

**Karakterisasi Elektroda Selektif Ion (ESI) Kadmium Tipe
Kawat Terlapis Bermembran D2EHPA**

SKRIPSI

Oleh:

**Endah Kusrini
0910920034-92**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**Karakterisasi Elektroda Selektif Ion (ESI) Kadmium Tipe
Kawat Terlapis Bermembran D2EHPA**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang kimia

Oleh:

Endah Kusriani

0910920034-92



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Karakterisasi Elektroda Selektif Ion (ESI) Kadmium Tipe Kawat Terlapis Bermembran D2EHPA

Oleh:

Endah Kusrini
0910920034-92

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II

Dr. Atikah, Apt., M.Si
NIP. 195702081986012001

Dr. Hermin Sulistyarti
NIP. 196405291988022001

Menyetujui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas
Brawijaya

Dr. Edi Priyo Utomo, MS
NIP. 195712271986031003

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Endah Kusrini

NIM : 0910920034

Jurusan : Kimia

Penulis skripsi berjudul :

Karakterisasi Elektroda Selektif Ion (ESI)

Kadmium Tipe Kawat Terlapis Bermembran

D2EHPA

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 2013

Yang menyatakan,

(Endah Kusrini)

NIM. 0910920034

ABSTRAK

Penentuan karakter dasar elektroda selektif ion (ESI) kadmium tipe kawat berlapis bermembran D2EHPA yang dilakukan meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi linier, batas deteksi, waktu respon dan usia pakai. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan komposisi membran optimum yang terdiri dari bahan aktif D2EHPA : PVC : DBP dengan perbandingan 16:28:56 yang dilarutkan ke dalam tetrahidrofuran (THF) pada perbandingan 1:3 (b/v). Sedangkan larutan uji yang digunakan adalah CdCl_2 1×10^{-1} – 1×10^{-8} M dengan pH 5 (bufer asetat) dan waktu perendaman optimum 20 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ESI yang dibuat cukup *Nernstian* dengan harga faktor Nernts sebesar 27,7 mV/dekade konsentrasi dan koefisien regresinya (R^2) sebesar 0,9998. Kisaran konsentrasi ESI kadmium adalah 1×10^{-5} - 1×10^{-1} M atau 1,46 – 14600 ppm. Batas deteksi ESI kadmium sebesar $6,607 \times 10^{-6}$ M atau 0,317 ppm. Sedangkan waktu respon dari ESI kadmium adalah 40 detik dan usia pemakaiannya mencapai 42 hari. Hasil yang diperoleh dari analisis data yang meliputi penentuan deviasi standart (SD) dan koefisien variasi (CV) secara berturut-turut adalah 0,264 dan 0,953%.

Kata kunci : ESI kadmium, D2EHPA, karakterisasi, elektroda kawat berlapis

ABSTRACT

Determination of the basic characters of ion selective electrode (ISE) cadmium typical membrane coated wire covered Nernst factor, linear concentration range, limit detection, response time and life time. Measurements were performed using optimum membrane composition comprising active ingredients of D2EHPA: PVC: DBP with 16:28:56 ratio dissolved in tetrahydrofuran (THF) at ratio of 1:3 (w / v). The test solution used was CdCl_2 1×10^{-1} - 1×10^{-8} M with pH 5 (acetate buffer) and the optimum soaking time of 20 minutes. The purpose ISE demonstrated close to Nernstian with Nernst factor of 27.7 mV / decade of concentration and regression coefficient (R^2) of 0.9998. The cadmium ISE also showed linear concentration range from 1×10^{-5} to 1×10^{-1} M or 1.46 to 14,600 ppm. Limit detection of $6,607 \times 10^{-6}$ M or 0.317 ppm. Response time of 40 seconds and life time of 42 days. Results obtained from the data analysis gave good precision shown by standard deviation (SD) and coefficient variation (CV) of respectively 0.264 and 0.953%.

Keywords: ESI cadmium, D2EHPA, characterization, membrane coated wire

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia Nya sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi yang berjudul Karakterisasi elektroda selektif ion (ESI) cadmium tipe kawat terlapis bermembran D2EHPA ini merupakan salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang kimia di fakultas MIPA universitas brawijaya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan terlibat dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini, diantaranya kepada:

1. Dr. Atikah, Apt.,M.Si. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, perhatian, dukungan, kesabaran dan doa yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Hermin Sulistyarti selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, perhatian, dukungan, kesabaran dan doa yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Drs. M. Misbah Khunur, M.Si selaku dosen penguji atas segala masukan dan saran yang diberikan kepada penulis untuk perbaikan naskah skripsi ini.
4. Dr. Edi Priyo Utomo, M.S. selaku ketua jurusan kimia fakultas mipa universitas brawijaya sekaligus dosen pembimbing akademik atas bimbingan dan pengarahan selama masa studi
5. Seluruh dosen dan staf atas segala bantuan yang diberikan
6. Kedua orang tua dan kakak yang selalu mengiringi penulis dengan doa, perhatian dan kasih sayang serta dukungan hingga terselesainya tugas akhir ini.
7. Semua teman-teman atas doa dan dukungannya serta semua pihak yang telah membantu tersusunnya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran diharapkan dari pembaca. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pemerhati Kimia dan pembaca sekalian, khususnya penulis.

Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kadmium (Cd).....	5
2.2 Elektroda Selektif Ion (ESI)	7
2.3 Elektroda Selektif Ion Tipe Kawat Terlapis	9
2.4 Prinsip Pengukuran ESI Tipe Kawat Terlapis	11
2.5 Membran Elektroda Selektif Ion	13
2.6 Komponen Penyusun Membran Selektif Ion.....	14
2.6.1 Bahan aktif membran di (2-ethyl hexyl) phosphoric acid (D2EHPA)	14
2.6.2 Bahan pendukung membran polivinil klorida (PVC).....	15
2.6.3 Plasticizer dibutil ftalat (DBP)	15
2.6.4 Pelarut tetrahidrofuran (THF).....	16
2.7 Karakterisasi Dasar ESI.....	16
2.7.1 Faktor Nernst.....	17
2.7.2 Rentang konsentrasi linier.....	17
2.7.3 Limit deteksi.....	17

