

**SKRIPSI**

**KARAKTERISASI SENSOR ION MERKURI DALAM AIR BERBASIS  
SERAT OPTIK PLASTIK**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**WILLY HARDIANTHO**

**H211 15 315**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**KARAKTERISASI SENSOR ION MERKURI DALAM AIR BERBASIS  
SERAT OPTIK PLASTIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai Tugas Akhir untuk Memenuhi Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Program Studi Fisika Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin**

**OLEH:**

**WILLY HARDIANTHO**

**H211 15 315**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**KARAKTERISASI SENSOR ION MERKURI DALAM AIR BERBASIS  
SERAT OPTIK PLASTIK**

**Disusun dan diajukan oleh**

**WILLY HARDIANTHO  
H211 15 315**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 24 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Prof. Dr. Arifin, M.T.**  
NIP. 19670520 199403 1 002

Pembimbing Pertama,



**Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.**  
NIP. 19630830 198903 2 001

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. Arifin, M.T.**  
NIP. 19670520 199403 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Willy Hardiantho  
NIM : H211 15 315  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **KARAKTERISASI SENSOR ION MERKURI DALAM AIR BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Februari 2021



Yang menyatakan,

**Willy Hardiantho**

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik. Deteksi ion merkuri dilakukan dengan cara mencelupkan sensor serat optik ke dalam larutan  $\text{HgCl}_2$ , dimana di kedua ujung sensor disambungkan dengan LED dan fototransistor. LED sebagai sumber cahaya akan memancarkan cahaya sepanjang serat optik yang nantinya akan diterima oleh fototransistor. Cahaya optik yang diterima fototransistor diubah menjadi tegangan listrik dan diberikan penguatan pada penguat selisih. Tegangan keluaran dalam bentuk sinyal analog dikonversi menjadi sinyal digital pada Arduino UNO sehingga dapat dibaca pada komputer. Serat optik sebagai sensor dibuat dengan dua konfigurasi yaitu konfigurasi U dan konfigurasi *spiral spring*. Jacket dan selubung serat optik dikupas kemudian akan dilapisi kitosan. Setiap konfigurasi akan diberikan variasi lekukan untuk menganalisis karakteristik dari sensor. Dengan adanya lekukan dapat menyebabkan rugi daya yang besar sehingga terjadi pelemahan intensitas cahaya dari LED yang diterima oleh fototransistor. Selain pengaruh dari lekukan pada serat optik, hasil pengukuran tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi  $\text{HgCl}_2$ . Hasil pengukuran terbaik sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik diperoleh pada konfigurasi *spiral spring* dengan selubung kitosan dengan variasi 6 lilitan. Sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik ini memiliki keunggulan yaitu fabrikasi mudah, biaya murah, resolusi kecil serta memiliki *range* dan sensitivitas besar.

**Kata kunci:** merkuri, mikrokontroler, sensor, serat optik.

## ABSTRACT

Research has been done about mercury ions sensors in water based on plastic optical fiber. The detection of mercury ions is carried out by immersing the optical fiber sensor in the  $\text{HgCl}_2$  solution, where both ends of the sensor were connected to the LED and phototransistor. The LED as a light source will emit the light into the sensor that propagates along with optical fiber which will be received by the phototransistor. The optical light received by the phototransistor is converted into an electric voltage and is given a gain in the differential amplifier. The output voltage in the form of an analog signal is converted into a digital signal on the Arduino UNO so that it can be read on a computer. An optical fiber as a sensor is made in two configurations, namely U configuration and spiral spring configuration. The jacket and the cladding of fiber optic are peeled off and then covered with chitosan. Each configuration will be given a variation of the curve to analyze the characteristics of the sensor. The curvature can cause a large power loss resulting in attenuation of the light intensity of the LED received by the phototransistor. In addition to the effect of curvature on optical fibers, the output voltage measurement results are also influenced by the level of  $\text{HgCl}_2$  concentration. The best measurement results of the mercury ion sensor in water based on plastic optical fiber were obtained in the spiral spring configuration with chitosan cladding with a variation of 6 coils. This sensor has the advantage of easy fabrication, low cost, small resolution, large range, and large sensitivity.

**Keywords:** mercury, microcontroller, sensor, optical fiber.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas berkat, pertolongan, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Karakterisasi Sensor Ion Merkuri dalam Air Berbasis Serat Optik Plastik**” yang merupakan tugas akhir sebagai persyaratan untuk mencapai gelar sarjana.

