

SKRIPSI

**DETEKSI ION KADMIUM DALAM AIR BERBASIS SENSOR SERAT
OPTIK PLASTIK**

Disusun dan diajukan oleh

SUCI MULIANTI PANGA

H021171016



DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

**DETEKSI ION KADMIUM DALAM AIR BERBASIS SENSOR SERAT
OPTIK PLASTIK**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

SUCI MULIANTI PANGA

H021 17 1016

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

DETEKSI ION KADMIUM DALAM AIR BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK

Disusun dan diajukan oleh:

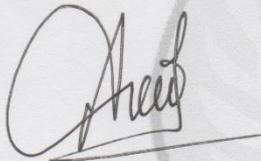
SUCI MULIANTI PANGA

H021 17 1016

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 Februari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

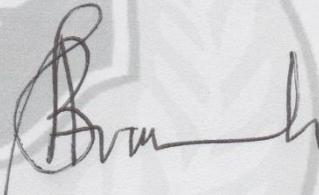
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



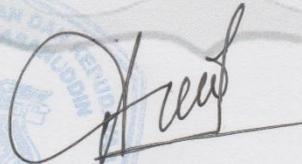
Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Bidayatul Arminah, 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 : Suci Mulianti Panga
NIM : H021171016
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Deteksi Ion Kadmium Dalam Air Berbasis Sensor Serat Optik Plastik

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

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

Makassar, 2 Februari 2022

Yang Menyatakan,



Suci Mulianti Panga

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai deteksi ion logam kadmium dalam air menggunakan serat optik plastik. Penelitian ini bertujuan untuk karakterisasi sensor logam berat kadmium berbasis sensor serat optik plastik. Serat optik dilapisi dengan asam askorbat dan keratin sebagai pengganti selubung. Serat optik dikarakterisasi dengan variasi konfigurasi, jumlah lilitan, selubung dan diameter. Metode yang digunakan yaitu metode adsorpsi gelombang *evanescent* yang bekerja berdasarkan efek gelombang *evanescent*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan maka rugi daya yang dihasilkan akan semakin besar dan cahaya yang diteruskan ke fototransistor semakin kecil. Hal ini dapat menyebabkan tegangan keluaran semakin menurun. Hasil karakterisasi terbaik dari pengujian sensor ion kadmium berbasis serat optik plastik diperoleh pada konfigurasi spiral 6 lilitan dengan pencacatan diameter 0,3 cm dengan nilai sensitivitas sebesar 0,466 Volt/ppm, nilai *range* 2,332 Volt dan nilai resolusi 0,0021 ppb. Kelebihan dari sensor ini adalah memiliki sensitivitas yang tinggi, biaya lebih murah dan fabrikasi yang sederhana.

Kata Kunci: Asam askorbat; kadmium; keratin; mikrokontroler; sensor; serat optik.

ABSTRACT

Research has been carried out on the detection of lead cadmium ions in water using plastic optical fibers. This study aims to characterize cadmium heavy metal sensors based on plastic fiber optic sensors. The optical fiber is coated with ascorbic acid and keratin in place of the sheath. Optical fiber is characterized by various configurations, number of turns, sheaths and diameters. The method used is the evanescent wave adsorption method which works based on the effect of evanescent waves. The measurement results show that the more the number of turns, the greater the power loss and the smaller the light transmitted to the phototransistor. This can cause the output voltage to decrease further. The best characterization results from testing the cadmium ion sensor based on plastic optical fiber were obtained in a 6-winding spiral configuration with a diameter of 0.3 cm with a sensitivity value of 0.466 Volt/ppm, a range value of 2.332 Volt and a resolution value of 0.0021 ppb. The advantages of this sensor are high sensitivity, lower cost and simple fabrication.

Keywords: Ascorbic acid; cadmium; keratin; microcontroller; sensors; optical fiber.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "**Deteksi Ion Kadmium Dalam Air Berbasis Sensor Serat Optik Plastik**" yang merupakan syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal tersebut disadari oleh penulis karena adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Selama proses penyelesaian skripsi, penulis mengalami berbagai hambatan di tiap prosesnya. Hambatan dapat teratasi tentu tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang turut membantu dan memberikan dukungan yang berharga saat awal pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan skripsi diselesaikan. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

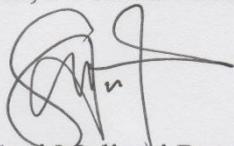
1. Keluargaku tercinta terkhusus kepada kedua orang tua, kakak dan adik yang penulis sayangi dan hormati. Ayahanda **Sumardin Panga** dan Ibunda **Juniati** yang selalu mendoakan, memberi pelajaran yang berharga, kasih sayang dan dukungan baik secara moral maupun materi kepada penulis. Tidak pernah bosan bertanya mengenai perkembangan penelitian yang membuat penulis semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Untuk kakakku tercinta **Indra Liwarti Panga** yang selalu memberikan semangat dan dukungan baik berupa materi maupun moril. Untuk adikku tercinta **Rahmat Agus Wahyudi Panga** yang sudah memberi semangat dan dukungan, semoga penelitiannya berjalan dengan lancar. Terima kasih kepada kakak **Supardi** yang sudah memberikan dukungan dan sumbangan ide untuk penulis dalam menyelesaikan penelitian. Untuk ponakanku tersayang **Syakila Alfathunisa** yang selalu menjadi penghibur dan semangat untuk penulis.