2.7.4 Waktu respon ESI.....	18
2.7.5 Usia pemakaian	19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Metodologi Penelitian	20
3.4 Prosedur Kerja	21
3.4.1 Preparasi larutan.....	21
3.4.1.1 Pembuatan larutan bufer asetat pH 5.....	21
3.4.1.2 Pembuatan larutan induk CdCl ₂ 1M.....	21
3.4.1.4 Pembuatan Larutan CdCl ₂ dengan konsentrasi 1x10 ⁻¹ - 1x10 ⁻⁸ M pH 5.....	21
3.4.2 Pembuatan ESI kadmium tipe kawat berlapis.....	22
3.4.2.1 Pembuatan membran	22
3.4.2.2 Pembuatan ESI kadmium tipe kawat terlapis	23
3.4.3 Karakterisasi sifat dasar ESI kadmium tipe kawat terlapis	23
3.4.3.1 Faktor Nernst dan kisaran konsentrasi pengukuran	23
3.4.3.2 Limit deteksi.....	23
3.4.3.3 Waktu respon	24
3.4.3.4 Usia pakai (<i>life time</i>)	24
3.5 Analisa Data	24
3.5.1 Perhitungan nilai rata-rata nilai potensial	24
3.5.3 Perhitungan standar deviasi (SD) dan koefisien variasi (CV)	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konstruksi Elektroda Selektif Ion Kadmium Tipe Kawat Terlapis.....	26
4.2 Faktor Nernst, Rentang Konsentrasi Linier dan Batas Deteksi.....	27
4.3 Waktu Respon.....	32
4.3 Usia Pakai	34

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 37
5.2 Saran 37

DAFTAR PUSTAKA 38

LAMPIRAN..... 42

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	: Konstruksi ESI tipe kawat berlapis.....	10
Gambar 2.2	: Skema pengukuran menggunakan ESI tipe kawat berlapis.....	11
Gambar 2.3	: Struktur D2EHPA	15
Gambar 2.4	: Mekanisme pertukaran ion pada antar muka membran dengan larutan analit.....	15
Gambar 2.5	: Kurva penentuan batas deteksi.....	18
Gambar 4.1	: Konstruksi ESI kadmium tipe kawat berlapis.....	26
Gambar 4.2	: Kurva hubungan E_{sel} dan $\log [Cd^{2+}]$ ESI kadmium.....	30
Gambar 4.3	: Mekanisme pertukaran ion antara D2EHPA dengan ion Cd^{2+}	33
Gambar 4.4	: Kurva hubungan antara E_{sel} dengan waktu untuk penentuan waktu respon ESI kadmium.....	33
Gambar 4.5	: Kurva hubungan Faktor Nernst terhadap waktu (hari).....	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 : Komposisi membran yang dibuat	22
Tabel 4.1 : Harga potensial untuk penentuan faktor Nernst.....	28
Tabel 4.2 : Bilangan Nernst, kisaran konsentrasi dan batas deteksi ESI kadmium	31
Tabel 4.3 : Faktor Nernst, E^0 , koefisien regresi (R^2) pada ESI kadmium tipe kawat terlapis dalam 7 hari pertama pengukuran.....	32
Tabel L.C.1 : Pembuatan larutan ($CdCl_2$) $1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-8}$ M dengan volume ($CdCl_2$) yang dihasilkan sebesar 50 mL	45
Tabel L.C.2 : Persamaan Nernst tiap selang waktu 1 hari selama 7 hari pertama	45
Tabel L.C.3 : Harga potensial, faktor Nernst Dan koefisien regresi pada ESI kadmium tipe kawat terlapis selama 7 hari pertama	46
Tabel L.C.4 : Hubungan harga faktor Nernst terhadap waktu	47
Tabel L.C.5 : Hasil penentuan waktu respon	48

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	TAHAPAN KERJA42
	L.A.1 Diagram Alir Penelitian.....42
Lampiran B	PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN.....43
	L.B.1 Pembuatan larutan bufer asetat pH 543
	L.B.2 Pembuatan larutan CdCl ₂43
	L.B.2.1 Larutan CdCl ₂ 1M dalam 100 mL....43
	L.B.2.3 Larutan CdCl ₂ CdCl ₂ 1x10 ⁻¹ - 1x10 ⁻⁸ M pH 543
Lampiran C	DATA HASIL PENELITIAN.....49
	L.C.1 Tabel pembuatan larutan (CdCl ₂) 1x10 ⁻¹ – 1x10 ⁻⁸ M dengan volume (CdCl ₂) yang dihasilkan sebesar 50 mL45
	L.C.2 Tabel persamaan Nernst tiap selang waktu 1 hari selama 7 hari pertama.....45
	L.C.2 Tabel harga potensial, faktor Nernst Dan koefisien regresi pada ESI kadmium tipe kawat terlapis selama 7 hari pertama.....46
	L.C.2 Tabel hubungan harga faktor Nernst terhadap waktu47
	L.C.2 Tabel hasil penentuan waktu respon.....48
Lampiran D	ANALISIS DATA49
	L.D.1 Perhitungan untuk menentukan persamaan tetapan potensial sebagai fungsi waktu49
	L.D.2 Perhitungan untuk menentukan persamaan Nernst sebagai fungsi waktu.....50
	L.D.3 Perhitungan Standart Deviasi (SD) dan Koefisien Variasi (CV).....52

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi industri, meskipun berdampak pada peningkatan manfaat bagi kehidupan manusia, namun limbah industri yang dibuang ke perairan bebas, misalnya sungai. Apabila hasil buangan tersebut tidak diolah dengan benar dan sempurna, akan memberikan dampak yang kurang menguntungkan bagi lingkungan sekitar, sehingga timbullah masalah pencemaran lingkungan. Beberapa jenis zat yang biasa terdapat dalam hasil buangan industri adalah logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) yang dihasilkan oleh industri tertentu untuk pembuatan *alloy* dan industri keramik. Ketiga logam berat tersebut mempunyai sifat karsinogenik, kumulatif sehingga dapat tertimbun dalam tubuh manusia, apabila kadarnya melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan [1].

Kadmium (Cd) murni berupa logam berwarna putih perak dan lunak, tetapi bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Pada umumnya kadmium terdapat dalam bentuk senyawa dengan unsur lain. Masuknya kadmium ke dalam tubuh dapat melalui pernafasan, makanan, dan air minum. Jika hal tersebut terjadi terus-menerus dalam waktu lama, kadmium akan terakumulasi dalam tubuh dan pada kadar tertentu dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Gangguan kesehatan akibat masuknya kadmium ke dalam tubuh dapat berupa kerusakan pada sistem tubuh seperti pada sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan/paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung. Disamping itu juga dapat merusak kelenjar reproduksi, sistem penciuman, dan dapat mengakibatkan kerapuhan pada tulang [2]. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 907/MENKES/ SK/VII/2002 tentang batasan kadar bahan kimia anorganik dalam air minum, bahwa kadar maksimum yang diperbolehkan dalam air minum untuk Cd adalah 0,003mg/L [1].

Untuk pemeriksaan logam seperti kadmium secara kuantitatif dilakukan dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) karena metode ini tidak memerlukan pemisahan unsur-unsur logam dalam cuplikan dan cocok untuk pengukuran sampel dengan

konsentrasi yang rendah. Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu peralatan yang mahal dan tidak dapat digunakan untuk analisis di lapangan. Dengan demikian maka dapat digunakan metode yang lebih sederhana yaitu metode potensiometri menggunakan Elektroda Selektif Ion (ESI) [3]. Analisis dengan menggunakan sensor potensiometrik dapat menentukan beragam aktifitas ion-ion dalam larutan melalui potensial yang ditimbulkan [5].

