



**KAJIAN *CROSS SENSITIVITY* FABRY-PEROT
INTERFEROMETER BERBASIS LAPISAN KITOSAN
PADA SERAT OPTIK TERHADAP ION LOGAM Cd^{2+} ,
 Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+}**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Ni'ama Akmalia

4211413034

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2018

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

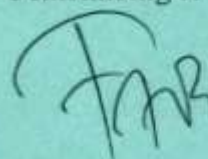
Semarang, 23 Januari 2018

Pembimbing I



Dr. Ian Yulianti, S.Si., M.Eng.
NIP.197707012005012001

Pembimbing II



Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197901212005012002

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini hasil karya saya, bukan jiplakan dan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 6 Februari 2018

Penulis



Ni'ama Akmalia
NIM. 4211413034

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Kajian *Cross Sensitivity Fabry-Perot Interferometer* Berbasis Lapisan
Kitosan pada Serat Optik terhadap Ion Logam Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+}

disusun oleh

Ni'ama Akmalia
4211413034

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika

FMIPA UNNES pada tanggal 23 Januari 2018

Panitia:



Ketua

Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.

NIP. 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP. 19680714 199603 1 005

Ketua Penguji

Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.

NIP. 198108152003121003

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Dr. Ian Yulianti, M. Eng
NIP. 197707012005012001

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D
NIP. 197901212005012002

MOTTO

لا حول ولا قوة الا بالله

Tidak ada kekuatan kecuali Allah. Semua hal adalah kekuasaan-Nya. Semua yang terjadi adalah kehendak-Nya. Hakikatnya manusia tak berdaya apapun dan tak kuasa atas apapun. Terimakasih ya Allah, atas segala rohman rohim, kasih sayang, kemurahan yang engkau curahkan pada hamba.

I WILL FEEL ALIVE WHEN I LIVE THE LIFE OF OTHERS~ Akmalia

PERSEMBAHAN

Untuk Allahku, Nabi Muhammad, Agamaku, Ulama' dan para pejuang islam. Keluarga dan dosen yang luar biasa istimewa Abah, Umi, Mbak yusrin, Dek arina, Dek Najwa, Bu Ian, Bu Fianti yang senantiasa memberikan support, doa dan kasih sayang yang semoga Allah membalas kebaikan kalian dengan hal yang jauh lebih baik. Untuk calon imamku yang selalu ku harap kebaikan juga untuknya dan semua sahabatku.

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamin atas segala yang Allah berikan. Allahumma sholli wasalim ala sayyidina Muhammad, suri tauladan yang semoga kelak kita semua mendapatkan syafaatnya.

Terselesaikannya skripsi dengan judul “*Kajian Cross Sensitivity Fabry-Perot Interferometer Berbasis Lapisan Kitosan pada Serat Optik terhadap Ion Logam Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+}* ” tidak terlepas dari bimbingan, masukan, saran, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan yang berbahagia ini penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Nabi Muhammad, yang selalu memberi semangat sekalipun belum pernah bertemu.
2. Umi, abah, mbak yusrin, dek arin, dek najwa, dan mas tain atas segala doa yang selalu dipanjatkan, semangat yang selalu disuntikkan, kesabaran dan dukungan yang tak henti-hentinya diberikan.
3. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. selaku Kepala Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang.
6. Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang

7. Dr. Ian Yulianti, M.Eng. Ibu sekaligus dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan kasih sayang serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, peningkatan keimanan dan motivasi.
8. Drs. Fianti, M.Sc., Ph.D. Ibu sekaligus dosen pembimbing II yang selalu memberi semangat dan keberanian yang inshallah bermanfaat untuk next step ahead to face new stage.
9. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., selaku dosen penguji yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
10. Asisten Laboratorium Fisika: R. Muttaqin, S.Si., Natalia Erna S., S.Pd., dan Wasi Sakti Wiwit P., S.Pd., yang telah membantu selama proses penelitian skripsi ini.
11. Seluruh dosen Fisika Unnes yang telah membimbing dan mengajarkan ilmu selama belajar di Unnes.
12. Sunarno, S.Si. M.Si. selaku dosen wali yang sangat perhatian dan memberikan doanya.
13. Trio yang semoga shalilah, Ida vaeruzah albadi'ah dan Diah ary pratiwi. Semoga Allah ridho atas semua kebaikan kalian yang setia menemani dan membantu ni'ama.
14. Sahabat-sahabatku yang sudah seperti saudara yang merupakan kebahagiaan memiliki kalian semua. Mbak dina, Barbie, Seno, Widya, Mazid, Fika, Winji,

Amin, Titis, Cicik, Adit, Teman fisika 2013, mbak rofi yang membantu dengan tulus keberlangsungan skripsi ini.

15. Keluarga kos barokah, mbak mona, oca, tara, citra, devi, devita, mbak retno yang selalu memberi semangat dan senyuman yang hangat sehingga mampu membangkitkan tekad kembali.
16. Programmer yang menciptakan Microsoft Office, Origin, penemu yang menciptakan laptop, printer, tukang foto copy dan sebagainya.
17. Orang yang akan menjadi penyempurna imanku, yang semoga Allah senantiasa menjaga dan merahmatimu, sayangku. Walau untuk saat ini akupun tak tahu siapakah dirimu, tapi kaulah tempat meletakkan secara permanen aku sebagai tulang rusukmu. Semoga kau selalu bahagia bersamaku.
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini. Semoga amal dan budi baiknya mendapat balasan yang lebih dari Allah SWT.

Hanya balasan dari Allah yang patut kalian dapatkan. Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan, oleh sebab itu dibutuhkan saran dalam bentuk apapun yang dapat membangun ke depannya. Semoga penelitian yang sederhana ini dapat bermanfaat dunia akhirat.

Semarang, 15 Januari 2018

Penulis

ABSTRAK

Akmalia. N. 2018. *Kajian Cross-Sensitivity Fabry-Perot Interferometer Berbasis Lapisan Kitosan pada Serat Optik terhadap Ion Logam Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+}* . Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Ian Yulianti, M.Eng. dan Pembimbing Pendamping Fianti, M.Sc., Ph.D

Kata Kunci : Sensor Optik, Fabry-Perot, Kitosan, dan Logam Berat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sensitivitas dan waktu respon sensor sensor optik berlapis kitosan dengan metode Fabry-Perot terhadap berbagai macam ion logam berat yaitu Cd, Pb, Hg dan Ni. Fabrikasi sensor dilakukan dengan melapisi ujung sensor menggunakan kitosan dengan teknik *dip-coating*. Sensor dikarakterisasi menggunakan Optical Power Meter (OPM) dan Optical Light Source (OLS) dimana dari karakterisasi tersebut akan didapatkan nilai sensitivitas dan waktu respon. Hasil karakterisasi pertama menunjukkan nilai paling sensitif adalah Hg dengan nilai sensitivitas -0,2152 dBm/ppm dengan koefisien korelasi 81,10%. Nilai sensitivitas Pb dengan nilai sensitivitasnya adalah -0,177 dBm/ppm dengan koefisien korelasi 84%. Nilai sensitivitas ion Cd sebesar -0,1685 dBm/ppm dengan koefisien korelasi 90,77%. Ni yang menghasilkan nilai sensitivitas terendah adalah ion Ni dengan nilai sensitivitasnya sebesar -0,1145 dBm/ppm dengan koefisien korelasi 93,23%. Nilai sensitivitas yang dihasilkan dipengaruhi oleh perbedaan jari-jari ion dimana jari-jari ion Hg merupakan jari-jari terbesar dibandingkan ion logam Cd, Pb dan Ni. Waktu respon tercepat secara berurutan adalah Hg, Pb, Cd, dan Ni dengan waktu respon 30, 41,5, 42,5, dan 46,5 detik. Dapat disimpulkan bahwa sensor serat optik berbasis Fabry-Perot Interferometer tidak sensitif terhadap satu ion logam saja namun sensitif juga terhadap ion logam Cd, Pb, Hg dan Ni.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Logam Berat.....	8
2.1.1 Kadmium.....	8
2.1.2 Timbal	9