2. **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku Dosen Pembimbing utama dan **Ibu Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T.** selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak membimbing dan meluangkan waktu serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc** dan **Ibu Dr. Sri Dewi Astuti Ilyas, M.Si.** selaku Tim Penguji dalam melaksanakan seminar proposal, hasil dan ujian Sidang Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, saran, dan diskusi demi kesempurnaan skripsi penulis.
4. Seluruh **Dosen FMIPA Unhas**, khususnya kepada seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.** Terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mendidik penulis selama menjadi mahasiswa di kampus merah ini.
5. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staf Akademik** Departemen Fisika dan Fakultas MIPA; **Pak Syukur, Ibu Rana, Ibu Evi dan Pak Ahmad** yang dengan senang hati banyak membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
6. **Bapak Lukman** Laboratorium Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin terima kasih untuk Ilmu dan bantuannya untuk penulis dalam mengerjakan penelitian.
7. Kepada **Time** teman penelitian penulis. Terima kasih selalu mau di repotkan dari awal sampai akhirnya skripsi ini selesai. Terima kasih untuk dukungan, ide dan motivasi untuk penulis, serta setia menemani penulis mengerjakan penelitian.
8. Penghuni R Squad (**Yesi, Rachel dan Fitria**) selalu memberi dukungan dan semangat, selalu sabar menghadapi penulis yang moody-an dan setia mendengar curhatan penulis. Terima kasih sudah menjadi sahabat selama perkuliahan. Semoga sukses untuk kedepannya dan tetap menjadi sahabat penulis.

9. Sahabatku **Ihwani** terima kasih sudah menjadi sahabat penulis selama SMA-sekarang, selalu sabar antar jemput penulis dan terima kasih untuk semangat serta dukungannya.
10. Kepada Sahabatku **Youla dan Fira** yang setia mendengar curhatan penulis semoga secepatnya bisa berkumpul kembali.
11. My partner **Innah** terima kasih sudah sabar sama penulis dan motivasinya untuk penulis selama penelitian. Selalu mau di repotkan, setia mendengar curhatan penulis, teman sefrekuensi. Semoga silaturahmi tetap terjalin. Terima kasih selama ini cerita sedih dan senangnya selama perkuliahan.
12. Temanku sayang **Gita** terima kasih bantuannya untuk penulis. Semoga tidak pernah bosan berteman dengan penulis dan selalu diberi kesuksesan.
13. Tetanggaku **Sarah, Nova, Destri dan Innah** terima kasih ceritanya selama di Ramsis. Semoga tetap sabar menghadapi penulis yang selalu ribut saat bertamu. Untuk Innah, S.Si. dan Destri, S.Si. semoga sukses untuk kedepannya. Sarah dan Nova semoga penelitiannya cepat selesai.
14. Kepada **Owel** terima kasih saran dan motivasinya untuk penulis selama penelitian serta ceritanya selama di Ramsis.
15. Kepada **Asni** terima kasih untuk tumpangnya selama ini, yang selalu siap jika penulis minta tolong. Kosnya yang selalu menjadi sejarah untuk penulis.
16. Kepada **kakak Inayah, Kak Awa, Kak Uga, Kak Anna, Kak Widi** terima kasih atas pencerahannya.
17. Teman-teman **KKN Sinjai 1** terima kasih untuk ceritanya selama KKN walaupun online di sempatkan untuk bisa ber silaturahmi dan saling mengenal serta berbagi cerita. Terkhusus kepada **Nuri, Afih dan Aidul** terima kasih sudah mau direpotkan. **Hikma** terima kasih atas motivasinya untuk penulis selama penelitian.
18. Kepada teman-teman seperjuangan maba **Hikma, Aini, Intira** terima kasih motivasinya untuk penulis dan semoga selalu diberi kesuksesan.
19. Kepada **Roni dan Fahri** terima kasih sudah berbagi ilmu kepada penulis.
20. Kepada **Kak Ausaf, Kak Muflih dan Kak Alam** terima kasih telah membantu penulis mengukur diameter serat optik.

21. Teman-teman seperjuangan Lab. Elektronika dan Instrumentasi **Fadil, Rachel, Evita, Manja, Gita, Aat, Puat, Time, Trisna, Ebiet, Fadlan dan Qoil** terima kasih bantuan dan masukannya untuk penulis.
22. Teman-teman **Fisika 2017** yang banyak menemani dan membantu penulis selama menjalani studi di Fisika Unhas hingga menyelesaikan skripsi (**Time, Asni, Yesi, Owel, Fitria, Rachel, Innah, Sarah, Nova, Destri, Kiki, Ate, Uci, Ola, Rahma, Flave, Egi, Sapriani, Gita, Trisna, Fadil, Ervi, Ayu, Evita, Qoil, Aat, Ebiet, Manja, Puat, Fadlan, Aron, Safrullah, Betuel, Sabran, Agung, Ardi, Roni, Fahri, Rial, Callu, Zain dan Madan**) semoga kesuksesan menghampiri tiap-tiap dari kita dan semoga dipertemukan dimasa yang akan datang.
23. Teman-teman **Himafi 2017** terima kasih kepada orang-orang hebat untuk supportnya, kebersamaannya, dan segalanya yang tidak bisa disebutkan satu – persatu. Penulis sangat bersyukur menjadi salah satu bagian dari kalian. **Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan.**
24. **Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unhas** “keras, kuat, cerdas dan berani” terima kasih telah memperkenalkan dan mengajarkan banyak hal baru sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga saat ini.
25. Teman-teman **MIPA 2017** yang menemani dan ikut mengisi kisah penulis dalam berproses di KM FMIPA UNHAS. Salam MIPA 2017 “Kami Satu Kami Bersaudara”.
26. Terima kasih **Suci Mulianti Panga** karena tetap bertahan dan sabar.
27. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi untuk skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar, 2 Februari 2022



Suci Mulianti Panga

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
II.1 Serat Optik	4
II.2 Rugi Daya pada Serat Optik.....	6
II.3 Karakteristik Transmisi pada Serat Optik.....	6
II.4 Sensor Serat Optik	9
II.5 Gelombang <i>Evanescent</i> dalam Serat Optik.....	10
II.6 Kadmium.....	10
II.7 Arduino Uno	11
II.8 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik.....	12
II.9 Struktur Keratin dan Asam Askorbat.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
III.2 Alat dan Bahan	16
III.3 Prosedur Penelitian	17