Elektroda selektif ion (ESI) adalah sensor kimia yang secara luas digunakan untuk penentuan ion baik kation maupun anion. Hal ini disebabkan karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya, dan elektroda selektif ion diakui sebagai alat analitik yang baru. ESI memiliki keunggulan antara lain [5]: (1) analisis dengan ESI cepat dan akurat, (2) ESI dapat mengukur aktivitas suatu spesies secara langsung dan memiliki selektifitas yang tinggi sehingga tidak memerlukan pemisahan, (3) jangkauan pengukuran luas, dan (4) biaya analisis murah. Elektroda selektif ion tipe kawat terlapis (*coated wire electrode*) merupakan elektroda yang mudah pembuatannya, yaitu dengan cara melapiskan polimer, seperti polivinil kloroda (PVC) berisi ionofor, pada kawat konduktor (Pt, Ag, Cu). Pada pembuatan ESI dibutuhkan membran yang berisi ionofor (ligan pengkompleks). Membran ESI yang baik harus memiliki komposisi bahan-bahan aktif yang dapat berikatan dengan analit pada permukaan membran dalam larutan sampel dengan reaksi yang cepat, reversibel dan selektif [6].

Sifat dasar ESI seperti sensitifitas, selektifitas, limit deteksi, dan usia pemakaian, yang pada umumnya ditentukan oleh sifat hidrofobisitas bahan pembentuk membran. Sifat hidrofobisitas ini ditentukan oleh pemilihan bahan pembentuk membran dan komposisinya. ESI yang sensitif dan selektif diperoleh dari pemilihan struktur bahan aktif yang asimetris, dan penggunaan bahan pendukung membran campuran polimer PVC (Polivinilklorida) dengan berat molekul (BM) tinggi dan *plasticizer* yang bersifat hidrofob [7].

Di (2-Ethyl Hexyl)Phosphoric Acid (D2EHPA) di dalam membran berfungsi sebagai membran penukar kation yang akan mengikat koion pengganggu yang ada di dalam membran D2EHPA yang memiliki gugus fosfat bermuatan negatif akan mengikat koion pengganggu yang bermuatan positif seperti Cd. Dengan demikian

membran bermuatan netral karena terjadinya kesetimbangan di dalam membran dengan terikatnya koion yang mengganggu oleh D2EHPA [8].

Sebelum digunakan untuk metode analisis, suatu ESI perlu dikarakterisasi. Sifat dasar dari ESI meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi, limit deteksi, stabilitas potensial baku kondisional (E°) terhadap waktu, reproduisibilitas pembuatannya, waktu respon yang cepat (orde detik), selektif terhadap ion asing serta usia pemakaian yang lama [13].

Pada penentuan karakter dasar ESI kadmium, larutan uji yang digunakan adalah CdCl_2 dengan konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-8} M pH 5. Dengan adanya D2EHPA, maka diharapkan dapat mengikat ion-ion pengganggu yang ada di dalam larutan Cd, sehingga ESI akan mampu merespon ion Cd^{2+} secara selektif. ESI kadmium yang dibuat dapat digunakan untuk menganalisis adanya ion kadmium di dalam sampel air, namun ESI tersebut masih belum diketahui kinerjanya sehingga perlu dilakukan karakterisasi. Karakterisasi ESI kadmium meliputi faktor Nernst, kisaran konsentrasi linier, batas deteksi, waktu respon, dan usia pemakaian. Dengan demikian, maka akan diketahui kualitas ESI yang dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah karakteristik dasar dari ESI kadmium tipe kawat berlapis bermembran D2EHPA yang meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi linier, limit deteksi, waktu respon, dan usia pakai?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan di atas maka batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

- a. Komponen penyusun membran yang digunakan adalah D2EHPA, polimer PVC, dan pemlastis DBP dengan perbandingan komposisi 16:28:56 dengan menggunakan pelarut THF sebanyak 3mL.
- b. Larutan induk yang digunakan dalam ekstraksi dengan D2EHPA adalah CdCl_2 2M dan larutan uji yang digunakan adalah CdCl_2 1×10^{-1} – 1×10^{-8} M menggunakan bufer asetat dengan waktu perendaman optimum 20 menit.

- c. Karakterisasi dasar ESI Kadmium tipe kawat terlapis meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi linier, limit deteksi, waktu respon, dan usia pakai (*life time*).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh karakterisasi dasar ESI kadmium tipe kawat terlapis yang meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi linier, limit deteksi, waktu respon, dan usia pakai (*life time*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah didapatkan karakteristik dasar dari ESI kadmium tipe kawat terlapis yang bermembran D2EHPA.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam kebiruan yang lunak, dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Kadmium dapat terakumulasi pada ginjal, sehingga ginjal mengalami disfungsi. Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Zn). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai “*the big three heavy metal*” yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/ WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 g per orang atau 7 mg per kg berat badan. Kadmium yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui makanan dan tembakau, hanya sejumlah kecil berasal dari air minum dan polusi udara [8]. Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd klorida) atau belerang (Cd sulfid). Karakteristik kadmium yang lainnya adalah bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH^- , ion-ion Cd^{2+} akan mengalami pengendapan. Endapan yang terbentuk biasanya dalam bentuk senyawa terhidratasi yang berwarna putih [32].

Kadmium sangat membahayakan kesehatan karena pengaruh racun akut dari unsur tersebut sangat buruk. Faktor yang menyebabkan tingginya kontaminasi logam berat di lingkungan adalah perilaku manusia yang menciptakan teknologi tanpa menimbang terlebih dahulu efek yang akan ditimbulkan bagi lingkungan di kemudian hari. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia akan melakukan interaksi antara lain dengan enzim, protein, DNA, serta metabolit lainnya. Adanya logam berat pada jumlah yang berlebihan dalam tubuh akan berpengaruh buruk terhadap tubuh [8].

Logam berat dapat memasuki tubuh dan mengakibatkan kerusakan pada berbagai jaringan tubuh melalui beberapa cara. Mekanisme pertama adalah berikatan dengan gugus sulfhidril,

sehingga fungsi enzim pada jaringan tubuh akan terganggu kerjanya. Mekanisme yang kedua adalah berikatan dengan enzim pada siklus *Krebs*, sehingga proses oksidasi fosforilasi tidak terjadi. Mekanisme yang ketiga adalah dengan efek langsung pada jaringan yang terkena yang menyebabkan kematian (nekrosis) pada lambung dan saluran pencernaan, kerusakan pembuluh darah, perubahan degenerasi pada hati dan ginjal. Tubuh dapat menyerap logam berat melalui permukaan kulit dan mukosa, saluran pencernaan dan saluran nafas. Akumulasi pada jaringan tubuh dapat menimbulkan keracunan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan apabila melebihi batas toleransi [8].