2.1.3 Nikel.....	11
2.1.4 Merkuri	11
2.2 Serat Optik	13
2.2.1 Penjalaran Gelombang dalam Sensor Optik	14
2.2.2 Fabry-Perot Interferometer	16
2.3 Sensor Optik.....	18
2.3.1 Klasifikasi Sensor Optik	18
2.3.2 Parameter Karakterisasi Sensor	21
2.4 Kitosan	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Persiapan Alat dan Bahan	25
3.2 Eksperimen	28
3.2.1 Fabrikasi.....	29
3.3.2 Pembuatan Larutan	30
3.3.3 Karakterisasi	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Fabrikasi Sensor Serat Optik	33
4.2 Cross Sensitivity Sensor	35
4.3 Waktu Respon.....	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Simpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46

LAMPIRAN.....	50
---------------	----

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Akumulasi Timbal Dalam Tubuh	10
Gambar 2.2. Skema dari Sebuah Serat Optik	13
Gambar 2.3. Arah rambatan cahaya mendekati garis normal	15
Gambar 2.4. Arah rambatan cahaya menjauhi garis normal.....	15
Gambar 2.5. Rancangan serat yang dilapisi kitosan dengan prinsip Fabry-Perot Interferometer (Yulianti, <i>et.al.</i> , 2016).....	17
Gambar 2.6. Skema Sensor Serat Optik Intrinsik	19
Gambar 2.7. Skema Sensor Serat Optik Ekstrinsik	19
Gambar 2.8. Struktur kimia kitosan.....	23
Gambar 3.1. <i>Flow Chart</i>	24
Gambar 3.2. <i>Stripper Three Hole</i>	25
Gambar 3.3. <i>Optical Power Meter</i>	25
Gambar 3.4. <i>Optical Light Source</i>	26
Gambar 3.5. Serat Optik	26
Gambar 3.6. <i>Splitter</i>	27
Gambar 3.7. Alat <i>SEM-EDX</i>	27
Gambar 3.8. Kitosan	28
Gambar 3.9. Kitosan yang dilarutkan menggunakan <i>splitter</i>	29
Gambar 3.10. Setup Karakterisasi	31
Gambar 4.1. Hasil <i>sensor optic yang telah dicoating</i> (a) Serat ensor <i>Optic</i> yang telah dipasang <i>connector</i> (b) Ujung serat <i>optic</i>	33
Gambar 4.2. Hasil serat optik yang telah di CCD (a) Sampel A (b) Sampel B (c) Sampel C (d) Sampel D	34

Gambar 4.3. Hasil karakterisasi serat optik menggunakan OPM dan OLS untuk tiap ion logam berat. Intensitas cahaya dari sensor vs konsentrasi logam berat (a) Cd (b) Pb (c) Hg (d) Ni	36
Gambar 4.4. Waktu respon serat optik untuk masing-masing sensor (a) Cd (b) Pb (c) Hg dan (d) Ni.....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Ketebalan <i>Coating</i> Masing-Masing Sensor.....	35
Tabel 4.2. Nilai Sensitivitas dan Koefisien Korelasi Tiap Sampel.....	38
Tabel 4.3. Hasil SEM-EDX Kandungan Unsur Ion Logam Berat.....	39
Tabel 4.4. Perbandingan Jari-Jari Atom dengan Presentase Penyerapan ..	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan.....	50
Lampiran 2. Hasil SEM-EDX	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Keberadaan ion logam berat mudah ditemukan di dalam aspek kehidupan terutama pada bidang lingkungan. Tidak dapat dipungkiri, logam berat yang salah satunya bersumber dari polutan kendaraan dan limbah industri telah menimbulkan berbagai permasalahan. Baik masalah lingkungan, keberlangsungan ekosistem dan masalah kesehatan.

Logam berat sangat berbahaya karena beracun dan tidak mudah terurai dalam tubuh manusia (Pang *et al.*, 2008). Beberapa jenis logam berat tertentu yang akan membahayakan apabila melebihi ambang batas yang telah ditetapkan diantaranya adalah Cd dan Pb. Kadmium menyumbang peran penting di industri dan polusi lingkungan, dimana logam ini dapat menimbulkan berbagai kerugian yang berdampak pada lingkungan manusia dan hewan (Yan *et al.*, 2012). Menurut WHO, konsumsi per minggu kadmium yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 g per orang atau 7 mg per kg berat badan. Pemasukan Cd melalui makanan adalah 10-40 mg/hari, sedikitnya 50% diserap oleh tubuh.

Logam berat selain kadmium diantaranya adalah timbal dimana logam tersebut dapat dihasilkan dari aktivitas peleburan logam, pertanian, dan industri. Timbal yang banyak ditemukan di limbah industri kebanyakan berbentuk endapan karena mudah terlarut (Kumar *et al.*, 2016). Timbal ini sifat beracun yang mempengaruhi kinerja ginjal, saraf, *hematologic*, dan *hemetotoxic* (Charlena,

2004). Rekomendasi dari WHO, logam berat timbal dapat ditoleransi dalam seminggu dengan takaran 50 mg/kg berat badan untuk dewasa dan 25 mg/kg untuk anak-anak.

Disamping kadmium dan timbal, logam berat lainnya yakni nikel termasuk logam berat beracun dibandingkan dengan logam transisi lainnya. Nikel termasuk elemen yang beracun dimana dapat menyebabkan rusaknya sistem pernapasan dan kanker (Nielsen *et al.*, 1999). Selain itu, nikel dapat menyebabkan penyakit kulit yang biasa disebut *nickel-eczema* (Bavili-tabrizi *et al.*, 2003). Penelitian menunjukkan bahwa nikel dapat menjadi penyebab timbulnya resiko penyakit lain dimana penderita yang mengidap penyakit lebih cepat terserang penyakit lain akibat dari konsumsi air dan makanan yang mengandung nikel. Polusi lingkungan juga banyak didominasi nikel pada level tertentu (Sun *et al.*, 2006).