III.4 Pengujian Perangkat Sistem	20
III.5 Analisis Data.....	22
III.6 Bagan Alir Penelitian.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
IV.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Sensor Kadmium di Air Berbasis Serat Optik Plastik	24
IV.2 Hasil Pengujian Sensor Ion Logam Kadmium berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi <i>Loop</i>	25
IV.3 Hasil Pengujian Sensor Ion Logam Kadmium berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi Spiral.....	27
IV.4 Hasil Pengujian Sensor Ion Logam Kadmium berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi Spiral dengan Pencacatan	29
IV.5 Hasil Pengujian Sensor Ion Logam Kadmium berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi Spiral Variasi Pelapis	32
IV.6 Perbandingan Hasil Uji Sensor Terbaik Ion Kadmium berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi <i>Loop</i> dan Spiral.....	34
BAB V PENUTUP	37
V.1 Kesimpulan	37
V.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur serat optik	4
Gambar 2.2 jenis-jenis serat optik berdasarkan indeks biasnya	5
Gambar 2.3 Pembiasan dan pemantulan berkas cahaya pada batas medium	7
Gambar 2.4 Pemantulan internal total	8
Gambar 2.5 Ilustrasi gelombang <i>evanescent</i>	10
Gambar 2.6 Arduino uno	12
Gambar 2.7 Rangkaian penguat <i>non-inverting</i>	13
Gambar 2.8 Struktur kimia keratin	14
Gambar 2.9 Struktur kimia asam askorbat	15
Gambar 3.1 (a) Konfigurasi spiral, (b) Konfigurasi <i>loop</i>	18
Gambar 3.2 Skema sensor ion kadmium di air menggunakan serat optik plastik	18
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian	23
Gambar 4.1 Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap larutan ion kadmium konfigurasi <i>loop</i>	26
Gambar 4.2 Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap larutan ion kadmium konfigurasi spiral	28
Gambar 4.3 Pencacatan pada inti serat optik.....	30
Gambar 4.4 Sensor serat optik yang telah diberi cacatan dan dilapisi keratin dan asam askorbat.....	30
Gambar 4.5 Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap larutan ion kadmium konfigurasi spiral dengan pencacatan	31
Gambar 4.6 Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap larutan ion kadmium konfigurasi spiral variasi lapisan	33
Gambar 4.7 Grafik perbandingan perubahan tegangan keluaran terhadap jumlah ppb ion kadmium dalam air berbasis serat optik plastik.....	35
Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara tegangan keluaran dengan konsentrasi ion kadmium dalam air	36

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakterisasi sensor serat optik plastik konfigurasi <i>loop</i>	27
Tabel 4.2	Karakterisasi sensor serat optik plastik konfigurasi spiral	29
Tabel 4.3	Karakterisasi sensor serat optik plastik konfigurasi spiral dengan pencacatan	32
Tabel 4.4	Karakterisasi sensor serat optik plastik konfigurasi spiral dengan pencacatan variasi lapisan	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan.....	44
Lampiran 2. Rangkaian Sensor timbal dalam air menggunakan serat optik	45
Lampiran 3. Konfigurasi Sensor Serat Optik	45
Lampiran 4. Pengukuran Konsentrasi Logam Timbal dalam Air Menggunakan Sensor Serat Optik Plastik	46
Lampiran 5. Data Tegangan Keluaran Pada Pengukuran Konsentrasi Kadmium dalam Air Menggunakan Serat Optik Plastik Konfigurasi Spiral.....	46
Lampiran 6. Data Tegangan Keluaran Pada Pengukuran Konsentrasi Kadmium dalam Air Menggunakan Serat Optik Plastik Konfigurasi <i>Loop</i> dan Spiral.....	55
Lampiran 7. Perhitungan Pembuatan larutan Kadmium	56

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Salah satu pencemaran lingkungan hidup adalah pencemaran air yang merupakan masalah regional maupun lingkungan global [1]. Air dimanfaatkan karena kandungan komponen organik. Namun, sering tercemar komponen anorganik seperti logam berat. Logam berat adalah logam toksik yang berbahaya jika masuk ke dalam tubuh manusia melebihi ambang batas [2]. Logam berat cenderung menumpuk, tidak mudah terurai secara alami dalam tubuh [3]. Pada unsur kimia logam berat memiliki bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 dan nomor atom antara 22 sampai 92 [4]. Ion logam berat yang paling banyak ditemukan dalam air adalah kadmium (Cd), timbal (Pb) dan merkuri (Hg) [5].

Kadmium salah satu logam berat *non* esensial yang memiliki toksitas tinggi sehingga dapat merusak sistem organ tubuh [4,6]. Standar baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah Sulawesi Selatan Nomor 82 Tahun 2001 untuk logam Cd sebesar 0,001 mg/L [1]. Keracunan kadmium dapat menyebabkan perut mual, muntah-muntah, diare, luka hati, syok, gagal ginjal, sakit ginjal, liver, tulang rapuh dan kerusakan sel-sel darah [7].

Berdasarkan uraian tersebut mendeteksi logam berat kadmium (Cd) dalam air menjadi hal yang sangat penting karena dapat membahayakan organ tubuh. Saat ini, pendeteksian logam berat dalam air telah dilakukan dengan beberapa metode seperti spektrofotometri serapan atom, *Paper Analytical Device*, teknologi film tebal menggunakan sensor elektrokimia [4,8,9]. Metode-metode tersebut umumnya memiliki biaya analisa tinggi, rumit serta membutuhkan waktu lama saat pengerjaan. Kekurangan dari metode tersebut dapat diatasi dengan menggunakan sistem sensor serat optik.