Dalam penyelesaian skripsi, penulis mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini terjadi karena kelemahan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Hambatan dapat teratasi tentu tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, merupakan kewajiban bagi penulis dengan segala kerendahan hati untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan kedua saudara penulis (**Dedi dan Esar**), yang memberikan dukungan dengan cinta dan kasihnya, serta dengan doa-doa tulusnya kepada penulis selama menjalani kehidupan perkuliahan di Universitas Hasanuddin.
2. Keluarga besar penulis, yang memberikan dukungan baik secara moril dan materil agar penulis bisa menyelesaikan studi dengan baik.
3. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku ketua Departemen Fisika FMIPA Unhas sekaligus pembimbing utama dan Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.** selaku pembimbing pertama yang selalu memberikan arahan, bimbingan, ilmu, saran dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.** dan Bapak **Prof. Dr. rer. nat. Wira Bahari Nurdin** sebagai tim penguji yang telah memberi saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang telah mendidik dan membagi ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh staf akademik Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
7. Kepada saudara tak sedarahku **F15IKA (Amming, Hafis, Rian, Alvaro, Yadin, Jr., Diky, Fitra, Aksa, Fadil, Edi, Nasri, Ashadi, Firman, Alwin, Arjun, Vico, Ahul, Abet, Abi, Acan, Ammi, Anas, Ani, Anti, April, Ari, Arum, Atna, Aya', Aysyah, Caneneng, Deay, Defa, Devi, Dina, Eni,**

**Fatimah, Fatma, Hariani, Ica, Ida, Ika, Ilmi, Ima, Indah, Inem, Irma, Isna, Justika, Kiki, Lina, Make, Mbak Kiki, Mita, Mimy, Mute, Nermi, Nunu, Purna, Rahayu, Rahmi, Ria, Sakinah, Soim, Tawaro, Tika, Uga, Uni, Vita, Wanda, Widy, Yaumil, Yuli, Yulpar, Yunifa).** Selamat tanggal **24 Januari** di waktu-waktu mendatang. Terima kasih untuk segala jenis bantuannya selama ini. Terima kasih juga telah menulis banyak hal dalam memori penulis. Tetaplah **‘Satu dalam Dekapan’** sekarang hingga akhir hayat.

8. Teman-teman **TNT Squad (Charman, Ipen, dan Septian)**, yang selalu bersama-sama penulis baik susah maupun senang dari SMA, maba hingga masa-masa akhir di kampus.
9. Teman-teman **Dg Squad**, yang selalu menjadi teman mabar penulis.
10. Teman-teman **Bu Martha & Bu Hira Squad**, yang selalu jadi teman yang bisa diandalkan. Semoga bisa tetap berbagi kebahagiaan dan selalu saling *support* dalam menjalani kehidupan.
11. Kepada keluarga kecil **KMF MIPA 2015**. Selamat tanggal **1 Juni** di waktu-waktu mendatang. Terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaannya baik dalam suka maupun duka. Terima kasih atas warna-warni yang tidak pernah membosankan, semoga kita selalu ada **‘Untuk MIPA’**.
12. Kepada Keluarga Besar **Himafi FMIPA Unhas**. Kanda-kanda, teman angkatan, dan adik-adik yang sengaja maupun tidak sengaja, telah memberi penulis sedikit-banyak pelajaran tentang kekeluargaan, persahabatan, kebersamaan, dan tentu ilmu dalam hal akademik. Terima kasih. **‘Jayalah Himafi Fisika Nan Jaya’**.
13. Kepada Keluarga Besar **KM FMIPA Unhas**. Kanda-kanda, teman angkatan, dan adik-adik. Terima kasih sudah memperkenalkan penulis dunia organisasi yang selalu menjunjung tinggi Kebersamaan dan Kekeluargaan. Salam **‘Use Your Mind Be The Best’**.
14. Teman-teman **KKN Unhas Gel. 99 Kec. Balusu Kab. Barru**. Terima kasih atas suka duka serta pengalaman berharga bersama kalian.



15. Adik-adik dan kakak-kakak di Bengkel Elektronika (**Firda, Nurlina, Kak Anna, dan Kak Erni**) yang selalu membantu menyelesaikan kendala-kendala yang penulis hadapi dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
16. **Khaeril, Saenab, dan Wirda** yang telah membantu penulis dalam membuat sampel penelitian.
17. **Siti Nurul Hikma Syawalia**, yang telah memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir setelah terbengkalai cukup lama.
18. Semua pihak yang membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan. Akhir kata penulis mengharapkan semoga penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis maupun pihak lain yang membutuhkan.

Makassar, Februari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>SAMPUL</b>	
<b>JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Serat Optik .....	4
2.2 Karakteristik Transmisi pada Serat Optik .....	6
2.2.1 Perambatan Cahaya .....	6
2.2.2 Tingkap Numerik ( <i>Numerical Aperture</i> ) .....	6
2.3 Gelombang <i>Evanescence</i> dalam Serat Optik .....	7
2.4 Rugi-rugi Daya pada Serat Optik .....	7
2.5 Sensor Serat Optik .....	8
2.6 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik .....	9
2.7 Mikrokontroler Arduino UNO .....	10
2.8 Kitosan .....	11
2.8.1 Struktur Kimia Kitosan .....	11
2.8.2 Manfaat Kitosan .....	12