Berbagai jenis logam berat yang ada beserta efek berbahaya yang ditimbulkan, berbagai upaya yang telah dilakukan baik pada aspek penanggulangan ataupun pencegahan. Upaya penanggulangan yang pernah dilakukan diantaranya menggunakan metode penukaran ion, pengendapan, dan elektrolisis. Beberapa metode tersebut masih terdapat kelemahan seperti pada metode elektrolisis yang membutuhkan energi besar dalam pengoperasiannya (Wiyarsi & Priyambodo, 2008). Penanggulangan yang telah dilakukan juga harus diimbangi dengan pencegahan seperti diperlukan adanya alat yang mampu mendeteksi kontaminan logam berat. Pendeteksian ion logam berat (seperti Hg, Pb, Ni, Zn, dan As) makin penting untuk dilakukan di dalam pemantauan karena

logam berat tersebut berkontribusi besar terhadap penyebab timbulnya alergi, efek karsinogenik, kanker pada manusia (Yang *et al.*, 2016) dan dampak bahaya pada ekosistem (Mc donagh *et al.*, 2008). Oleh karena itu, kebutuhan sensor untuk bahan kimia terus berkembang pesat sejalan dengan pengaruhnya terhadap lingkungan tersebut (Fu dan Wang, 2011).

Pembaharuan yang lebih modern dari sistem konvensional untuk mendeteksi logam perlu dilakukan karena menenentukan jenis ion logam di dalam air dan lingkungan merupakan hal yang sulit karena disebabkan dari berbagai macam faktor, salah satunya adalah rendahnya konsentrasi ion logam tersebut (Bavili-tabrizi, 2003). Pemakaian biomaterial seperti lumut, daun teh, dan sekam padi telah digunakan sebagai bahan penyerap logam berat dalam air. Adsorben yang telah digunakan seperti sekam padi untuk menghilangkan Cd dan Cr (Khan *et al.*, 2004) kulit singkong untuk menghilangkan Cu dan Pb (Hasrianti, 2009), dan kitosan untuk adsorben Zn, Cd, Cu, Pb, Fe dan Mg (Wiyarsi dan Priyambodo 2008). Kitosan sering digunakan karena tidak beracun dan memiliki respon yang bagus untuk agen pengkelat logam berat. Walaupun kitosan memiliki potensi yang multiguna, tetapi kemampuan adsorben perlu ditingkatkan dengan cara memodifikasi kitosan tersebut.

Sensor yang kompatibel adalah sensor yang menggunakan sensor optik. Serat optik secara intensif telah diselidiki pada berbagai bidang sensor dengan karakteristik yang berbeda untuk *multiplexing*, *sensing remote*, serta fleksibilitas, kepekaan, dan keakuratan tinggi. Berbagai penelitian telah dibuat untuk

memanfaatkan sensor optik seperti regangan, suhu, indeks bias, *ultrasound*, dan lain sebagainya (Lee *et al.*, 2012).

Dewasa ini, penelitian tentang sensor optik telah banyak dikembangkan dan digunakan dengan kelebihan seperti tahan terhadap derau elektromagnetik, kompak, dan biaya lebih rendah. Selain itu, sensor optik memiliki rugi transmisi rendah, berukuran kecil dan ringan, dan *bandwidth* yang lebar. Dari kelebihan tersebut sensor optik dapat dipertimbangkan untuk penggunaan sensor ion logam berat (Chen *et al.*, 2012).

Perkembangan alat pendeteksi logam berat seperti absorpsi (Du *et al.*, 2007), fluoresensi (Avcı dan Kaya, 2015), dan reflektansi (Choudharya *et al.*, 2009). Sejauh penelitian yang telah dilakukan, terdapat empat jenis karakteristik khusus interferometer, termasuk Fabry-Perot, Mach-Zehnder, Michelson, dan Sagnac (Zhu, 2012). Dalam beberapa penelitian terakhir, Fabry-Perot Interferometer (FPI) telah menerima banyak perhatian untuk berbagai aplikasi pengukuran seperti pengukuran regangan, temperatur, dan gelombang (Beard dan Mills 1996). Untuk FPI, dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu yang pertama FPI ekstrinsik dimana rongga eksternal untuk serat dan yang kedua adalah FPI intrinsik dimana rongga terkandung dalam serat. Secara umum, rongga FPI ekstrinsik dapat dibentuk oleh udara atau polimer (Chen *et al.*, 2012). Berdasarkan FPI ekstrinsik yang memiliki karakteristik polimer-rongga, FPI dapat dirancang untuk kebutuhan khusus seperti deteksi sensitivitas suhu tinggi, dan deteksi molekul. Selain itu, secara keseluruhan FPI merupakan struktur yang memiliki proses fabrikasi yang relatif sederhana dan murah (Zhu, 2012).

Kelebihan yang dimiliki metode FPI tersebut dinilai sesuai untuk pengaplikasian sensor bahan kimia.

Sensor serat optik berbasis FPI dengan menggunakan lapisan kitosan untuk deteksi ion logam kadmium telah dilakukan pada penelitian terdahulu (Yulianti *et al.*, 2016). Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian tersebut hanya berfokus pada ion kadmium. Namun, selain dapat menyerap kadmium, kitosan juga dapat menyerap ion logam yang lain seperti Cd, Pb, Hg dan Ni (Resmianty, 2012). Oleh karena itu, terdapat kemungkinan sensor serat optik FPI berbasis lapisan kitosan juga memberikan respon terhadap ion logam berat lain, yang mana hal ini tidak diinginkan dari sebuah sensor. Dengan kata lain, sebuah sensor yang memiliki sensitivitas terhadap faktor lain atau mudah dipengaruhi oleh faktor lain selain parameter yang akan diukur memerlukan perbaikan untuk menghilangkan atau mereduksi pengaruh faktor lain tersebut. Dalam hal sensor serat optik FPI berbasis lapisan kitosan, pengaruh ion logam berat lain selain kadmium terhadap keluaran sensor, atau dengan kata lain sensitivitas sensor terhadap ion logam berat lain, belum diketahui. Dengan demikian, perlu dilakukan kajian untuk mengetahui sensitivitas sensor serat optik FPI berbasis lapisan kitosan terhadap ion logam berat yang lain (*cross-sensitivity* terhadap berbagai jenis ion logam berat), sehingga dapat diketahui langkah selanjutnya untuk kompensasi *cross-sensitivity* untuk meningkatkan kemampuan dan kinerja sensor tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan kajian tentang sensitivitas dari sensor serat optik FPI berbasis lapisan kitosan terhadap berbagai jenis ion logam berat yaitu Pb, Cd, Hg dan Ni.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimanakah karakteristik sensor sensor optik terhadap masing-masing ion logam Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+} baik sensitivitas, dan waktu respon.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian dibatasi agar tujuan terealisasi dengan benar. Pembatasan masalah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sensor optik yang digunakan adalah sensor optik silika singlemod berdiameter $9 \mu m$
2. Alat yang digunakan untuk mengukur transmisi cahaya adalah Optical Power Meter (OPM) dengan sumber dari Optical Light Source (OLS)
3. Sensor optik berlapis kitosan berbasis Fabry-Perot
4. Bahan untuk pelapisan adalah kitosan
5. Ion logam yang diuji adalah Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+} .

