir di Jombang, 24 Juni 1993.

Penulis merupakan anak pertama dari Munari dan Parniti.

Penulis memulai pendidikan di SDN Karangpakis II Kecamatan Kabuh – Jombang pada tahun 1999 hingga

2005. Penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Kabuh dan lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama penulis

melanjutkan pendidikan di SMAN 3 Jombang hingga lulus tahun 2011. Selepas lulus dari sekolah menengah atas,

penulis melanjutkan pendidikan di Teknik Fisika ITS. Saat berstatus sebagai mahasiswa sarjana, penulis aktif dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF-ITS) serta Laboratorium Rekayasa Fotonika Teknik Fisika ITS. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Semen Padang pada tahun 2014. Penulis menyelesaikan program sarjana pada September 2015. Pada tahun 2016 melalui program beasiswa BPP-DN DIKTI *Fresh Graduate*, penulis melanjutkan program magister di Jurusan Teknik Fisika bidang Rekayasa Instrumentasi Industri dan menekuni bidang minat Rekayasa Fotonika. Penulis dapat dihubungi melalui email [tfrinda@gmail.com](mailto:tfrinda@gmail.com).