2.9 Merkuri .....	13
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	14
3.2 Alat dan Bahan .....	14
3.3 Prosedur Penelitian .....	15
3.4 Bagan Alur Penelitian .....	16
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Perancangan dan Pembuatan Sensor Ion Merkuri dalam Air Berbasis Serat Optik Plastik .....	17
4.2 Proses Pelapisan Sensor Serat Optik dengan Menggunakan Kitosan sebagai Selubung .....	17
4.3 Hasil Pengujian Sensor pada Konfigurasi U .....	18
4.4 Hasil Pengujian Sensor pada Konfigurasi <i>Spiral Spring</i> .....	21
4.5 Perbandingan Sensor Serat Optik Konfigurasi U dan <i>Spiral Spring</i> .....	24
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	26
5.2 Saran .....	26
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>27</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>29</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur serat optik .....	4
Gambar 2.2 Serat optik mode jamak indeks tangga .....	5
Gambar 2.3 Serat optik mode jamak indeks tanjak .....	5
Gambar 2.4 Serat optik mode tunggal indeks tangga .....	5
Gambar 2.5 Perangkat keras papan Arduino UNO .....	10
Gambar 2.6 Struktur kimia dari polimer selulosa .....	11
Gambar 2.7 (a) Struktur kimia kitin (b) Struktur kimia kitosan .....	12
Gambar 3.1 Skema sensor ion merkuri dalam air menggunakan serat optik plastik .....	15
Gambar 3.2 (a) Konfigurasi Spiral Spring (b) Konfigurasi U .....	15
Gambar 3.3 Bagan alur penelitian sensor .....	16
Gambar 4.1 Konfigurasi <i>spiral spring</i> dan konfigurasi U setelah dilapisi kitosan .....	18
Gambar 4.2 Tegangan keluaran pada konfigurasi U tanpa selubung kitosan variasi diameter lekukan .....	19
Gambar 4.3 Tegangan keluaran pada konfigurasi U dengan selubung kitosan variasi diameter lekukan .....	20
Gambar 4.4 Tegangan keluaran pada konfigurasi <i>spiral spring</i> tanpa selubung kitosan variasi jumlah lilitan .....	22
Gambar 4.5 Tegangan keluaran pada konfigurasi <i>spiral spring</i> dengan selubung kitosan variasi jumlah lilitan .....	23

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Karakterisasi sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik konfigurasi U dengan variasi diameter lekukan .....	21
Tabel 4.2 Karakterisasi sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik konfigurasi <i>spiral spring</i> dengan variasi jumlah lilitan .....	24

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Foto serat optik .....	29
Lampiran 2. Foto LED (Biru) dan fototransistor (Hitam) .....	29
Lampiran 3. Foto Rangkaian Catu Daya dan Penguat Selisih .....	29
Lampiran 4. Foto sensor serat optik konfigurasi U dan konfigurasi <i>spiral spring</i> tanpa selubung kitosan .....	30
Lampiran 5. Foto larutan kitosan .....	30
Lampiran 6. Foto proses pelapisan sensor dengan kitosan sebagai selubung .....	30
Lampiran 7. Foto sensor serat optik konfigurasi U dan konfigurasi <i>spiral spring</i> dengan selubung kitosan .....	31
Lampiran 8. Foto sensor serat optik dicelupkan ke dalam larutan HgCl <sub>2</sub> .....	31
Lampiran 9. Foto Larutan HgCl <sub>2</sub> .....	31

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Merkuri merupakan unsur logam yang dapat menyebabkan gangguan neurologis pada manusia. Sebagai unsur logam yang ditemukan di beberapa sumber daya di bumi, merkuri dilepaskan melalui proses alami seperti vulkanisme, pelapukan, dan kebakaran, meskipun penelitian menunjukkan bahwa tingkat merkuri di lingkungan telah meningkat tiga kali lipat sejak industrialisasi. Sekitar setengah dari merkuri antropogenik yang dilepaskan berasal dari pembakaran batubara untuk mendapatkan energi. Di udara, unsur merkuri memiliki waktu tinggal yang lama dan dapat menyebar pada jarak yang sangat jauh dari sumbernya menjadikan masalah ini sebagai masalah global. Di dalam air, merkuri akan diubah menjadi komponen metil merkuri oleh mikrobakteri, dan jika sampai masuk ke dalam tubuh maka bisa menyebabkan beberapa kelainan seperti merusak janin pada wanita, mengganggu perkembangan otak bayi, serta mengganggu fungsi ginjal dan hati [1].

Sensor saat ini yang digunakan untuk mengukur tingkat merkuri pada pembangkit listrik atau di lingkungan sudah cukup sensitif namun biayanya mahal dan rumit untuk digunakan. Kekurangan sensor konvensional tersebut dapat diatasi dengan sensor optik. Sensor optik ini memiliki kelebihan diantaranya tidak menggunakan sinyal listrik, derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, sensitivitas dan akurasi pengukuran yang tinggi, ukuran yang lebih kecil dan ringan, serta dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka [2]. Kelebihan lainnya yaitu memiliki kecepatan transmisi cahaya yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan, dan harga relatif terjangkau [3]. Karena kelebihan inilah serat optik sudah banyak dikembangkan sebagai sistem sensor, seperti sensor pergeseran [2], sensor suhu [4], sensor radiasi UV [5], sensor kekeruhan air [6] dan masih banyak lagi penelitian lain menggunakan serat optik.