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan diatas, tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik sensor sensor optik untuk pendeteksian berbagai logam berat Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+} berupa sensitivitas dan waktu respon.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini akan didapat hasil kajian *cross sensitivity*, tingkat sensitivitas, dan waktu respon dari pendeteksian sensor sensor optik Fabry-Perot berbasis kitosan terhadap logam berat (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+}) dan jenis logam apa yang menunjukkan respon paling bagus. Oleh karena itu, sensor dapat digunakan untuk pengambilan data yang lebih akurat dan hasil yang efisien untuk jenis logam tertentu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia dengan berat jenis yang lebih besar dari 5 cm/g^3 , densitas rendah, dengan berat atom 200,6 g/mol. Logam berat hampir sama dengan kriteria logam lain, hanya saja akibat yang ditimbulkan dari logam berat lebih berbahaya (Sobirin, 2010). Sifat toksik pada limbah logam berat menyebabkan logam berat tersebut berbahaya. Berbagai macam logam berat yang beracun diantaranya Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Hg^{2+} (Yulaipi & Aunurohim, 2013).

Berdasarkan tingkat beracunnya suatu logam, logam berat dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok:

1. Sangat beracun, menyebabkan kematian yang dapat pulih dalam jangka waktu cepat seperti (Hg, Pb, Cd, dan Cr).
2. Moderat, mengakibatkan gangguan fisik dan pulih dalam jangka waktu yang lama seperti (Mn, Li, Co dan Cu)
3. Kurang beracun, dalam jumlah besar logam ini akan menimbulkan kesehatan seperti (Ag, K, Mg, dan Ni).
4. Tidak beracun, dimana logam ini tidak mengganggu kesehatan dan tidak berbahaya seperti (Na, Al, dan Ca) (Palar, 1994)

2.1.1 Kadmium

Kadmium (Cd) adalah logam putih yang lunak, dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Waktu paruhnya 30 tahun dan dapat terakumulasi pada ginjal,

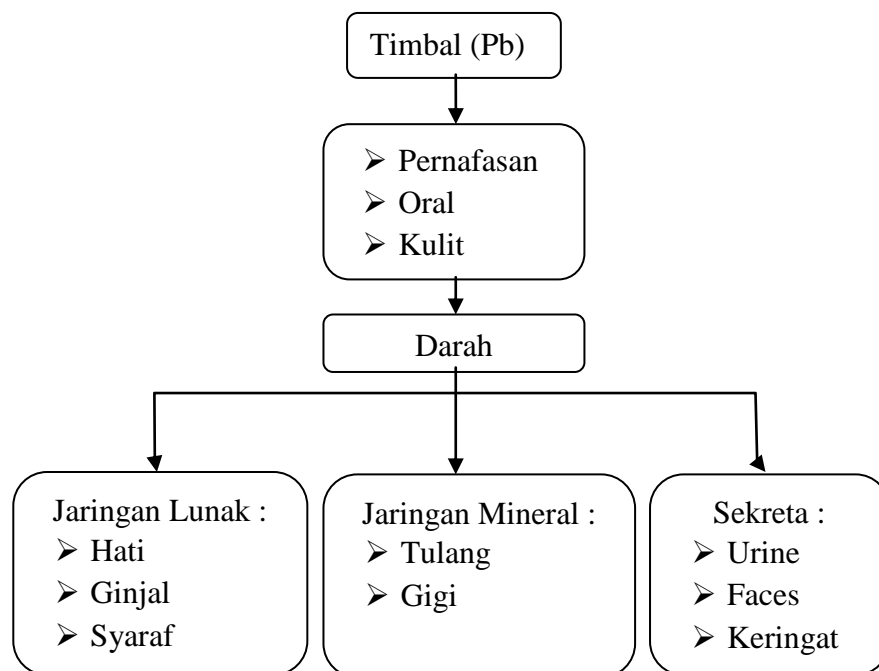
sehingga ginjal mengalami disfungsi. Kadmium yang memiliki nomor atom 48 dengan berat atom 112,40 dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C tersebar luas dan mudah teroksidasi oleh udara bebas. Cd yang mempunyai dua valensi (Cd^{2+}) terdapat di perairan alami dengan kadar berkisar antara 0,29-0,55 ppb dengan rata-rata 0,42 ppb (Sanusi, 2006). Menurut badan dunia WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 g per orang atau 7 mg per kg berat badan. Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Waktu paruh kadmium 10-30 tahun. Akumulasi pada ginjal dan hati 10-100 kali konsentrasi pada jaringan yang lain.

Pada tubuh manusia, kadmium mengalami dieliminasi melalui urin. Proporsi penyerapan Cd adalah absorpsi melalui pernafasan yaitu antara 10-40%, tergantung keadaan fisik. Uap kadmium sangat toksis dimana diperkirakan 10 menit terpapar kadmium bisa terhirup sampai dengan 190 mg/m³ dan selama 240 menit akan dapat menimbulkan kematian. Jika terpapar oleh kadmium (Cd) secara akut dapat menyebabkan gejala *nausea* (mual), kram otot, anemia, dermatitis, pertumbuhan lambat, kerusakan ginjal dan hati, dan gangguan kardiovaskuler. Perkiraan dosis mematikan akut adalah sekitar 500 mg/kg untuk dewasa dan efek dosis akan nampak jika terabsorpsi 0,043 mg/kg per hari (Widaningrum *et al.*, 2007).

2.1.2 Timbal

Timbal merupakan logam berat yang sangat beracun, berwarna abu-abu dengan titik didih 1620°C dan titik leleh 327,5°C (Dewi, 2012). Sumber

pencemaran utama emisi gas buang kendaraan bermotor adalah timbal. Selain itu penambahan aditif pada bahan bakar yang berfungsi untuk memperbaiki mutu bakar juga menggunakan timbal. Komponen ini beracun terhadap seluruh aspek kehidupan (Naria, 2005). *Public Health Service* Amerika Serikat menetapkan bahwa sumber air tidak boleh mengandung timbal lebih dari 0,05 mg/L kemudian rekomendasi dari WHO, batas minimal timbal dalam air sebesar 0,1 mg/L dan Indonesia menetapkan nilai ambang batas untuk timbal untuk air minum berdasarkan Permenkes RI No. 416 tahun 1990 sebesar 0,05 mg/L. Timbal dapat menyebabkan keracunan pada sistem saraf, *hematologic*, dan mempengaruhi kerja ginjal. Mekanisme masuknya timbal ke dalam tubuh dapat melalui sistem pernafasan, oral ataupun melalui kulit. Gambar 2.1 yang menunjukkan akumulasi timbal dalam tubuh.



Gambar 2.1. Akumulasi Timbal Dalam Tubuh. Sumber: Depkes RI, 2001.

2.1.3 Nikel

Nikel yang masuk dalam kelompok logam transisi adalah logam berwarna putih perak yang keras. Nikel mempunyai titik didih sebesar 283°C, titik lebur 155°C dengan massa jenis 8,9 g/mL. Keberadaan nikel dapat ditemukan dalam batu baterai nikel-kadmium, dan diaplikasikan untuk baja tahan karat. Selain digunakan untuk aplikasi tersebut sumber utama kontaminan logam nikel berasal dari udara dan air (Mayr *et al.*, 2003). Oleh karena itu, melalui udara saat bernapas, air untuk konsumsi maka logam nikel termasuk salah satu logam berat yang berbahaya bagi manusia karena sifatnya yang karsinogen yang mampu merusak DNA dan menyebabkan iritasi serta imun-toksisitas. Nikel dapat masuk melalui proses penghirupan, makanan dan minuman yang terkontaminasi (Yuan & El-sherif, 2003).