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Waktu paruh kadmium 10-30 tahun. Dalam tubuh manusia kadmium dieliminasi melalui urin. Hanya sedikit yang diabsorpsi, yaitu sekitar 5-10%. Absorpsi dipengaruhi faktor diet seperti *intake* protein, kalsium, vitamin D dan *trace* logam seperti seng (Zn). Proporsi yang besar adalah absorpsi melalui pernafasan yaitu antara 10-40% tergantung keadaan fisik. Uap kadmium sangat toksis dengan *lethal dose* melalui pernafasan diperkirakan 10 menit terpapar sampai dengan 190 mg/m^3 atau sekitar 8 mg/m^3 selama 240 menit akan dapat menimbulkan kematian [8].

Gejala umum keracunan Cd adalah sakit di dada, nafas sesak (pendek), batuk-batuk dan lemah. Terpapar akut oleh kadmium (Cd) menyebabkan gejala mual, muntah, diare, kram otot, anemia, dermatitis, pertumbuhan lambat, kerusakan ginjal dan hati, dan gangguan kardiovaskuler, emphysema dan degenerasi testicular. Perkiraan dosis mematikan akut adalah sekitar 500 mg/kg untuk dewasa dan efek dosis akan nampak jika terabsorpsi 0,043 mg/kg per hari. Gejala akut keracunan Cd adalah sesak dada, kerongkongan kering dan dada terasa sesak, nafas pendek, nafas terengah-engah, distress dan bisa berkembang ke arah penyakit radang paru-paru, sakit kepala dan menggigil, bahkan dapat diikuti dengan kematian. Gejala kronis keracunan Cd yaitu nafas pendek, kemampuan mencium bau menurun, berat badan menurun, gigi terasa ngilu dan berwarna kuning keemasan [8].

Upaya untuk memelihara dan meningkatkan derajat kesehatan dilakukan dengan cara promotif, preventif, pengobatan dan pemulihan. Namun dirasa perlu dititikberatkan pada upaya

promotif dan preventif. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) sebelum dibuang ke media lingkungan seharusnya diolah lebih dulu. Pemerintah telah mengeluarkan berbagai peraturan yang berhubungan dengan masalah lingkungan hidup, antara lain yang mengatur bahwa limbah yang dihasilkan oleh suatu kegiatan (misal: industri) yang dibuang ke lingkungan (udara dan perairan) harus sesuai dengan baku mutu lingkungan, baik itu baku mutu untuk udara maupun baku mutu untuk air. Hal ini merupakan bagian dari Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) yang menjadi program pemerintah melalui instansi yang terkait [8].

Kadmium (Cd) adalah logam yang ditemukan alami dalam kerak bumi. Kadmium murni berupa logam lunak berwarna putih perak. Jenis logam tersebut belum pernah ditemukan sebagai logam murni di alam, umumnya terikat dengan unsur lain seperti oksigen, klorin, atau sulfur. Kadmium termasuk logam berat dengan toksisitas tinggi, dan merupakan kontaminan yang paling harus diwaspadai. Bahan pangan dapat terkontaminasi kadmium melalui lingkungan atau kegiatan industri. Kadmium dapat diabsorpsi oleh tanaman dan hewan laut, juga mengontaminasi melalui pupuk pada tanaman. Kontaminasi kadmium pada tanaman tidak dapat dihilangkan dengan pencucian, karena sudah terdistribusi ke seluruh bagian tumbuhan. WHO menyatakan bahwa kadar kadmium pada sebagian besar bahan pangan adalah kurang dari $0.02 \mu\text{g/g}$, namun asap rokok dapat meningkatkan kadar kadmium tersebut. Kadmium dan senyawanya (terutama senyawa asam lemah) bersifat karsinogen. Kadmium dapat terserap ke dalam tubuh melalui saluran pencernaan dan terakumulasi dalam tubuh pada hati dan ginjal. Akumulasi kadmium di ginjal dapat berlanjut hingga usia 50-60 tahun, sementara ekskresi senyawa tersebut berlangsung sangat lama, diperkirakan antara 10-33 tahun [9].

2.2 Elektroda Selektif Ion (ESI)

Elektroda Selektif Ion (ESI) merupakan metoda yang digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu ion secara kuantitatif dengan menggunakan membran sebagai sensor kimia yang potensialnya berubah secara reversibel terhadap perubahan aktivitas ion yang ditentukan. Membran merupakan bagian terpenting yang menentukan selektivitas suatu ESI [10]. Elektroda Selektif Ion

termasuk yang paling umum digunakan (elektroda pH) bekerja dengan prinsip dasar dari sel galvanic. Dengan mengukur potensial listrik yang dihasilkan oleh membran pada ion tertentu dan dibandingkan dengan elektroda pembanding (*reference electrode*). Kekuatan beda potensial yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi dari ion yang terukur (selektif) [11].

Elektroda Selektif Ion (ESI) adalah elektroda membran yang selektif merespon keberadaan ion lain dalam larutan, juga spesifik menyelidiki keberadaan gas dan ion dalam larutan. Yang paling umum digunakan yaitu ion selektif elektroda untuk pH. Ion lain yang dapat diukur menggunakan ESI seperti flour, bromida, kadmium, dan gas-gas dalam larutan seperti NH_3 , CO_2 dan NO_2 . ESI memberikan respon potensial tertentu pada ion yang spesifik. Untuk potensial standart digunakan potensial dari ion H^+ yang dipakai pada pH meter. Perbedaan potensial yang dihasilkan diantara dua elektroda akan tergantung pada aktivitas ion yang spesifik dalam larutan. Aktivitas ion terkait pada konsentrasi ion yang spesifik, sehingga memungkinkan untuk analisis ukuran ion yang spesifik. Beberapa ESI telah dikembangkan untuk beberapa ion yang berbeda [11].

Sensor sebagai piranti analitik berfungsi sebagai pengesan keberadaan dan kuantitas suatu bahan tertentu, telah berkembang pesat lebih dari dua dekade. Elektroda Selektif Ion (ESI) merupakan suatu sensor elektrokimia potensiometrik yang banyak digunakan karena memiliki selektivitas, sensitivitas, keakuratan dan ketepatan yang relatif tinggi serta batas deteksinya cukup rendah. Perkembangan ESI yang menggunakan membran termasuk cukup pesat karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya. Elektroda selektif ion terdiri atas membran yang memberikan respon secara selektif terhadap spesi ion tertentu dan bagian luarnya mengadakan kontak dengan ion yang akan ditentukan. Membran yang digunakan berupa polimer dan suatu zat aktif yang bersifat sebagai pengekstraksi melalui mekanisme khelat atau pertukaran ion. Jika membran cair itu memisahkan dua larutan, selektifitas ion tercapai dengan ekstraksi selektif ion tertentu melalui fasa membran dan juga melalui perbedaan mobilitas ion dalam membran [12].