Penelitian mengenai sensor ion merkuri dalam air menggunakan serat optik telah dilakukan sebelumnya oleh Raj dkk (2016) dengan cara memanfaatkan *gold nanoparticles PVA hybrid* menggunakan metode *Surface Plasmon Resonance* (SPR) [7]. Jia (2017) dengan cara memanfaatkan *gold-nanoparticles core-satellites nanostructure* menggunakan metode *Plasmon Coupling Effect* [8]. Begitu pula Jia (2018) dengan cara memanfaatkan *gold nanoparticles-DNA conjugates* menggunakan metode *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) [9]. Namun, penelitian-penelitian ini sulit dilakukan karena menggunakan alat pendukung dengan harga yang mahal serta proses fabrikasinya yang rumit.

Pada penelitian ini, akan dikembangkan sistem sensor serat optik untuk deteksi ion merkuri dalam air dengan memanfaatkan kitosan menggunakan metode absorpsi gelombang *evanescent*. Metode absorpsi gelombang *evanescent* merupakan suatu metode dalam pengujian sensor serat optik yang memanfaatkan pengaruh indeks bias selubung (*cladding*) terhadap intensitas cahaya yang ditransmisikan dalam serat optik. Metode ini digunakan karena proses fabrikasi yang mudah, biaya murah serta diharapkan mampu menghasilkan sensitivitas yang tinggi pada sistem pengukuran yang sederhana.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana cara merancang dan membuat sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik?
2. Bagaimana metode pengukuran dan pengujian sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik?
3. Bagaimana karakterisasi dari sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Membuat sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik.
2. Mengukur dan menguji sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik.



3. Menganalisis karakteristik sensor ion merkuri dalam air berbasis serat optik plastik.

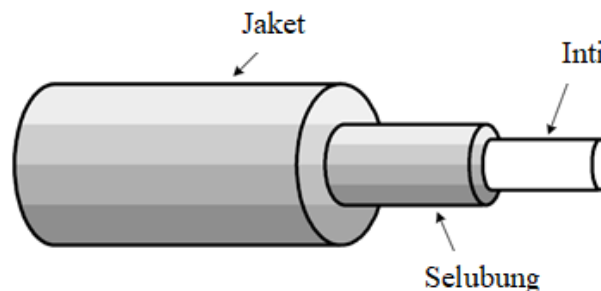
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Serat Optik

Penggunaan serat optik untuk teknologi sensor menawarkan banyak keuntungan dan penggunaannya sangat menjanjikan jika dijadikan sebagai sensor alternatif bila dibandingkan dengan sensor konvensional [3]. Sensor optik ini memiliki kelebihan diantaranya tidak menggunakan sinyal listrik, derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, sensitivitas dan akurasi pengukuran yang tinggi, ukuran yang lebih kecil dan ringan, serta dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka [2]. Kelebihan lainnya yaitu memiliki kecepatan transmisi cahaya yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan, dan harga relatif terjangkau [3].

Berdasarkan intinya, serat optik dapat dibedakan menjadi dua yaitu serat optik plastik dan serat optik kaca. Inti dari serat optik plastik terdiri dari satu atau lebih serat resin akrilik dengan diameter 0,25 - 1 mm. Serat optik plastik sangat ringan, biayanya murah, dan fleksibel. Sedangkan inti serat optik kaca memiliki diameter 10 - 100  $\mu\text{m}$ . Serat optik kaca terbungkus dalam tabung *stainless steel* dan biasanya digunakan pada suhu tinggi, maksimal 350<sup>0</sup>C [10].

Serat optik terdiri dari tiga lapisan yaitu inti (*core*), selubung (*cladding*), dan jaket (*coating*), seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1 [11]:



Gambar 2.1 Struktur serat optik [11]

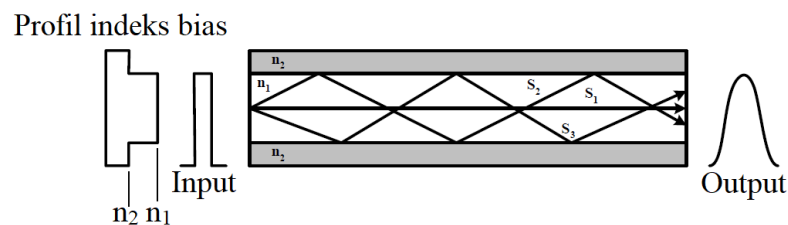
Ketiga lapisan serat optik tersebut memiliki fungsi masing-masing yaitu [12]:

1. Inti, berfungsi sebagai media perambatan cahaya yang akan membawa informasi dari sumber ke penerima.

- Selubung, berfungsi sebagai pemandu cahaya yang berisi informasi agar tidak terjadi rugi daya di dalam inti. Perambatan cahaya pada inti akan dipengaruhi oleh hubungan indeks bias antara inti dan selubung.
- Jaket, berfungsi sebagai pelindung lapisan inti dan selubung agar tidak terjadi kerusakan fisik pada serat optik.