Serat optik merupakan sebuah pandu gelombang elektromagnetik yang terbuat dari bahan kaca atau plastik [10]. Karakteristik bahan serat optik dalam penyaluran sinyal tergantung *attenuasi* (redaman). Bentuk redaman yang sering terjadi adalah *bending* (pembengkokan), sehingga serat optik mengalami redaman

rugi-rugi sinyal. Sinyal yang teredam menyebabkan penurunan kualitas sinyal yang diterima oleh konsumen [11]. Penggunaan sensor serat optik lebih praktis karena kelebihanannya sebagai sensor serbaguna dengan derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, kecepatan transmisi cahaya, akurasi pengukuran dan sensitivitas yang tinggi, ukuran kecil dan ringan, relatif terjangkau, tahan terhadap pengkaratan serta dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka [12].

Penelitian sebelumnya tentang deteksi ion kadmium menggunakan sensor serat optik telah dilakukan oleh Nguyen, dkk. (2019) mengenai metode fluoresensi *turn-on*, serat optik dilapisi *coumarin* (material yang memiliki sifat fluoresensi) sebagai fluofoor serta *dipicolylamine* sebagai reseptor ion kadmium [13]. Penelitian Sharma dan Gupta (2018) mengenai teknik *surface plasmon resonance* (SPR) berbasis serat optik untuk mendeteksi ion kadmium, dengan mengupas selubung serat optik kemudian dilapisi dengan perak dan SnO₂ (NPs) [14]. Selanjutnya penelitian Yulianti, dkk. (2017) mengenai metode gelombang *evanescent* berbasis sensor serat optik dengan mengupas selubung serat optik dan dilapisi dengan kitosan [3].

Kelemahan dari penelitian sebelumnya yang pertama adalah proses fabrikasi rumit dan biaya yang tinggi. Pada penelitian kedua mengenai deteksi logam berat dalam air dengan sensor serat optik *surface plasmon resonance* (SPR) menggunakan perak dan SnO₂. Namun, pada penelitian ini sulit dilakukan karena menggunakan sistem yang kompleks dan menggunakan alat pendukung yang mahal untuk mendeteksi dan menganalisa perubahan panjang gelombang cahaya yaitu spektrometer. Penelitian yang terakhir dengan metode gelombang *evanescent* masih menggunakan *optical power meter* untuk mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui larutan.

Penelitian yang akan dilakukan difokuskan untuk mendeteksi kadmium dalam air dengan menggunakan serat optik plastik konfigurasi *loop* dan spiral. Metode yang digunakan adalah metode adsorpsi gelombang *evanescent* dengan selubung keratin dan asam askorbat. Penggunaan keratin dan asam askorbat dapat mempengaruhi sensitivitas sensor untuk mendeteksi ion kadmium dalam air.

Gugus amina pada keratin jika direaksikan dengan gugus karboksil pada asam askorbat akan menghasilkan sifat polielektrolit sehingga dapat berperan sebagai adsorben terhadap logam berat [15]. Keluaran yang diperoleh dari penelitian ini berupa alat untuk mendeteksi logam kadmium.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana merancang dan membuat sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik?
2. Bagaimana metode pengukuran dan pengujian sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik?
3. Bagaimana karakterisasi dari sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik?

I.3 Tujuan

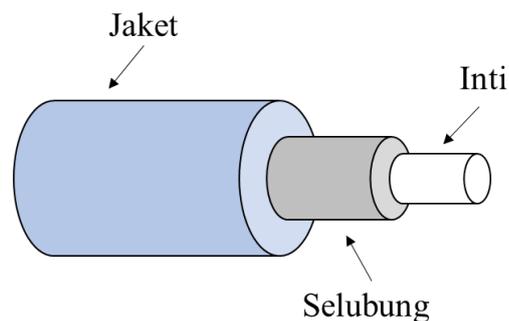
Tujuan dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Merancang dan membuat sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik.
2. Mengukur dan menguji sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik.
3. Menganalisis karakteristik sensor kadmium di air berbasis serat optik plastik.

BAB II LANDASAN TEORI

II.1 Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi cahaya yang dapat diaplikasikan sebagai sensor untuk pengukuran beragam parameter seperti pergeseran, suhu, tekanan, kelembaban, laju aliran fluida, laju rotasi, konsentrasi suatu zat, medan listrik, medan magnet, serta analisis kimia [16]. Serat optik terdiri dari dua bahan dengan karakter optis yang berbeda untuk selubung (*cladding*) dan inti (*core*). Komposisi inti menduduki 85 % dari total fiber yang memandu cahaya, tersusun dari bahan silikon oksida, dan dilapisi dengan serat kaca, dan pada umumnya *core* memiliki indeks bias yang lebih tinggi daripada selubung [17]. Kelebihan serat optik yaitu tidak menggunakan sinyal listrik, derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, sensitivitas dan akurasi pengukuran yang tinggi, lebih kecil dan ringan, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka, kecepatan transmisi cahaya yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan, serta relatif terjangkau [18,19].