Pengukuran secara potensiometri dengan elektroda selektif ion (ESI) memiliki keunggulan lebih antara lain: analisis cepat, akurat, selektivitas yang tinggi, sehingga tidak perlu pemisahan,

jangkau pengukuran yang luas serta biaya analisis yang rendah. Keunggulan lainnya adalah peralatannya praktis dan mudah dibawa sehingga dapat digunakan untuk pengukuran secara langsung di lapangan [6].

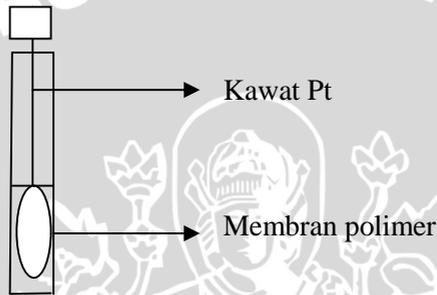
Pada pembuatan ESI dibutuhkan membran yang berisi ionofor (ligan pengkompleks). Membran ESI yang baik harus memiliki komposisi bahan-bahan aktif yang dapat berikatan dengan analit pada permukaan membran larutan sampel dengan reaksi yang cepat, reversibel dan selektif [6]. Pada pembuatan ESI, sensor dibuat dengan menggunakan sistem elektroda pembanding dalam menggunakan suatu konduktor elektronik berupa kawat Pt, Ag, atau Cu [13].

ESI banyak digunakan dalam analisis kimia secara luas mulai analisis kimia anorganik sederhana sampai makro molekul organik kompleks dalam bidang analisis kimia, biologi, pertanian, geologi, kedokteran serta lingkungan karena selektif, peka, akurat dan teliti serta batas deteksinya cukup rendah. Pelaksanaan analisisnya yang cepat, mudah, hanya memerlukan sampel sedikit serta peralatan sederhana seperti potensi/pH meter cocok untuk analisis rutin di lapangan. Dari segi instrumentasi sangat memungkinkan untuk diminiaturisasi, dapat digunakan untuk penentuan sampel yang mengalir (analisis on-line) serta sampai saat ini ESI tipe kawat terlapis belum dipasarkan. Berdasarkan jenis membran yang digunakan, elektroda dikelompokkan menjadi beberapa tipe, yaitu: elektroda kaca, elektroda cairan penukar ion, elektroda selektif ion pendeteksi gas, elektroda selektif ion tabung, dan elektroda selektif ion tipe kawat terlapis. ESI tipe tabung memiliki konstruksi kompleks, berukuran besar, memerlukan posisi tegak dalam penggunaannya, sehingga kurang cocok untuk analisis di lapangan. Selain itu memiliki sifat yang selektif terhadap ion-ion yang lebih lipofilik yang kerjanya mudah diganggu oleh ion Hg^{2+} , Ag^+ , dan Cu^{2+} [13].

2.3 Elektroda Selektif Ion Tipe Kawat Terlapis

Dalam beberapa ESI tipe kawat terlapis (EKT) digunakan bahan polimer konduktif yang didepositkan pada permukaan elektroda. Polimer konduktif yang cocok digunakan untuk aplikasi tersebut dan paling sering digunakan adalah polipirol dan polianilin

karena mudah disintesis dan kestabilan sifat-sifatnya [5]. Elektroda selektif ion tipe kawat terlapis (*coated wire electrode*) merupakan elektroda yang mudah pembuatannya, yaitu dengan cara melapiskan polimer, seperti polivinil kloroda (PVC) berisi ionofor, pada kawat konduktor (Pt, Ag, Cu) [6]. Elektroda kawat terlapis merupakan sebuah tipe elektroda selektif ion dimana bahan elektroaktif digabungkan dalam membran polimer tipis berpendukung secara langsung pada konduktor logam [34]. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan konstruksi sederhana dari ESI tipe kawat terlapis.



Gambar 2.1 Konstruksi ESI tipe kawat terlapis

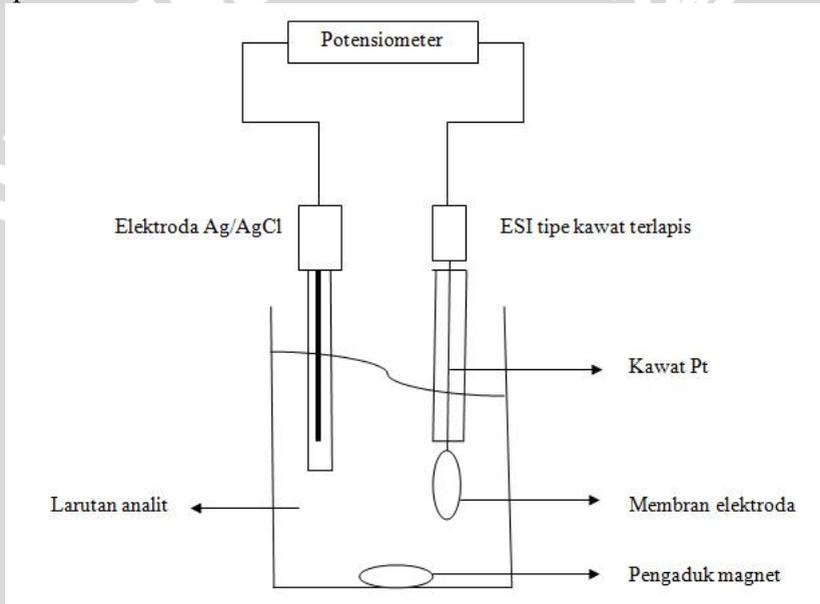
ESI tipe kawat terlapis merupakan suatu inovasi dalam bidang transduser sensor ion yang memberikan respon cepat pada rentang konsentrasi luas, memiliki konstruksi sederhana, berukuran kecil dan murah sehingga cocok untuk analisis lapangan. ESI bermembran cair ini telah banyak digunakan sebagai sensor kation dan anion yang menunjukkan selektivitas menurut urutan deret Hofmeister. Sampai saat ini ESI tipe kawat terlapis belum dipasarkan dan banyak dimanfaatkan untuk analisis on-line (insitu). Sifat dasar ESI bermembran cair yang menentukan kinerja ESI seperti sensitivitas, waktu respon, usia pemakaian serta konduktivitas sangat ditentukan oleh sifat hidrofobisitas dan komposisi membran ESI [13].

Kelebihan ESI tipe kawat terlapis yaitu: konstruksinya sederhana sehingga mudah dibuat, harga relatif murah, dapat digunakan dalam posisi miring yang sesuai untuk pengukuran in vivo, dan volume sampel yang dibutuhkan lebih sedikit. Sedangkan kelemahan ESI tipe kawat terlapis yaitu: sistem redoks yang terjadi

pada antarmuka konduktor dengan membran belum diketahui dan usia pakai yang terbatas karena daya tahan dari lapisan membran [18].