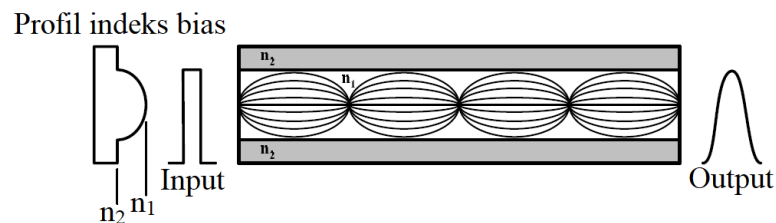
Umumnya, serat optik dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu [11]:

- Mode jamak indeks tangga (*Multimode Step Index*), dengan jari-jari inti 25 - 60  $\mu\text{m}$ , selubung 50 - 150  $\mu\text{m}$ .



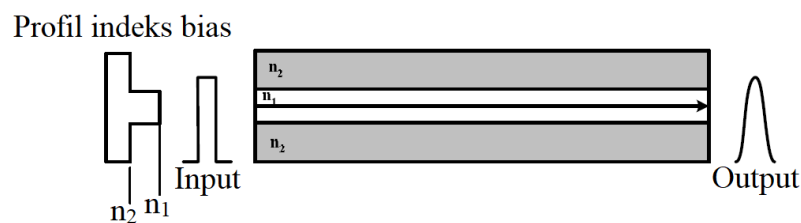
Gambar 2.2 Serat optik mode jamak indeks tangga

- Mode jamak indeks tajak (*Multimode Graded Index*), dengan jari-jari inti 10 - 35  $\mu\text{m}$ , selubung 50 - 80  $\mu\text{m}$ .



Gambar 2.3 Serat optik mode jamak indeks tajak

- Mode tunggal indeks tangga (*Monomode Step Index*), dengan jari-jari inti 1 - 16  $\mu\text{m}$ , selubung 10 - 100  $\mu\text{m}$ .



Gambar 2.4 Serat optik mode tunggal indeks tangga

## 2.2 Karakteristik Transmisi pada Serat Optik

### 2.2.1 Perambatan Cahaya

Masing-masing lapisan pada serat optik memiliki indeks bias yang berbeda, yaitu indeks bias inti ( $n_1$ ), indeks bias selubung ( $n_2$ ), dan indeks bias udara ( $n_A$ ). Indeks bias selubung ( $n_2$ ) lebih kecil dibandingkan dengan indeks bias inti ( $n_1$ ). Perambatan cahaya pada serat optik terjadi karena adanya perbedaan indeks bias antara indeks bias inti dengan indeks bias selubung. Jika seberkas cahaya memasuki medium dengan indeks bias yang berbeda, maka proses pembiasan yang terjadi dapat dijelaskan menggunakan hukum Snellius [12]:

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

Jika sudut datang  $\theta_1$  menghasilkan sudut bias  $\theta_2$  sebesar  $90^\circ$ , maka sudut datang  $\theta_1$  disebut sebagai sudut kritis  $\theta_c$  sehingga [12]:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (2.2)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

Apabila sudut  $\theta_1$  lebih besar daripada sudut kritis, maka sinar tidak bisa lagi dibiaskan tetapi akan mengalami pemantulan internal total [12].

### 2.2.2 Tingkap Numerik (*Numerical Aperture*)

Tingkap numerik merupakan hubungan antara sudut indeks bias ketiga medium (udara, inti, dan selubung) dengan sudut sinar masukan yang dinyatakan dengan [13]:

$$NA = n_0 \sin \theta_{i,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

Beda indeks bias antar inti dan selubung dinyatakan dengan [13]:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (2.5)$$

Perbedaan nilai  $n_1$  dan  $n_2$  sangat kecil, sehingga nilai  $\Delta$  juga kecil, dengan demikian persamaan diatas dapat ditulis [13]:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.6)$$

### 2.3 Gelombang *Evanescent* dalam Serat Optik

Prinsip kerja sensor optik berbasis gelombang *evanescent* didasarkan pada perubahan indeks bias selubung serat optik. Indeks bias dari selubung inilah yang akan menentukan besarnya intensitas gelombang *evanescent* yang terserap, sehingga juga menentukan intensitas gelombang optik yang ditransmisikan melalui inti serat optik [14].