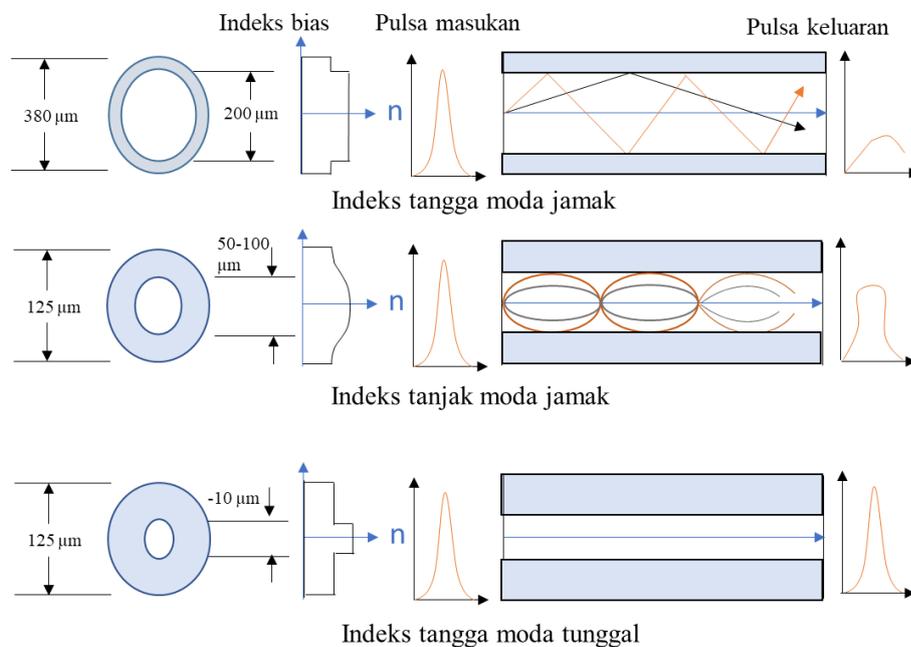


Gambar 2.1 Struktur serat optik [20]

Berdasarkan materialnya, serat optik dapat dibedakan menjadi dua yaitu serat optik plastik merupakan serat optik yang berbahan plastik polimer, dimana lapisan inti dibuat dari bahan *polymethyl metacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan jaket terbuat dari perfluoropolimer. Inti dari serat optik plastik terdiri dari satu atau lebih serat resin akrilik dengan diameter 0,25 - 1 mm. Pada awal pengkomersilannya, serat optik plastik memiliki rugi daya melebihi 1000 dB/km.

Melalui teknologi yang lebih modern, serat optik plastik memiliki rugi daya yang cukup kecil yaitu 50 dB/km pada spektrum cahaya tampak dan spektrum yang mendekati infra merah. Serat optik plastik memiliki beberapa kelebihan, diantaranya tahan terhadap benturan, biaya pembuatan yang rendah, dan tahan terhadap *noise* (derau) karena lapisan yang berbahan perfluoropolimer. Serat optik kaca terbungkus dalam tabung *stainless steel* dan biasanya digunakan pada suhu tinggi, maksimal 350⁰C, inti serat optik kaca memiliki diameter 10 - 100 μm [21].

Perbandingan struktur serat optik indeks tangga moda jamak (*multimode step index*) dan indeks tanjak (*graded index*) serta profil indeks biasnya dapat dilihat pada Gambar di bawah ini [21]:



Gambar 2.2 Jenis-jenis serat optik berdasarkan indeks biasnya [21]

Dalam transmisi serat optik dikenal istilah moda yakni banyaknya berkas cahaya yang dipancarkan oleh sumber optik berdasarkan panjang gelombang yang berbeda pada masing-masing berkas. Berdasarkan jumlah moda yang terpandu, serat optik dibedakan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*single mode*) dan moda jamak (*multi mode*). Disebut moda tunggal jika hanya satu moda gelombang yang dapat dipandu dan moda jamak jika moda gelombang yang terpandu lebih dari satu [22].

II.2 Rugi Daya pada Serat Optik

Ada beberapa faktor yang menyebabkan rugi-rugi daya pada serat optik yaitu [23]:

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.

II.3 Karakteristik Transmisi pada Serat Optik

II.3.1 Tingkat Numerik

Tingkat numerik (*numerical aperture*) menyatakan hubungan antara sudut penerimaan dan indeks bias ketiga media (inti, kulit, udara). Tingkat numerik adalah suatu ukuran batas kemampuan serat optik untuk menangkap sinar dari sumber optik yang dipengaruhi oleh perbedaan indeks bias antara inti dan selubung [24]. Tingkat numerik merupakan hubungan antara sudut indeks bias ketiga medium (udara, inti, dan selubung) dengan sudut sinar masukan yang dinyatakan dengan [25]:

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

Dimana:

n_1 : Indeks bias medium pertama

n_2 : Indeks bias medium kedua

ϕ_1 : Sudut datang (masuk ke inti serat)

n_A : Indeks bias medium terluar (biasanya udara, $n = 1$)

Perbedaan nilai dan sangat kecil, sehingga nilai juga kecil, dengan demikian persamaan diatas dapat ditulis [25]:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.1)$$

atau

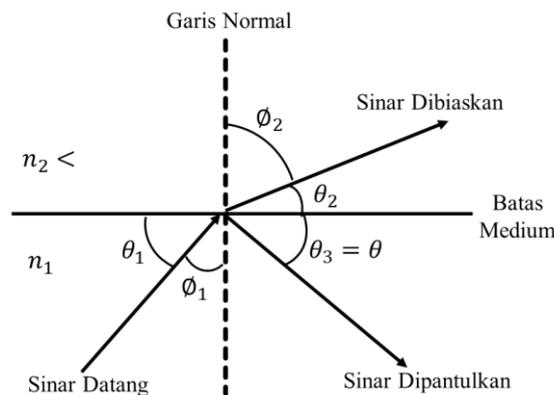
$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.2)$$

dimana, Δ merupakan perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* menurut persamaan [26]:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

II.3.2 Perambatan Cahaya

Perambatan cahaya pada serat optik memanfaatkan teori cahaya tentang indeks bias pada medium dielektrik. Terjadi pembiasan dan pemantulan ketika cahaya merambat dari sumber menuju penerima. Ketika berkas cahaya melewati batas dua medium yang berbeda, maka sebagian berkas cahaya dipantulkan masuk pada medium pertama dan sebagian dibiaskan masuk pada material kedua [23].