2.1.4 Merkuri

Merkuri adalah unsur logam yang mempunyai nomor atom 80 serta mempunyai massa molekul relatif 200,59 (Järup, 2003). Merkuri (Hg) merupakan logam yang berbentuk cair pada suhu kamar. Logam murninya cair tak berbau, mengkilap, dan berwarna keperakan. Pengaruh yang ditimbulkan oleh merkuri adalah dapat terhambatnya kinerja enzim dan mengikat dengan dalam molekul enzim dan dinding sel.

Merkuri termasuk logam yang sangat berbahaya karena merkuri dapat menyebabkan kerusakan otak, hati, dan ginjal. Merkuri dapat digolongkan sebagai merkuri anorganik dan merkuri organik. Merkuri anorganik pada tahap

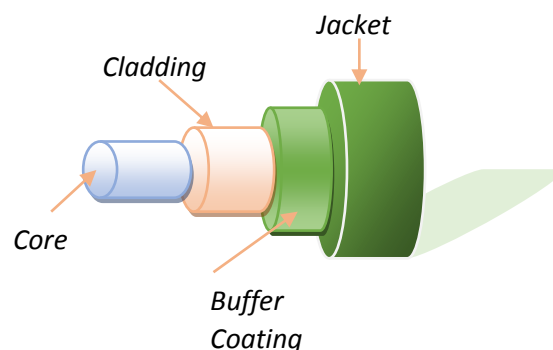
pengoksidan, Hg^{2+} adalah lebih reaktif karena dapat membentuk kompleks dengan ligan organik, terutama golongan sulfhidril (Herman & Zulkipli, 2006).

Merkuri dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Polutan merkuri banyak dihasilkan oleh aktivitas industri pembangkit listrik. Paparan merkuri dapat membahayakan manusia dan tanaman (Wolfbeis, 2005). Oleh karena itu, *U.S. Food and Administration* (FDA) menentukan pembakuan atau Nilai Ambang Batas (NAB) kadar merkuri yang ada dalam jaringan tubuh badan air, yaitu sebesar 0,005 ppm. Agen Perlindungan Lingkungan memperbolehkan tingkat maksimum merkuri pada air minum adalah 2,0 ppb (Liu *et al.*, 2009). NAB yaitu suatu keadaan dimana suatu larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Kadar merkuri jika sudah melampaui NAB dalam air atau makanan, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya. NAB air yang mengandung merkuri total 0,002 ppm baik digunakan untuk perikanan. Pedoman buku mutu lingkungan menjelaskan bahwa, kadar merkuri pada makanan yang dikonsumsi langsung maksimum sebesar 0,001 ppm. Kadar merkuri yang aman dalam darah maksimal 0,04 ppm. Kadar merkuri sebesar 0,1-1 ppm dalam jaringan sudah dapat menyebabkan munculnya gangguan fungsi tubuh.

2.2 Serat Optik

Tiga komponen utama pada serat optik yaitu: *Buffer*, *cladding*, dan inti (*core*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perlindungan serat dari kerusakan fisik dari kondisi eksternal seperti goresan, kotoran, dan kerusakan lain merupakan kegunaan dari *buffer* atau lapisan luar. Terbuat dari bahan dielektrik dengan indeks bias yang lebih kecil dari *core*, *cladding* umumnya terbuat dari cermin atau plastik. Bagian *cladding* memiliki indeks bias yang lebih kecil agar secara efektif bekerja untuk merefleksikan cahaya yang menyimpang dari lintasan kembali ke inti dan memastikan transmisi cahaya yang melalui inti dengan *loss energy* yang sedikit. Sedangkan *core* adalah batang silinder dari bahan dielektrik dan umumnya terbuat dari bahan silika (SiO_2) atau plastik.

Perambatan cahaya terjadi di sepanjang *core* sensor. Indeks bias yang lebih tinggi pada inti daripada dari *cladding* memantul dan menyebabkan pantulan internal total cahaya.



Gambar 2.2. Skema dari Sebuah Serat.

2.2.1 Penjalaran Gelombang dalam Sensor Optik

Pemantulan internal sinar optik yang terjadi pada perbatasan *core* dan *cladding* menyebabkan terjadinya perambatan cahaya karena adanya perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*. Selain itu dapat terjadi pembiasan pada cahaya karena cahaya datang tidak tegak lurus terhadap bidang batas/ sudut datang lebih kecil dari 90° . Hal ini dapat dijelaskan melalui hukum Snellius yakni jika seberkas cahaya memasuki suatu medium dengan indeks bias yang berbeda maka terjadilah proses pembiasan cahaya atau refraksi.

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

dimana

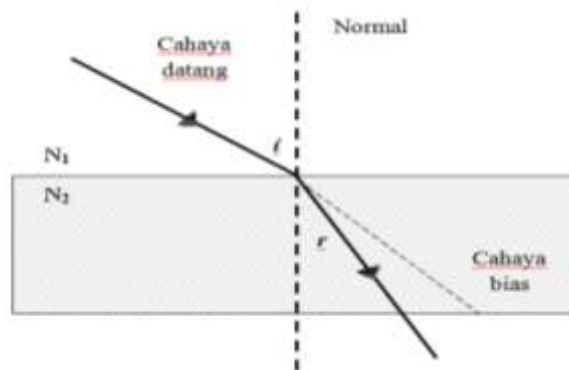
n_1 : indeks bias medium yang dilalui sinar datang

n_2 : indeks bias medium yang dilalui sinar bias

θ_1 : sudut datang

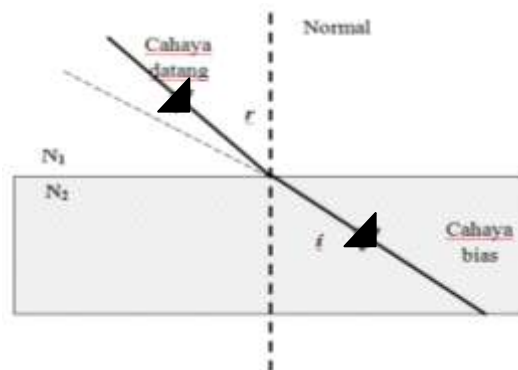
θ_2 : sudut bias

Berdasarkan arahnya, pembiasan cahaya dapat dibagi menjadi dua yaitu ketika mendekati garis normal dan menjauhi garis normal. Arah cahaya akan mendekati garis normal ketika cahaya merambat dari medium optik kurang rapat ke medium optik yang lebih rapat dengan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Arah rambatan cahaya mendekati garis normal.

Untuk arah yang menjauhi garis normal maka perambatan cahaya terjadi dari medium optik lebih rapat ke medium yang kurang rapat seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Arah rambatan cahaya menjauhi garis normal.

Jika sinar datang muncul dari medium yang rapat ke medium kurang rapat maka terjadilah *total internal reflection*/ pemantulan sempurna. Ketika terjadi pemantulan sempurna akan membentuk sudut tertentu dengan garis normal, maka cahaya dibiaskan menjauhi garis normal. Terbentuk sudut kritis apabila sudut datang sejajar dengan batas dua medium ketika ada sinar datang

yang sudut datangnya melebihi sudut kritis maka sinar tersebut akan dipantulkan. Prinsip inilah yang sering disebut pemantulan sempurna dan penyebab mengapa serat optik dapat merambat secara memantul sepanjang serat optik.