Saat sinar cahaya menjalar pada serat optik, sebagian gelombang terserap ke dalam selubung dan energi gelombang tersebut menghilang secara eksponensial, gelombang *evanescent* diberikan oleh persamaan berikut [14]:

$$E_z = E_0 \exp\left(-\frac{z}{d_p}\right) \quad (2.7)$$

dimana  $z$  adalah jarak penjalaran sinar,  $E_0$  adalah medan gelombang mula-mula dan  $d_p$  disebut *penetration depth* yang dirumuskan sebagai [14]:

$$d_p = \frac{\lambda}{\left(\frac{2\pi}{n}\right) \sqrt{\sin^2\theta - n^2}} \quad (2.8)$$

yang menyatakan kedalaman gelombang memasuki selubung dan berkurang secara eksponensial, dimana  $n = (n_{clad}/n_{core})$ . Dari persamaan di atas tampak bahwa kedalaman penetrasi gelombang *evanescent* bergantung pada nilai indeks bias selubung relatif terhadap indeks bias inti. Semakin dalam penetrasi gelombang *evanescent* semakin kecil intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui *probe* serat optik.

### 2.4 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik

Rugi daya terjadi pada serat optik ketika serat optik bengkok secara signifikan serta memiliki kecacatan pada strukturnya. Pada serat optik yang dilengkungkan terdapat beberapa parameter yang berpengaruh pada hilangnya daya yaitu *fiber strength*, *bend radius*, *Numerical Aperture* dan jumlah lilitan. Karena memiliki potensi manfaat, maka lekukan pada serat optik dapat dikembangkan di berbagai bidang [15].

Ada beberapa faktor yang menyebabkan rugi-rugi daya pada serat optik yaitu [12]:

1. *Microbending*, merupakan rugi daya yang terjadi bila jari-jari lekukan serat optik lebih kecil dibandingkan diameter serat optik.
2. *Macrobending*, merupakan rugi daya yang terjadi bila jari-jari lekukan serat optik lebih besar dibandingkan diameter serat optik.
3. *Splicing Loss*, merupakan rugi daya yang terjadi karena adanya *gap* antara dua serat optik yang disambungkan. Adanya *gap* antara dua serat optik disebabkan oleh dimensi serat optik yang kecil sehingga penyambungan menjadi tidak tepat yang menyebabkan sinar dari serat optik ke serat optik lainnya tidak dapat dirambatkan seluruhnya.
4. *Coupling*, merupakan rugi daya yang terjadi ketika serat optik disambungkan ke sumber cahaya atau fotodetektor. Hal ini disebabkan karena energi yang diradiasikan oleh sumber optik dapat dimasukkan ke dalam serat optik.

Bengkokan pada serat optik akan menyebabkan perubahan indeks bias, sehingga mengakibatkan perubahan lintasan penjalaran suatu sinyal. Rugi-rugi *macrobending* akan menyebabkan perubahan proses penjalaran cahaya pada serat optik sehingga mengakibatkan perubahan kinerja sistem komunikasi serat optik. Semakin banyak jumlah lekukan maka semakin besar rugi daya yang terjadi, serta semakin kecil sudut lekukan maka semakin besar juga rugi daya yang terjadi [16].

## 2.5 Sensor Serat Optik

Serat optik sebagai sensor memiliki beberapa kelebihan, yaitu tidak menggunakan sinyal listrik, derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, sensitivitas dan akurasi pengukuran yang tinggi, ukuran yang lebih kecil dan ringan, serta dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka [2]. Kelebihan lainnya yaitu memiliki kecepatan transmisi cahaya yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan, dan harga relatif terjangkau [3].

Secara umum, sensor memiliki beberapa karakteristik, yaitu [17]:

1. *Range*, merupakan selisih antara keluaran maksimum dan keluaran minimum.

*Range* sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$\Delta = V_{max} - V_{min} \quad (2.10)$$

dimana,  $V_{max}$  adalah tegangan keluaran maksimum dan  $V_{min}$  adalah tegangan keluaran minimum.

2. Sensitivitas, merupakan besar kepekaan sensor terhadap nilai yang diukur. Sensitivitas juga dinyatakan sebagai bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Untuk sensor dengan keluaran tegangan, sensitivitas dapat dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$S = \frac{V_{max} - V_{min}}{K_{max} - K_{min}} \quad (2.11)$$

dimana,  $K_{max}$  adalah konsentrasi maksimum dan  $K_{min}$  adalah konsentrasi minimum.

3. Resolusi, merupakan nilai perubahan terkecil yang terukur di sensor. Resolusi untuk sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$R = \frac{N}{S} \quad (2.12)$$

dimana,  $N$  adalah skala terkecil dari alat ukur dan  $S$  adalah sensitivitas dari sensor.

## 2.6 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik

Piranti pendukung pada sensor serat optik antara lain sebagai berikut [17]:

1. Sumber Cahaya LED

*Light Emitting Diode* (LED) merupakan sumber cahaya yang dipasang di salah satu ujung serat optik yang memiliki panjang gelombang sebesar 950 nm. Sumber cahaya inframerah dari LED akan merambat sepanjang serat optik sehingga dapat diterima oleh detektor pada ujung lain dari serat optik [17].