Gambar 2.3 Pembiasan dan pemantulan berkas cahaya pada batas medium [23]

Dimana:

n_1 : Indeks bias medium pertama

n_2 : Indeks bias medium kedua

ϕ_1 : Sudut datang (sudut antara sinar datang dan garis normal)

ϕ_2 : Sudut bias (sudut antara sinar bias dan garis normal)

θ_1 : Sudut antara sinar datang dan batas medium

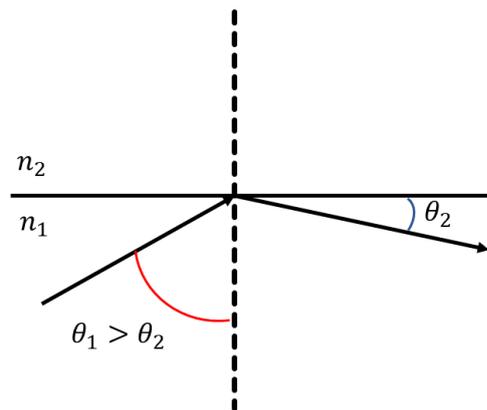
θ_2 : Sudut antara sinar bias dan batas medium

θ_3 : Sudut antara sinar pantul dan batas medium

Gambar 2.3 menunjukkan dua medium dengan $n_2 < n_1$ yang dilewati seberkas cahaya. Tampak dari gambar bahwa sinar datang sebagian dipantulkan kembali dengan sudut yang sama besar dengan sudut sinar datang ($\theta_3 = \theta_1$) dan sebagian dibiaskan menjauhi garis normal menuju medium kedua. 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 [23]:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.4)$$

Pemantulan cahaya dari medium rapat ke medium kurang rapat ada kemungkinan cahaya akan dipantulkan secara optis ke dalam medium berindeks bias n_1 , dan sebagian ada yang dibiaskan menuju medium berindeks bias n_2 . Proses ini dinamakan pemantulan internal [23].



Gambar 2.4 Pemantulan internal total [23].

Serat optik bekerja dengan menggunakan prinsip pemantulan internal total atau sempurna. Jika sudut datang θ_1 menghasilkan sudut bias θ_2 sebesar 90° , maka sudut datang disebut sebagai sudut kritis θ_c . Apabila sudut θ_1 lebih besar daripada sudut kritis, maka sinar tidak bisa lagi dibiaskan tetapi akan mengalami pemantulan internal total [23].

II.4 Sensor Serat Optik

Serat optik sebagai suatu sensor antara lain adalah tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, tidak menggunakan listrik sebagai isyarat, akurasi pengukuran yang tinggi, relatif kebal terhadap induksi listrik maupun magnet, dapat dimonitor dari jarak jauh, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka (*interface*) serta dimensi yang kecil dan ringan. Prinsip kerja dari serat optik sebagai sensor berbasis pada modulasi intensitas, modulasi panjang gelombang dan modulasi fase cahaya sebagai isyarat [16].

Untuk membuat serat optik berfungsi sebagai sensor kadmium ion, serat optik harus dimodifikasi sehingga salah satu parameter cahaya, seperti panjang gelombang, intensitas atau fase, dimodulasi oleh perubahan konsentrasi ion kadmium. Pada metode serapan gelombang *evanescent*, variasi daya optik disebabkan penyerapan gelombang *evanescent* sebagai parameter yang diamati untuk mendeteksi keberadaan besaran gelombang [3].

Secara umum sensor memiliki beberapa karakteristik, yaitu:

- a. *Range*, merupakan selisih keluaran maksimum dan keluaran minimum. *Range* sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [27]:

$$\Delta = V_{max} - V_{min} \quad (2.5)$$

- b. Sensitivitas, menunjukkan besar kepekaan sensor terhadap nilai yang diukur. Sensitivitas juga dinyatakan sebagai bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Untuk sensor dengan *output* tegangan, sensitivitas dapat dirumuskan sebagai berikut [26]:

$$S = \frac{V_{max} - V_{min}}{k_{max} - k_{min}} \quad (2.6)$$

dengan k_{max} sebagai konsentrasi maksimum dan k_{min} sebagai konsentrasi minimum

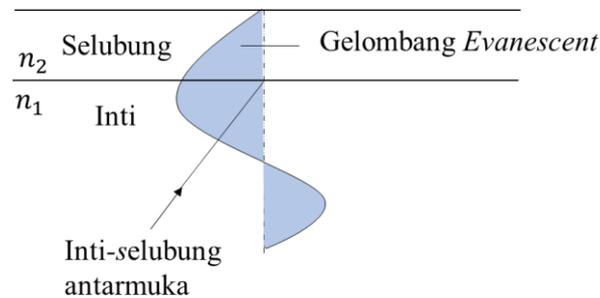
- c. Resolusi, merupakan nilai perubahan terkecil yang terukur di sensor. Resolusi untuk sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [26]:

$$R = \frac{N}{S} \quad (2.7)$$

dengan N adalah skala terkecil dari alat ukur dan S adalah nilai sensitivitas dari sensor.

II.5 Gelombang *Evanescent* dalam Serat Optik

Pada prinsipnya, gelombang *evanescent* adalah bagian dari cahaya yang menembus *interface cladding*. Ketika medan *evanescent* menembus ke dalam selubung, pembusukan intensitas secara eksponensial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 [3].



Gambar 2.5 Ilustrasi gelombang *evanescent* [3]

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 [27]:

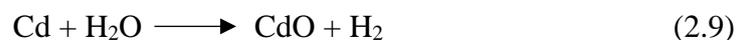
$$E_z = E_0 \exp\left(-\frac{z}{d_p}\right) \quad (2.8)$$

dimana z adalah jarak penjalaran sinar, E_0 adalah medan gelombang mula-mula dan d_p disebut kedalaman gelombang (*penetration depth*) yang masuk pada selubung serat optik [27].