2.2.2 Fabry-Perot Interferometer

Prinsip *Fabry-Perot* adalah tersusunnya dua buah cermin yang saling berhadapan yang dipisahkan dengan rongga dengan jarak (d) tertentu. *Fabry-Perot Interferometer* (FPI) dapat diaplikasikan pada serat optik dengan melapisi ujung serat optik dengan bahan lapisan tipis seperti kitosan. Lapisan kitosan tersebut berfungsi sebagai cermin dan ketebalan sebagai rongga (Yulianti *et al.*, 2016). Perubahan rongga jarak (d) *fabry-perot* menyebabkan terjadinya pergeseran fasa propagasi gelombang dalam sensor optik. Seperti Gambar 2.5. yang terdiri dari dua cermin pencerminan, antarmuka inti SMF dengan lapisan kitosan. Perubahan rongga akan menyebabkan pergeseran fasa cahaya yang dipantulkan sebagaimana ditentukan oleh:

$$\varphi = \frac{4\pi nd}{\lambda} \quad (2.2)$$

dengan n adalah nilai indeks bias dari serat optik, λ adalah panjang gelombang cahaya dan d adalah panjang rongga. Koefisien amplitudo yang dipantulkan didefinisikan sebagai berikut (Yulianti *et al.*, 2016):

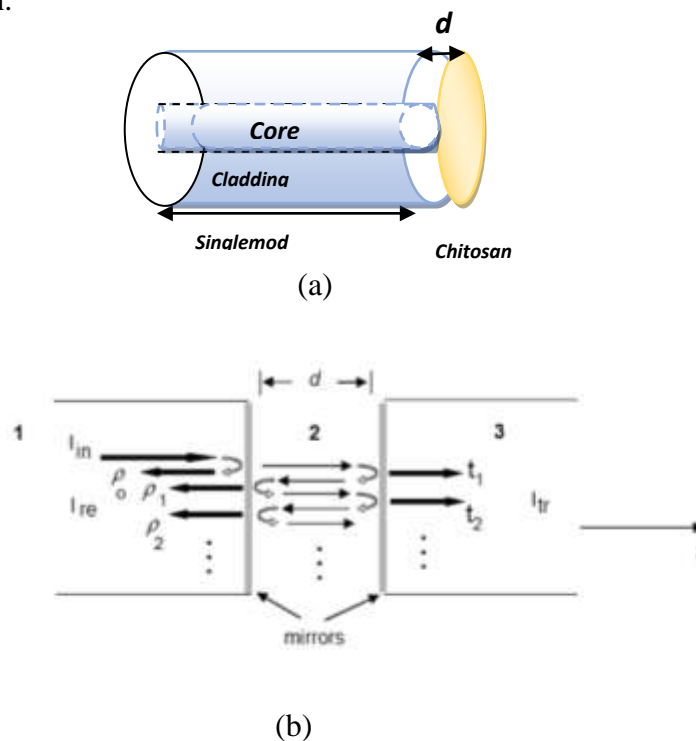
$$\rho_{FP} = \frac{\rho_{12} + [t_{12}t_{21} - \rho_{12}\rho_{21}]\rho_{23} \exp(-j\phi)}{1 - \rho_{21}\rho_{23} \exp(-j\phi)} \quad (2.3)$$

Keterangan ρ_{ij} dan t_{ij} adalah koefisien amplitudo yang direfleksikan dan ditransmisikan pada propagasi cahaya dari daerah i menuju ke daerah j seperti

yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sementara itu reaktifitas pada Fabry-Perot Interferometer dapat didefinisikan sebagai:

$$R_{FP} = |\rho_{FP}|^2 \quad (2.4)$$

Pada lapisan kitosan yang berbasis Fabry-Perot interferometer, panjang rongga akan berubah setelah mengadsorpsi ion logam berat yang selanjutnya menghasilkan perubahan daya yang tercermin. Perubahan yang terjadi pada rongga sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ion yang terserap. Oleh karena itu, konsentrasi ion logam berat dapat diketahui dengan memantau perubahan gaya yang terefleksikan.



Gambar 2.5. (a) Rancangan sensor yang dilapisi kitosan (b) Ilustrasi rancangan sensor dengan prinsip Fabry-Perot Interferometer (Yulianti, *et al.* 2016)

2.3 Sensor Optik

Sensor optik memiliki keunggulan dibandingkan sensor konvensional seperti sensitivitas tinggi, respon yang cepat, ukuran yang kecil, tidak terpengaruh interferensi elektromagnetik, fabrikasi yang lebih sederhana, dan mudah diimplementasikan (Mathews *et al.*, 2014). Keunggulan dari sensor serat optik banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti dalam bidang fisika untuk pengukuran kelembaban (Venugopalan *et al.*, 2008), dalam bidang kimia pengukuran kadar alkohol (Morisawa & Muto, 2012), dan pengukuran kadar kolesterol (Mathews *et al.*, 2014).

2.3.1 Klasifikasi Sensor Optik

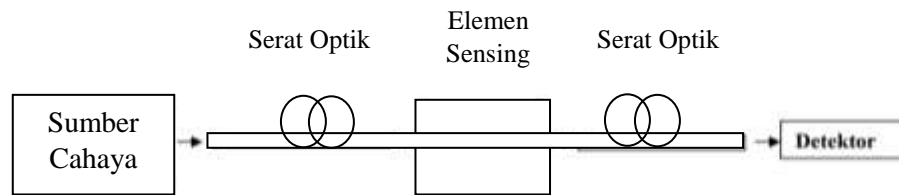
Sensor optik diklasifikasikan dalam 3 kelompok, yaitu berdasarkan lokasi pendeteksian, prinsip kerja, dan aplikasi.

2.3.1.1. Klasifikasi sensor optik berdasarkan lokasi pendeteksian sensor optik diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu:

1. Intrinsik

Pada sensor optik intrinsik, serat optik yang difungsikan sebagai pemandu cahaya juga berperan sebagai alat penginderaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pada sensor intrinsik proses modulasi terjadi di dalam serat optik dan ada bagian serat optik yang berperan aktif sebagai fungsi penginderaan. Sensor optik intrinsik merupakan sensor optik yang menggunakan serat optik itu

sendiri sebagai *transducer*. Dalam sensor optik intrinsik, serat optik harus dimodifikasi untuk menjadikan serat optik itu sendiri sebagai *transducer*.

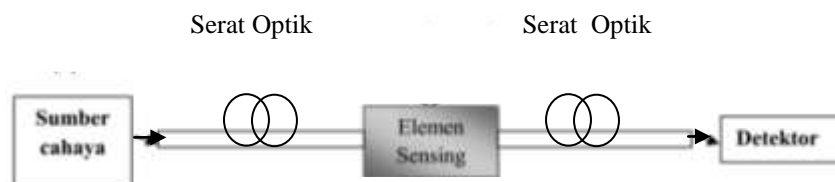


Gambar 2.6. Skema Sensor Serat Optik Intrinsik.

Hal-hal yang dilakukan untuk membentuk tipe sensor serat optik intrinsik adalah dengan memodifikasi struktur inti ataupun tidak memodifikasinya seperti *Sensor Bragg Grating* dan *Evanescent*. Selain memodifikasi, serat optik intrinsik juga dapat dilakukan dengan cara *microbending* ataupun *macrobending* yang biasanya diaplikasikan pada sensor regangan.