2. Fototransistor

Fototransistor merupakan salah satu detektor cahaya yang dipasang di salah satu ujung serat optik yang memiliki panjang gelombang 400 - 1100 nm [17]. Fototransistor berfungsi sebagai penerima cahaya yang merambat sepanjang serat optik dan mengubah cahaya menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Jika intensitas cahaya yang diterima fototransistor berkurang maka akan menyebabkan tegangan keluaran menjadi kecil [12].

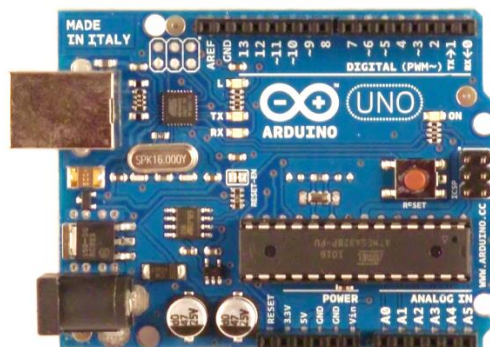
## 2.7 Mikrokontroler Arduino UNO

Arduino UNO adalah papan sirkuit dengan chip yang banyak digunakan dalam pemrograman mikrokontroler karena mudah digunakan. Prinsip kerja dari mikrokontroler Arduino UNO adalah menerima isyarat masukan kemudian mengubahnya menjadi isyarat keluaran yang berupa sinyal keluaran. Arduino UNO berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital karena pada Arduino UNO terdapat *Analog to Digital Converter* (ADC). Isyarat keluaran Arduino berupa sinyal analog yang diperoleh dalam bentuk tegangan akan diubah menjadi sinyal digital kemudian dikirim ke komputer melalui USB [18].

Perangkat Arduino UNO dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu [18]:

### 1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras papan Arduino UNO terdiri dari berbagai komponen yang memiliki berbagai fungsi seperti ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perangkat keras papan Arduino UNO [18]

### 2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak pada mikrokontroler Arduino UNO dinamakan IDE Arduino. IDE Arduino merupakan kumpulan perintah yang menggunakan bahasa pemrograman C yang memuat cara kerja dari perangkat keras dengan membuat kode penyimpanan. IDE Arduino dibagi menjadi tiga bagian yaitu *command area*, *text area* dan *message window area* yang bersifat *open source*.

## 2.8 Kitosan

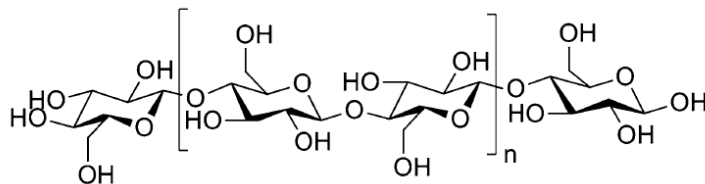
Kitosan merupakan senyawa polimer linier yang diturunkan dari kitin yang terdeasetilasi (pelepasan gugus asetil) pada gugus nitrogennya. Kitosan masih ada



dalam gugus asetil yang terikat pada beberapa gugus nitrogen karena deasetilasi yang terjadi pada kitin hampir tidak pernah selesai. Kitosan merupakan polimer alami yang kebedaannya sangat melimpah di alam seperti selulosa dan kitin. Namun hal tersebut membuat reaktivitasnya menjadi terbatas. Oleh sebab itu, kitosan dapat digunakan sebagai sumber material alami, karena kitosan sebagai polimer alami mempunyai karakteristik yang baik, seperti dapat terbiodegradasi, tak beracun, dapat mengabsorpsi, dan lain-lain [19].

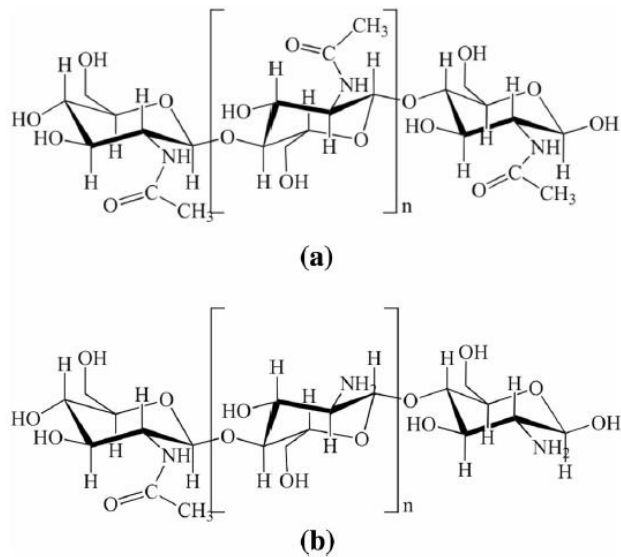
### 2.8.1 Struktur Kimia Kitosan

Struktur kimia kitin dan kitosan sangat mirip dengan selulosa yang terdiri dari beberapa ratus hingga lebih dari seribu  $\beta$  - (1 - 4) yang terhubung ke unit D-glukosa. Dalam struktur kitin dan kitosan, hidroksil pada posisi C-2 selulosa telah digantikan oleh gugus asetamin. Kitosan (2-amino-2-deoksi-D-glukopiranos) adalah turunan dari kitin yang diperoleh dengan mengubah gugus asetamida menjadi gugus amino primer [20].