2.4 Prinsip Pengukuran ESI Tipe Kawat Terlapis

Potensial suatu ESI ditentukan dengan menggunakan elektroda pembanding Ag/AgCl. Potensial yang terukur merupakan beda potensial antara ESI dengan elektroda Ag/AgCl. Skema pengukuran suatu larutan dengan menggunakan ESI ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema pengukuran menggunakan ESI tipe kawat berlapis

Potensial yang terukur dapat dituliskan pada persamaan berikut [35].

$$E_{sel} = E_{ESI} - E_{pemb} \quad (2.1)$$

Pada ESI kadmium tipe kawat berlapis, kawat Ag menggantikan elektroda pembanding dalam, bila potensial Ag/AgCl adalah E_{pemb} yang bernilai negatif, potensial Ag dengan permukaan

dalam membran adalah $E_{M(int)}$ dan potensial permukaan membran dengan larutan cuplikan adalah $E_{M(eks)}$, maka persamaan Nernst dapat dituliskan sebagai berikut [35].

$$E_{sel} = E_{M(int)} + E_{M(eks)} - E_{pemb} \quad (2.2)$$

Oleh karena $E_{M(int)}$ dan E_{pemb} bernilai tetap maka persamaan diatas dapat ditulis menjadi [35].

$$E_{sel} = E_{M(eks)} \quad (2.3)$$

Atau

$$E_{sel} = E^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \log a_{Cd^{2+}} \quad (2.4)$$

Dengan E_{sel} adalah beda potensial sel, E^0 adalah potensial elektroda standard, R adalah konstanta gas ($8,314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T adalah temperatur dalam K, F adalah konstanta Faraday (96485 C mol^{-1}) dan n merupakan muatan dari ion yang ditentukan. Karena ion kadmium merupakan kation divalen dengan jumlah muatannya adalah 2, maka persamaannya menjadi [35].

$$E_{sel} = E^0 + 0,0296 \log a_{Cd^{2+}} \quad (2.5)$$

Perbedaan potensial yang dihasilkan diantara dua elektroda akan tergantung pada aktivitas ion yang spesifik dalam larutan. Aktivitas ion terkait pada konsentrasi ion yang spesifik, sehingga memungkinkan untuk analisis ukuran ion yang spesifik [11]. Pada ESI yang diukur adalah aktivitas ion bukan konsentrasi ion dalam larutan. Aktivitas ion dipengaruhi oleh koefisien aktivitas ion (γ) dalam larutan [35].

$$= \gamma [i] \quad (2.6)$$

Dalam larutan encer, aktivitas ion biasanya sebanding dengan konsentrasi ion karena koefisien aktivitas ion dalam larutan sama dengan satu, sehingga persamaan dapat ditulis menjadi [35].

$$E_{sel} = E^0 + 0,0296 \log [Cd^{2+}] \quad (2.7)$$

2.5 Membran Elektroda Selektif Ion

Membran adalah lapisan tipis dengan struktur planar khusus yang memisahkan dua larutan. Membran yang digunakan dalam konstruksi elektroda harus mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, meskipun kecil [33]. Membran merupakan bagian terpenting dari suatu elektroda selektif ion (ESI) yang dapat memberikan respon potensial (emf) dan selektivitas terhadap suatu analit tertentu. Untuk itu perlu diketahui ionofor yang paling baik dan berapa komposisi optimal untuk pembuatan membran suatu ESI. Penentuan ionofor dan komposisi optimal membran dilakukan dengan membuat beberapa variasi komposisi [6]. Membran yang digunakan berupa polimer dan suatu zat aktif yang bersifat sebagai pengekstraksi melalui mekanisme khelat atau pertukaran ion. Jika membran cair itu memisahkan dua larutan, selektivitas ion tercapai dengan ekstraksi selektif ion tertentu melalui fasa membran dan juga melalui perbedaan mobilitas ion dalam membran [12].

Sifat membran selektif ion yang selektif terhadap ion yang tersensor adalah [33]:

1. Bersifat hidrofobik dan mempunyai tetapan dielektrik yang tinggi
2. Dapat menghantarkan listrik meskipun kecil yang ditimbulkan oleh migrasi ion-ion dan dapat dicapai dengan porositas rendah dan kerapatan muatan tinggi
3. Dapat bereaksi dengan ion analit secara selektif melalui tiga tipe ikatan yaitu pertukaran ion, kompleksasi dan kristalisasi
4. Bersifat lentur (fleksibel) sehingga ion-ion didalamnya memiliki mobilitas tinggi dan dapat bermigrasi meskipun mobilitas bukan merupakan faktor utama dalam penentuan selektivitas ESI
5. Stabil terhadap pH, larutan yang mengandung bahan organik dan oksidator.

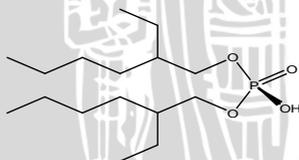
Pada pembuatan ESI tipe kawat terlapis harus diperhatikan komposisi dari membrannya. Komposisi membran meliputi bahan aktif, bahan pendukung, *plasticizer* biasanya berupa polivinilklorida (PVC), dan juga pelarut biasanya berupa tetrahidrofuran (THF). Perbandingan komposisi yang digunakan harus menghasilkan membran yang mikroporus, bersifat hidrofobik, dan lentur sehingga

memiliki konduktivitas listrik cukup besar [13]. Potensial listrik yang timbul pada antarmuka membran ESI suatu ion larutan analit disebabkan karena adanya reaksi pertukaran ion antara ion larutan analit dengan ion dalam struktur membran yang khas dan fenomena difusi ion-ion di dalam membran. Hal ini menyebabkan ESI bersifat selektif dan spesifik, meskipun membran ini kadang memberikan respon juga terhadap ion lain selain yang disensornya [13]. Stabilitas membran disebabkan oleh penambahan *plasticizer*, yang menyebabkan penurunan temperatur transisi gelas T_g sehingga membran selain bersifat lentur, juga mengubah sifat fisik membran seperti memperbesar volume spesifik membran yang menyebabkan membran mengembang membentuk gel yang diperlukan untuk mempertahankan agar fasa organik membran tidak melarut ke dalam larutan sampel menyebabkan usia pemakaian ESI akan diperpanjang [13].