II.6 Kadmium

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang memiliki toksisitas yang tinggi. Kadar Cd perlu diketahui secara pasti karena di lingkungan perairan dapat terakumulasi dan dapat meracuni semua komponen biotik [4, 6]. Konsumsi terhadap biota perairan yang terkontaminasi logam Cd di atas ambang batas dapat menimbulkan gangguan Kesehatan [6]. Standar baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah Sulawesi Selatan Nomor 82 Tahun 2001 yaitu 0,001 mg/L [1]. Keracunan kadmium dapat menyebabkan perut mual, muntah-muntah, diare, luka hati, syok, gagal ginjal, sakit ginjal, liver, tulang rapuh dan kerusakan sel-sel darah [7].

Kadmium adalah hasil sampingan dari pengolahan bijih logam seng (Zn), yang digunakan sebagai pengganti seng. Unsur ini bersifat lentur, tahan terhadap tekanan, titik lebur rendah serta dapat dimanfaatkan untuk pencampur logam lain seperti nikel, perak, tembaga, dan besi. Senyawa kadmium juga digunakan bahan kimia, bahan fotografi, pembuatan tabung TV, cat, karet, sabun, kembang api, percetakan tekstil dan pigmen untuk gelas dan email gigi. Kadmium mempunyai titik didih rendah dan mudah terkonsentrasi ketika memasuki atmosfer. Air dapat juga tercemar apabila dimasuki oleh sedimen dan limbah pertambangan mengandung Cd, sementara ketika bercampur dengan asap akan membentuk pencemaran terhadap udara [28]. Logam kadmium yang larut dalam aquades akan menghasilkan reaksi kimia sebagai berikut:



Keracunan Cd pernah terjadi di Jepang, menyebabkan penyakit lumbago yang berlanjut ke arah kerusakan tulang dengan akibat melunak dan retaknya tulang. Organ tubuh yang menjadi sasaran keracunan Cd adalah ginjal dan hati, apabila kandungan mencapai 200 µg Cd/gram (berat basah) dalam cortex ginjal yang akan mengakibatkan kegagalan ginjal dan berakhir pada kematian. Korban terutama terjadi pada wanita pasca monopause yang kekurangan gizi, kekurangan vitamin D dan kalsium. Penimbunan Cd dalam tubuh mengalami peningkatan sesuai usia yaitu paruh-umur dalam tubuh pada kisaran 20 – 30 tahun [28].

II.7 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah rangkaian yang dikembangkan dari mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 6 *input* analog, berlabel A₀ sampai A₅, masing-masing menyediakan 10 bit resolusi, secara *default* 5 volt dari *Ground* [29]. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, satu koneksi USB, satu konektor *power supply*, satu *header* ICSP, serta ada satu tombol reset. Arduino Uno mempunyai semua kemampuan yang dibutuhkan oleh sebuah mikrokontroler [30].



Gambar 2.6 Arduino uno

Arduino Uno dapat disuplai melalui koneksi USB atau dengan sebuah *power supply* eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Suplai eksternal (*non-USB*) dapat diperoleh dari sebuah adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan mencolokkan sebuah *center-positive plug* yang panjangnya 2,1 mm ke *power jack* dari *board*. Kabel *lead* dari sebuah baterai dapat dimasukkan dalam kepala (*header*) pin *ground* (Gnd) dan pin V_{in} dari konektor *power*. *Board* Arduino Uno dapat beroperasi pada sebuah suplai eksternal 6 sampai 20 Volt. Jika disuplai dengan yang lebih kecil dari 7 Volt, jika pin 5 Volt mungkin mensuplai kecil dari 5 Volt dan *board* Arduino Uno bisa menjadi tidak stabil [30].

II.8 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik

II.8.1 *Light Dependent Diode* (LED)

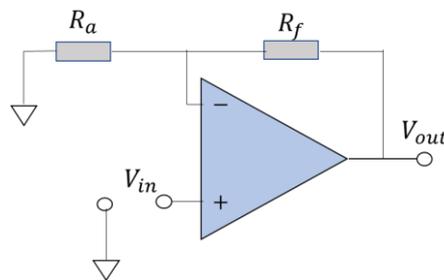
LED memiliki panjang gelombang 950 nm dan berfungsi sebagai sumber cahaya inframerah yang akan merambat sepanjang serat optik sehingga dapat diterima oleh detektor pada ujung lain dari serat optik [26]. Pada dasarnya LED adalah sejenis dioda semikonduktor istimewa dengan berbagai macam warna. Seperti sebuah dioda normal, LED terdiri dari sebuah chip bahan semikonduktor yang diisi penuh atau di-*dop*. Dengan ketidakmurnian untuk menciptakan sebuah struktur yang disebut *p-n junction*. Pembawa muatan elektron dan lubang elektron mengalir ke *junction* dari elektroda dengan tegangan berbeda. Ketika elektron bertemu dengan lubang, elektron jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah dan melepas energi dalam bentuk foton [32].

II.8.2 Fototransistor

Fototransistor merupakan salah satu komponen yang berfungsi sebagai detektor cahaya yang dapat mengubah efek cahaya menjadi sinyal listrik dalam bentuk tegangan [33]. Berkurangnya intensitas cahaya yang diterima oleh fototransistor, maka akan menyebabkan tegangan keluaran menjadi kecil. Hal ini terjadi karena terdapat cahaya yang keluar dari sensor serat optik akibat rugi daya [34].

II.8.3 Penguat Selisih (*Differential Amplifier*)

Sinyal yang dihasilkan sensor fototransistor sangat kecil untuk mendapatkan sensitivitas yang tinggi. Oleh sebab itu sinyal ini perlu dikuatkan terlebih dahulu dengan menggunakan penguat agar dapat diolah oleh pengondisi sinyal [35].