Gambar 2.6 Struktur kimia dari polimer selulosa [20]

Deasetilasi kitin hampir tidak pernah selesai sehingga kitosan atau kitin hasil deasetilasi masih mengandung gugus asetamida sampai batas tertentu. Tidak seperti selulosa, kitin dan kitosan mengandung 5 - 8% nitrogen, dimana dalam kitin berbentuk gugus amina asetat dan dalam kitosan berbentuk gugus amina alifatik primer, yang membuat kitin dan kitosan cocok untuk reaksi khas amina. Namun, kitosan secara kimiawi lebih aktif daripada kitin karena adanya gugus hidroksil primer dan sekunder pada setiap unit berulang, dan gugus amina pada setiap unit yang terdeasetilasi. Gugus reaktif ini mudah mengalami modifikasi kimia untuk mengubah sifat mekanik dan fisik kitosan [20].



Gambar 2.7 (a) Struktur kimia kitin (b) Struktur kimia kitosan [20]

Keberadaan gugus amina dalam kitin dan kitosan membawa keuntungan besar karena memungkinkan fungsi biologis yang berbeda serta penerapan reaksi modifikasi. Sifat yang sangat baik dari polisakarida ini, seperti biokompatibilitas, biodegradabilitas, bioaktivitas, bioresorptivitas, non-toksik, dan sifat absorpsi yang baik membuat bahan ini sangat cocok dan penting untuk biomaterial dan menarik banyak perhatian industri sebagai alternatif yang memungkinkan untuk polimer sintetik [20].

### 2.8.2 Manfaat Kitosan

Kitosan memiliki beberapa manfaat antara lain [19]:

#### 1. Bidang Pertanian

Kitosan dapat dimanfaatkan sebagai mekanisme pertahanan pada tumbuhan (seperti vaksin bagi manusia) serta menstimulasi pertumbuhan dan merangsang enzim tertentu (sintesa fitoaleksin, chitinase, pectinase, glucanase dan lignin).

#### 2. Bidang Pengolahan Air

Kitosan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan membran ultrafiltrasi karena kitosan dapat menyerap ion logam berat.

### 3. Bidang Kesehatan

Kitosan dapat dimanfaatkan sebagai bakteriostatik, imunologi, anti tumor, *cicatrizant*, homeostatik dan anti koagulan, obat salep untuk luka, ilmu pengobatan mata, ortopedi dan penyembuhan jahitan akibat pembedahan.

## 2.9 Merkuri

Merkuri adalah logam berat yang diketahui mengandung racun. Merkuri ada dalam beberapa bentuk yaitu merkuri anorganik dan merkuri organik. Merkuri anorganik meliputi logam merkuri, uap merkuri ( $\text{Hg}^0$ ), *mercurous* ( $\text{Hg}_2^{++}$ ), serta garam merkuri ( $\text{Hg}^{++}$ ). Merkuri organik meliputi senyawa dimana merkuri berikatan dengan struktur yang mengandung atom karbon (metil, etil, fenil, atau kelompok serupa). Perilaku biologis, farmakokinetik, dan signifikansi klinis dari berbagai bentuk merkuri bervariasi dengan struktur kimia [21].

Ada beberapa pertentangan antara berbagai bentuk merkuri. Misalnya, uap unsur merkuri yang dihirup, mudah diserap melalui selaput lendir dan paru-paru dan dengan cepat teroksidasi menjadi bentuk lain (tetapi tidak begitu cepat sehingga mencegah pengendapan unsur merkuri dalam otak). Metil merkuri mudah diserap melalui usus dan mengendap di banyak jaringan, tetapi tidak melewati penghalang darah - otak seefisien unsur merkuri, namun saat memasuki otak, ia semakin didemetilasi (pelepasan gugus metil) menjadi unsur merkuri. Sebaliknya, garam merkuri cenderung tidak larut, relatif stabil, dan kurang terserap [21].

Keracunan merkuri pada manusia bervariasi, tergantung bentuk, dosis, dan tingkat paparan merkuri. Ketika menghirup uap merkuri maka akan mengganggu organ terutama otak. *Mercurous* dan garam merkuri akan merusak lapisan usus dan ginjal, sementara metil merkuri didistribusikan secara luas ke seluruh tubuh. Keracunan merkuri bervariasi sesuai dosis, paparan akut uap unsur merkuri akan menyebabkan pneumonitis parah, yang dalam kasus ekstrim bisa berakibat fatal. Paparan kronis kadar rendah pada unsur atau bentuk lain dari merkuri akan menyebabkan gejala dan temuan klinis yang lebih halus [21].