2. Ekstrinsik

Sensor optik ekstrinsik menggunakan serat optik hanya sebagai pandu gelombang atau media untuk menghubungkan cahaya ke sistem penginderaan eksternal tanpa modifikasi pada struktur serat optik untuk penginderaan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema Sensor Serat Optik Ekstrinsik.

Mekanisme penginderaan sensor optik ekstrinsik berada di luar serat optik. Serat optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang cahaya ke

penginderaan eksternal dimana tidak ada modifikasi pada struktur serat optik untuk penginderaan. Susunan lain untuk sensor serat optik ekstrinsik yaitu dengan dua serat optik terpisah yang salah satu serat sebagai transmisi dan serat lain sebagai penerima. Serat optik hanya bertindak sebagai perambatan cahaya menuju atau dari bagian luar serat optik.

2.3.1.2. Klasifikasi sensor optik berdasarkan prinsip kerja sensor optik diklasifikasikan dalam tiga yaitu sensor optik berbasis intensitas, fase, dan panjang gelombang.

1. Sensor sensor optik berbasis intensitas

Sensor sensor optik berbasis intensitas memiliki kelebihan mudah diaplikasikan, biaya rendah, dapat digunakan menjadi *multiplexing*, dan dapat digunakan sebagai sensor terdistribusi. Namun sensor jenis ini juga memiliki kelemahan seperti pemasangan sensor optik tidak lurus menyebabkan terjadinya *loss*, pemasangan konektor yang tidak tepat menyebabkan terjadinya *loss*. Semakin panjang sensor sensor optik yang digunakan semakin besar terjadinya *loss*, dan sumber cahaya yang tidak baik akan menyebabkan hasil pengukuran yang salah.

2. Sensor sensor optik berbasis panjang gelombang

Sensor jenis ini memanfaatkan perubahan panjang gelombang untuk mendeteksi. Sensor fluoresensi, sensor *blackbody*, sensor *bragg grating* adalah contoh sensor sensor optik modulasi panjang gelombang. Sensor sensor optik

yang memanfaatkan perubahan panjang gelombang biasanya banyak menggunakan *Bragg grating*.

3. Sensor Sensor Optik Modulasi Fase

Sensor sensor optik modulasi fase menggunakan perubahan fase cahaya untuk mendeteksi. Fase dari cahaya yang lewat melalui sensor akan dimodulasi oleh medan untuk dideteksi yang kemudian sinyal cahaya di dalam sensor dibandingkan dengan sensor referensi. Dalam sebuah interferometer, cahaya dibagi menjadi dua berkas, dimana satu berkas terkena lingkungan penginderaan dan mengalami pergeseran fase dan lainnya terisolasi dari lingkungan penginderaan dan digunakan untuk referensi.

Berdasarkan aplikasinya, sensor optik dapat diklasifikasikan sebagai berikut, diantaranya adalah sensor fisis, sensor kimia, dan biosensor.

2.3.2 Parameter Karakteristik Sensor

Parameter karakteristik sensor serat optik dibagi menjadi beberapa bagian, diantaranya:

1. Sensitivitas

Sensitivitas yang tinggi merupakan hal yang penting dalam sensor optik. Sensitivitas akan menunjukkan kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur dan sering dinyatakan sebagai perubahan *output power* dari *measurand* yang diukur oleh sensor. Sensitivitas sensor dapat memberikan tanggapan berupa tanggapan linear atau tidak linear.

2. Keberulangan

Reversibilitas/ keberulangan adalah kemampuan yang dimiliki sensor untuk dilakukannya kembali pengukuran menggunakan sensor tersebut di dalam larutan uji/kondisi yang sama.

3. Waktu Respon

Waktu respon adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengukuran hingga nilai konstan dari pengukuran keluar dari alat yang diukur.

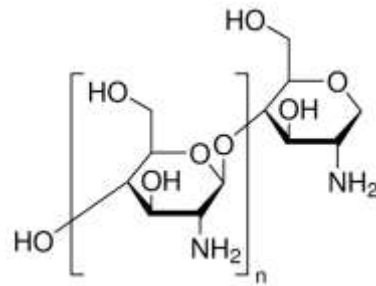
4. Ketepatan

Ketepatan sensor dapat diketahui melalui output pengukuran pada sensor dengan melihat adanya perbedaan maksimum antara nilai yang sebenarnya dan nilai yang ditunjukkan pada output alat pengukuran dari sensor.

2.4 Kitosan

Kitosan merupakan polimer linier dengan nilai molekul sebesar $1,2 \times 10^5$ (Laksono *et al.*, 2001) dan bahan yang paling melimpah setelah selulosa (Zielińska *et al.*, 2010). Salah satu amina polisakarida hasil proses dari destilasi kitin yang bersifat polikationik yang karena sifat tersebut kitosan dapat digunakan sebagai adsorben logam, bahan pembuatan kosmetik, penyerap zat warna tekstil dan agen antibakteri (Bhuvana, 2006).

Pada penelitian sebelumnya, kitosan digunakan sebagai pengikat logam dan dapat mengurangi kandungan logam seperti Cr, Fe, Pb, Zn, Ni, Cu, Cd, Co, Mn, Fe, dan Al (Endang, *et al.*, 2007). Struktur kimiawi kitosan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Struktur kimia kitosan

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Kajian cross-sensitivity *fabry-perot* interferometer berbasis lapisan kitosan telah dilakukan. Kajian dilakukan dengan cara mengkarakterisasi sensor menggunakan empat variasi ion logam yaitu Cd, Pb, Hg, dan Ni. Hasil dari kajian tersebut diantaranya:

1. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa sensor paling sensitif adalah ion Hg dengan nilai sensitivitasnya adalah $-0,2152$ dBm/ppm dengan waktu respon tercepat yaitu 30 detik.
2. Untuk ion Pb nilai sensitivitasnya adalah $-0,177$ dBm/ppm dengan waktu respon 41,5 detik.
3. Nilai sensitivitas untuk ion Cd sebesar $-0,1685$ dBm/ppm dengan waktu respon 42,5 detik.
4. Untuk sensitivitas terendah adalah ion Ni yang memiliki nilai sensitivitas sebesar $-0,1145$ dBm/ppm dengan waktu respon paling lama yaitu 46,5 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil karakterisasi sampel sensor optik, penelitian ini masih perlu dikembangkan kembali. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengganti material kitosan dengan material lain karena kitosan reaktif terhadap berbagai macam logam yang kurang *compatible* untuk digunakan sebagai sensor dimana penggantian material dimaksudkan agar sensor bisa lebih spesifik dalam pendeteksian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., R. Ben, F. Vocanson, C. Dridi, Jaffrezic, N., & Lamartine, R. 2006. Comparison study of evaporated thiacalix [4] arene thin films on gold substrates as copper ion sensing. *Journal Thin Solid Films*, 495: 368–371.
- Anovadiya, A.P., M.J. Arvaliya, T.K. Patel, & C.B. Tripathi. 2011. Case Report Cross sensitivity between ciprofloxacin and levofloxacin for an immediate hypersensitivity reaction. *Journal of Pharmacology & Pharmacotherapeutics*, 2(3): 187–189.
- Babel, S. & T.A. Kurniawan. 2002. Low Cost Adsorbents for Heavy Metals uptake from Contaminated Water: a review. *Journal of Hazardous Materials*, B97: 219-243.
- Beard, P.C. & T.N. Mills. 1996. Extrinsic Optical-Serat Ultrasound Sensor Using A Thin Polymer Film As A Low-Finesse Fabry – Perot Interferometer. *Applied Optics*, 35(4): 663–675.
- Chen, L.H., X.M. Ang, C.C. Chan, M. Shailender, B. Neu, W.C. Wong, P. Zu, & K.C. Leong. 2012. Layer-By-Layer (Chitosan/Polystyrene Sulfonate) Membrane-Based Fabry–Perot Interferometric Fiber Optic Biosensor. *Journal of Selected Topics In Quantum Electronics*, 18(4): 1457–1464.
- Dewi, D.C. 2012. Determinasi Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Makanan Kaleng Menggunakan Destruksi Basah dan Destruksi Kering. *Alchemy*, 2(1): 12–25.
- Du, Y., X.L. Luo, J.J. Xu, & H.Y. Chen. 2007. A Simple Method to Fabricate A Chitosan-Gold Nanoparticles Film and Its Application in Glucose Biosensor, *Bioelectrochemistry*, 70: 342–347.
- Fu, F. & Q. Wang. 2011. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review. *Journal of Environmental Management*, 92(3): 407–418.
- Hasrianti, 2012. *Adsorpsi Ion Cd²⁺ Dan Cr⁶⁺ pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong*. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Järup, L., 2003. Hazards of Heavy Metal Contamination. *British Medical Bulletin*, 68: 167–182.
- Khan, N.A., S. Ibrahim, & P. Subramaniam. 2004. Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Wastes as Adsorbents. *Malaysian*

Journal of Science, 23: 43–51.

- Kumar, R., et al. (2016). Chapter 13 - Detoxification and Tolerance of Heavy Metals in Plants. *Plant Metal Interaction*. Ahmad, P., Elsevier: 335-359.
- Laksono, E.W. 2010. *Kajian terhadap Aplikasi Kitosan sebagai Adsorben Ion Logam dalam Limbah Cair*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lee, B.H., Y.H. Kim, K.S. Park, J.B. Eom, M.J. Kim, B.S. Rho, & H.Y. Choi. 2012. Interferometric serat optic sensors. *Sensors*, 12(3): 2467–2486.
- Liu, C., C. Huang, & H. Chang. 2009. Highly Selective DNA-Based Sensor for Lead (II) and Mercury (II) Ions. *American Chemical Society*, 81(6): 3-8.
- Manzoori, J.L., & Bavili-tabrizi, A. 2003. Cloud Point Preconcentration and Flame Atomic Absorption Spectrometric Determination of Cobalt and Nickel in Water Samples. *Microchimica Acta*, 207: 201–207.
- Mathews, C. B., T.M. Libish, P. Biswas, S. Bandyopadhyay, K. Dasgupta, & P. Radhakrishnan. 2014. A Chitosan coated Sensor Optic Long Period Grating Biosensor for the Detection and Estimation of Cholesterol. *Optoelectronics Journal*, 12(1): 23-26
- Mayr, T., Igel, C., Liebsch, G., Klimant, I., & Wolfbeis, O.S. 2003. Cross-Reactive Metal Ion Sensor Array in a Micro Titer Plate Format. *Analytical Chemistry*, 75(17): 4389–4396.
- Mcdonagh, C., Burke, C.S., & Macraith, B.D. 2008. Optical Chemical Sensors. *Chemical Review*, 108 (2): 400–422.
- Morisawa, M. & Muto, S. 2012. Plastic Optical Sensor Sensing of Alcohol Concentration in Liquors. *Journal of Sensors*, 1(1): 1-6.
- Naria, E., 2005. Mewaspadai Dampak Pencemaran Timbal (Pb) di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*, 17(4): 66–72.
- Nielsen, G.D., Soderberg, U., Jorgensen, P.J., Templeton, D.M., Rasmussen, S.N., Andersen, K.E., & Grandjean, P. 1999. Absorption and Retention of Nickel from Drinking Water in Relation to Food Intake and Nickel Sensitivity. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 154: 67–75.
- Pang, M., Zhou, H.P., Zhang, M., Zeng, N., & Liao, Y.B. 2008. Analysis and Amelioration About the Cross-Sensitivity of a Fiber-Optic Accelerometer

Based on Compliant Cylinder. *Journal of Lightwave Technology*, 26(3): 365–372.

- Resmianty, T. 2012. Efektifitas Kitosan dan Biofilter Enceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solm) dan Kijing Taiwan (*Anodonta woodiana*) sebagai Adsorben pada Pengolahan Limbah yang Mengandung Logam Hg, Cd dan Pb, Tesis. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor
- Sanusi, H.S. 2006. Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Skripsi. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Sasongko, D.P., & W.P. Tresna. 2010. Identifikasi Unsur dan Kadar Logam Berat Pada Waduk Cacaban Kabupaten Tegal Dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*, 27: 22-27.
- Sun, Z., Liang, P., Ding, Q., & Cao, J. 2006. Determination of trace nickel in water samples by cloud point extraction preconcentration coupled with graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, 137: 943–946.
- Widaningrum, Miskiyah & Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 3: 16–27.
- Wiyarsi, A. & Priyambodo, E. 2008. *Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Berat*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wolfbeis, O.S., 2005. Materials for fluorescence-based optical chemical sensors. *Journal of Material Chemistry*, 15: 2657–2669.
- Yan, H., Yang, L., Yang, Z., Yang, H., Li, A., & Cheng, R. 2012. Preparation of chitosan / poly (acrylic acid) magnetic composite microspheres and applications in the removal of copper (II) ions from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 371–380.
- Yang, J., Chen, L.H., Dong, X., & Raghunandhan, R., Chan, C.C. 2016. Heavy Metal Cation Probe with Signal to Noise Ratio Measurement of Fiber Bragg Grating. *ICMAT Symposia Proceedings*, 140: 67-71.

- Yuan, J. & El-sherif, M.A., 2003. Serat-Optic Chemical Sensor Using Polyaniline as Modified Cladding Material. *IEEE Sensors Journal*, 3(1): 5–12.
- Yulaipi, S. & Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Sains dan Seni Pomits*, 2(2): 2337–3520.
- Yulianti, I., N.M.D. Putera, B.A. Saputra, M.P. Aji, Susanto, & O. Kurdi. 2016. Chitosan Layer Fabry-Perot Interferometer- Based Optical Fiber Sensor for Cadmium Ion Detection. *ICIET*, 10–12.
- Zhu, T., D. Wu, M. Liu, & D.W. Duan. 2012. In-Line Fiber Optic Interferometric Sensors in Single-Mode Serats. *Sensors*, 12: 10.430-10.449.
- Zielińska, K., A.G. Chostenko, & S. Truszkowski. 2010. "Adsorption of Cadmium Ions on Chitosan Membranes: Kinetics and Equilibrium Studies." *Progress on Chemistry and Application of Chitin, XV*: 73-78.