Gambar 2.7 Rangkaian penguat *non-inverting* [35]

Rangkaian penguat selisih ini merupakan rangkaian pengurang yang menggunakan penguat operasional pada dasarnya saling mengurangkan dari dua buah masukannya [36]. Penguat selisih digunakan untuk mencari selisih tegangan dari dua sinyal masuk. Persamaan tegangan keluarannya dinyatakan sebagai berikut [37]:

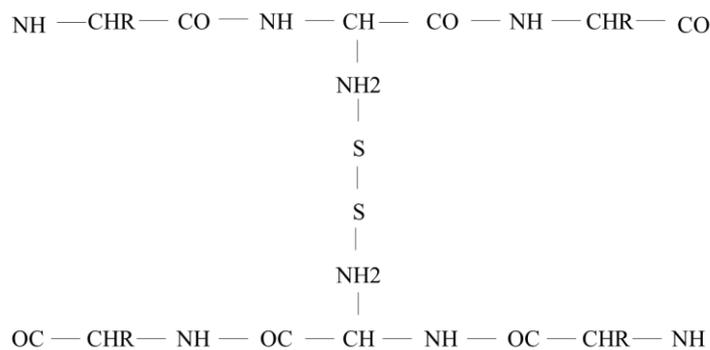
$$V_{out} = \frac{R_f}{R_a} (V_b - V_a) \quad (2.10)$$

V_a adalah tegangan yang akan di kuatkan dan V_b adalah tegangan referensi, R_a dan R_b adalah hambatan masing masing untuk V_a dan V_b . Nilai dari hambatan ini harus sama sedangkan R_f adalah hambatan umpan balik (*feedback*), hambatan ini yang akan menentukan berapa kali penguatan yang akan diberikan pada V_a . Fungsi rangkaian ini adalah untuk mencari beda atau selisih antara tegangan referensi dengan tegangan masukan [37].

II.9 Struktur Keratin dan Asam Askorbat

II.9.1 Struktur Keratin

Keratin di definisikan oleh sejumlah besar asam amino sistein. Dimana sistein adalah asam amino yang mengandung sulfur (S) dan dapat membentuk sulfur-sulfur (S-S). Keratin serat protein yang banyak terdapat pada lapisan pelindung pada manusia atau hewan, seperti kulit, rambut atau bulu. Kebanyakan keratin di alam adalah alpha keratin, di samping ada konformasi lain yang di kenal yaitu anti paralel atau *pleated sheet*. Sedangkan keratinase adalah spesifik protease hidrolisis keratin yang terdapat pada bulu ayam, wol dan rambut. Keratin serupa dengan komponen protein lainnya secara umum dan tidak tampak perbedaan substratnya [38]. Struktur keratin dapat dilihat pada Gambar 2.8.



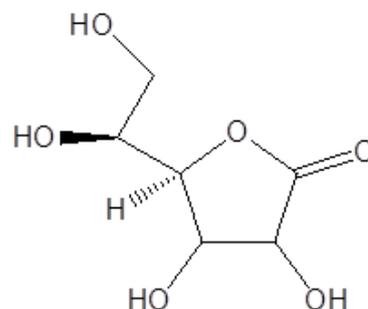
Gambar 2.8 Struktur kimia keratin [39]

Keratin tidak larut dalam eter, alkohol, pemanasan alkali, kelenjar saluran pencernaan dan kelenjar pankreas [40]. Hal tersebut terjadi, karena keratin terdiri dari 90 asam amino tetapi sebagian besar berupa sistin, lisin, prolin dan serin. Sehingga, asam amino cenderung bersilangan membentuk ikatan disulfida atau hidrogen sehingga menghasilkan serat yang kuat, ringan dengan sifat termal dan isolasi yang baik. Keratin dapat digredasi dengan memecah atau memutus ikatan disulfida pada keratin tersebut. Hal ini dapat dapat dilakukan dengan pemanasan tinggi (hidrotermal), perlakuan kimia, serta perlakuan biologis. Perlakuan hidrotermal dilakukan dengan pengaturan suhu dan tekanan yang tinggi. Perlakuan kimia dilakukan dengan penambahan asam (HCl) dan basa (NaOH) pada konsentrasi tinggi. Perlakuan biologis dapat dilakukan secara enzimatik dengan menggunakan enzim khusus yaitu keratinase [41].

Keratin dapat digunakan sebagai adsorben logam berat kadmium, karena sifat keratin berkaitan dengan gugus amina yang akan menyebabkan sifat polielektrolit dengan gugus asam askorbat. Proses penambahan melibatkan gugus fungsional keratin dan asam askorbat, gugus fungsional keratin yang didenaturasi dalam larutan asam akan mengalami perubahan struktur yang awalnya berbentuk tersier menjadi primer, karena perbedaan muatan antara keratin dan asam askorbat terjadi sifat polielektrolit sehingga dapat berperan sebagai penukar ion dan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben terhadap logam berat [15].

II.9.2 Struktur Asam Askorbat

Asam askorbat disebut juga Vitamin C merupakan vitamin yang paling sederhana, mudah berubah akibat oksidasi, tetapi amat berguna bagi manusia. Struktur kimianya terdiri dari rantai 6 atom C dan kedudukannya tidak stabil ($C_6H_8O_6$), karena mudah bereaksi dengan O_2 di udara menjadi asam dehidroaskorbat [42]. Vitamin C termasuk golongan antioksidan karena sangat mudah teroksidasi oleh panas, cahaya dan logam [43]. Vitamin C mudah larut dalam air, agak sukar larut dalam etanol. Tidak larut dalam kloroform, dalam eter dan dalam benzene [44]. Asam askorbat merupakan molekul hidrofilik yang bersifat polar sehingga dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil ($-OH$) dan amina ($-NH_2$) [45]. Struktur asam askorbat dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur kimia asam askorbat [45]

Penambahan asam askorbat pada keratin sebagai adsorben diharapkan dapat meningkatkan daya adsorpsi untuk mengatasi ion logam kadmium dalam air. Asam askorbat digunakan karena bahan kimia yang tidak beracun, lebih ekonomis dan mudah didapatkan [46].