2.6 Komponen Penyusun Membran Selektif Ion

2.6.1 Bahan aktif membran di (2-ethyl hexyl) phosphoric acid (D2EHPA)

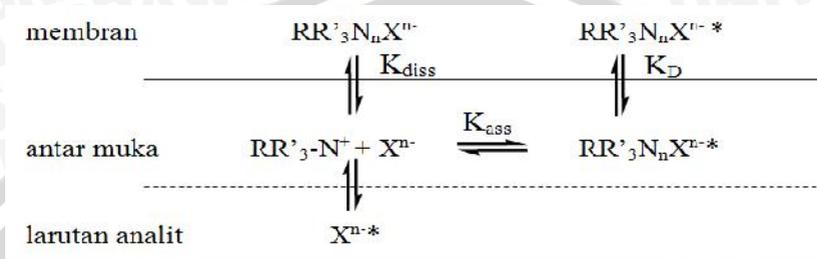
D2EHPA memiliki sifat viskositas sedang, tak berwarna (bening), dan korosif. D2EHPA sering digunakan sebagai agen ekstraksi yang sangat efisien dan juga sebagai pelarut dalam proses pemurnian [21]. D2EHPA tersedia secara komersial, biasanya digunakan untuk ekstraksi logam seperti nikel, kobalt, tembaga, krom dan bismuth [22]. Struktur dari D2EHPA ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur D2EHPA

D2EHPA merupakan asam lemah yang mampu bereaksi dengan ion logam membentuk kompleks tidak bermuatan yang larut dalam pelarut organik [24]. Saat D2EHPA terlarut dalam pelarut organik seperti THF, maka akan membentuk dimernya. Jika terjadi ikatan dengan ion logam maka dimer tersebut akan memutuskan satu ikatan hidrogen dan menghasilkan spesi tak bermuatan yang lebih mampu terdistribusi dalam suatu pelarut organik. Gambar 2.4

menunjukkan reaksi pertukaran ion pada antarmuka membran dengan larutan analit [25].



Gambar 2.4 Mekanisme pertukaran ion pada antar muka membran dengan larutan analit

2.6.2 Bahan pendukung membran polivinilklorida (PVC)

Polivinil klorida adalah salah satu plastik yang sering digunakan saat ini dalam berbagai macam aplikasi. PVC bersifat fleksibilitas dan harga yang rendah [14]. Polivinil klorida merupakan plastic terklorinasi yang biasa digunakan sebagai *stabilizer* dan *plasticizer*. Secara struktural PVC adalah polimer vinil. PVC mirip dengan polietilen namun pada salah satu rantainya, ada atom hidrogen yang digantikan dengan atom klorin. Hal ini dihasilkan oleh polimerisasi radikal bebas vinil klorida [15].

Polivinil klorida berperan sebagai bahan pendukung di dalam pembuatan suatu membran. Hal ini didasarkan pada sifat PVC, diantaranya berpori-pori kecil, kaku, kuat, inert, dan mampu bercampur dengan pelarut. PVC memiliki temperatur gelas (T_g) sekitar 80°C [16]. Derajat kristalinitas dari PVC diperlukan agar membran bersifat permeabel dan fleksibel. PVC berfungsi sebagai matriks polimer homogen yang akan membentuk sebuah fasa membran yang tidak larut dalam air dan tidak mudah menguap. Di dalam pembuatan membran, sebaiknya digunakan komposisi PVC yang lebih sedikit dibandingkan dengan *plasticizer* agar didapatkan membran yang bersifat lentur [17].

2.6.3 Plasticizer dibutilftalat (DBP)

Plasticizer merupakan bahan yang ditambahkan pada polimer agar diperoleh sifat-sifat polimer yang diinginkan.

Plasticizer yang baik untuk pembuatan ESI yaitu dapat melarutkan bahan elektroaktif, tidak mudah menguap, tidak larut dalam larutan yang akan ditentukan, dan mampu mempertahankan selektifitas dari bahan tersebut. *Plasticizer* yang sering digunakan dalam pembuatan ESI adalah DBP dan DOP [16].

DBP (Dibutilftalat) merupakan senyawa ester hidrofobik dengan viskositas 0,203 poise pada suhu 20°C. DBP berbentuk cair seperti minyak dengan titik leleh -69°C dan titik didih 360°C. DBP sering digunakan sebagai *plasticizer* di dalam pembuatan ESI membran, karena memiliki sifat tidak mudah menguap, hidrofob, dan memiliki tetapan diektrik rendah [18]. Penambahan DBP akan mampu menurunkan Tg yang disebabkan oleh pengurangan gesekan antar molekul dan gerakan molekul satu dengan yang lain dengan cara menyisipkan dirinya di antara cincin-cincin polimer. Sehingga membran yang dihasilkan bisa bersifat lentur dan fleksible [19].

2.6.4 Pelarut tetrahidrofuran (THF)

Tetrahidrofuran (THF) merupakan senyawa yang memiliki rumus kimia $(CH_2)_4O$ dengan viskositas rendah (0,48 cP pada suhu 25°C) dan memiliki konstanta dielektrik 7,6. THF memiliki kepolaran yang sedang sehingga mampu melarutkan senyawa polar dan non polar. THF termasuk dalam molekul eter. THF berupa cairan bening dengan titik didih 66°C, berat molekul 72,12 g/mol, dan densitasnya 2,5 g/L [16]. Pembuatan membran elektroda yaitu dengan menguapkan pelarut THF dari campuran PVC dan bahan elektroaktif yang ditambahkan *plasticizer*. THF berperan sebagai pelarut di dalam pembuatan ESI membran [20].

2.7 Karakterisasi Dasar ESI

ESI yang memiliki karakter optimal untuk pengukuran analisis ditunjukkan oleh beberapa parameter, yaitu [13]: (a) sensitifitas yang ditunjukkan oleh sifat *Nernstian* dengan harga faktor Nernst untuk kation divalen sebesar 29,6mV/dekade konsentrasi, (b) rentang konsentrasi pengukurannya luas ($1-10^{-6}M$), (c) limit deteksi rendah (1ppm), (d) waktu respon cepat (1menit), (e) usia pemakaian (life time) 5 bulan, (f) menunjukkan harga potensial yang stabil, (g) pembuatannya dapat diulang dengan baik (reproducible), (h) selektif (hanya merespon satu ion saja) yang

ditunjukkan harga koefisien selektifitas < 1 , (i) stabil dalam rentang pH dan suhu larutan yang luas, (j) menunjukkan akurasi serta ketelitian yang tinggi (kesalahan $< 5\%$).

2.7.1 Faktor Nernst

Sensitivitas pengukuran elektroda terhadap suatu ion tertentu dapat dilihat dari harga bilangan Nernst. Faktor Nernst menunjukkan kualitas suatu ESI yang ditentukan dengan cara membuat kurva hubungan potensial sel (Esel) terhadap $-\log$ konsentrasi ion X sehingga akan terbentuk garis linier yang menunjukkan besarnya kemiringan (slope) dari kurva tersebut. Harga faktor Nernst teoritis adalah $2,303 RT/nF$. Jika nilai $R = 8,314 \text{ J/mol}$, $F = 96.500 \text{ C}$ pada temperatur 298K maka harga faktor Nernst adalah $59,2 \text{ mV/dekade}$ konsentrasi [26]. Untuk ion divalen ($z_i = 2$), bilangan Nernst yang dihasilkan adalah $29,58 \text{ mV/dekade}$. Harga faktor Nernst semakin baik jika nilainya mendekati harga faktor Nernst teoritis. Dengan demikian sensitifitas suatu elektroda semakin baik [27]. Besarnya faktor Nernst ditunjukkan oleh besarnya kemiringan garis dari kurva tersebut seperti pada persamaan 5 [26]:

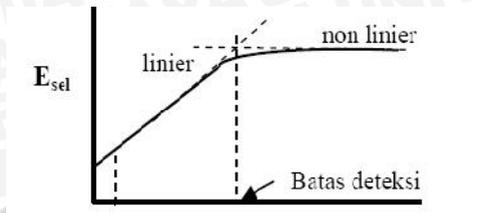
$$E_1 = E^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \log a_1 \quad (2.8)$$

2.7.2 Rentang konsentrasi linier

Kisaran konsentrasi linier dinyatakan sebagai batas konsentrasi dari grafik hubungan potensial sel (Esel) terhadap $-\log$ konsentrasi ion X, berupa garis lurus yang memenuhi persamaan Nernst [26]. ESI yang baik akan memiliki kisaran konsentrasi yang lebar [28]. Daerah linier merupakan daerah yang memberikan nilai bilangan Nernst yang sesuai dengan harga Nernst teoritis, sedangkan daerah non linier merupakan daerah yang tidak memberikan nilai bilangan Nernst teoritis [27].

2.7.3 Limit deteksi

Batas deteksi pengukuran merupakan batas konsentrasi terendah dari respon *Nernstian* ESI yang diperoleh dari perpotongan garis singgung fungsi garis lurus dengan garis melengkung dari kurva hubungan antara E (mV) terhadap $-\log$ konsentrasi ion X.



-Log [X]

Gambar 2.5 Kurva penentuan batas deteksi

Selanjutnya perpotongan kedua garis singgung tersebut diekstrapolasikan pada sumbu x sehingga dapat diketahui konsentrasi batas deteksi dari ESI. Harga batas deteksi menunjukkan sensitivitas metoda [29]. Batas deteksi ESI yang ideal dapat dinyatakan sebagai batas konsentrasi terkecil yang dapat dideteksi secara kuantitatif oleh elektroda tertentu [30]. Kurva penentuan batas deteksi ditunjukkan pada Gambar 2.5.

2.7.4 Waktu respon ESI

Waktu respon elektroda merupakan waktu yang diperlukan elektroda untuk merespon suatu ion, mulai dari awal dicelupkan dalam larutan hingga diperoleh potensial sel yang konstan. Semakin cepat elektroda memberikan respon potensial yang konstan maka semakin baik kualitas elektroda tersebut [27]. Ion pengganggu dan melarutnya bahan aktif ke dalam fasa air akan memperlambat waktu respon. Perubahan dari konsentrasi rendah ke tinggi, prakondisi awal dalam larutan ion yang disensor serta pengadukan akan mempercepat waktu respon [31].

Beberapa faktor yang mempengaruhi waktu respon adalah [26]:

- (1) tipe membran, perbedaan tipe membran akan memberikan kecepatan yang berbeda dalam merespon potensial yang terukur, yaitu : membran padat membran PVC membran cair.
- (2) mobilitas ion, semakin cepat pergerakan ion pada permukaan elektroda maka akan semakin cepat waktu respon yang diberikan.

2.7.5 Usia pemakaian

Usia pemakaian menunjukkan berapa lama suatu ESI dapat digunakan untuk mengukur aktifitas ion. Hal tersebut ditunjukkan dengan seberapa jauh harga faktor Nernst pada waktu tertentu didasarkan pada faktor Nernst teoritis yaitu 29,56 mV/dekade konsentrasi untuk ion divalen. Usia pemakaian ditentukan dengan mengukur harga faktor Nernst setiap selang waktu tertentu. Jika harga faktor Nernst menyimpang jauh dari harga faktor Nernst teoritis, maka ESI tidak layak lagi untuk digunakan. Usia pemakaian ESI tergantung pada sifat mekanik membran, dimana sifat mekanik membran dipengaruhi oleh kelenturan membran, daya tahan membran terhadap senyawa organik, zat oksidator dan pH larutan yang diukur [18].



BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Brawijaya Malang pada bulan Mei-Juni 2013.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pH dan potensiometer merek schott gerate CG-820, elektroda pembanding Ag/AgCl, pengaduk magnet, batang magnet (stirer), statif, neraca analitik merek adventurer model AR 2130, botol semprot, botol sampel, bola hisap, oven serta seperangkat peralatan gelas dan plastik yang lazim digunakan di laboratorium kimia.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CdCl₂ (fluka), D2EHPA, polimer polivinilklorida (PVC) (sigma), pemlastis dibutilftalat (DBP) (sigma), pelarut tetrahidrofuran (THF) (e-merck), CH₃COONa, larutan CH₃COOH 100 % (v/v), HNO₃ 36 % (v/v), etanol 96 % (v/v), kabel koaksial RG-58, kawat platina (Pt) dengan panjang 5 cm dan diameter 0,5 mm, plastik polietilen (PE) dan akuades.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan prinsip potensiometri dengan cara mengukur potensial larutan CdCl₂ dengan menggunakan elektroda pembanding Ag/AgCl. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Preparasi larutan
 - a. Pembuatan larutan bufer asetat pH 5
 - b. Pembuatan larutan induk CdCl₂ 1 M
 - c. Pembuatan larutan CdCl₂ dengan konsentrasi yang bervariasi yaitu 1×10^{-1} - 1×10^{-8} M pH 5.
2. Pembuatan ESI kadmium tipe kawat terlapis
 - a. Pembuatan membran ESI kadmium

- b. Pembuatan elektroda selektif ion kadmium tipe kawat terlapis
3. Karakterisasi sifat dasar ESI kadmium tipe kawat terlapis berbasis D2EHPA, meliputi:
 - a. Faktor Nernst dan rentang konsentrasi linier
 - b. Limit deteksi
 - c. Waktu respon
 - d. Usia pemakaian.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi larutan

3.4.1.1 Pembuatan larutan bufer asetat pH 5

Buf er asetat dibuat dengan menambahkan larutan natrium asetat 0,2 M sebanyak 35,2 ml ke dalam larutan asam asetat 0,2 M sebanyak 14,8 ml dalam gelas kimia dan dikondisikan pada pH 5 menggunakan pH meter. Dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas.

3.4.1.2 Pembuatan larutan induk kadmium klorida (CdCl_2)

1 M

Larutan induk yang digunakan adalah larutan kadmium klorida 1M yang dibuat dari padatan CdCl_2 (BM= 183,3 g/mol) sebanyak 18,33 g dan dilarutkan ke dalam gelas kimia. Dikondisikan pada pH 5 dengan penambahan bufer asetat kemudian larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas.

3.4.1.3 Pembuatan larutan CdCl_2 dengan konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-8} M pH 5

Larutan CdCl_2 1×10^{-1} M dibuat dari larutan induk CdCl_2 1 M dengan cara memipet sebanyak 5 mL larutan induk ke dalam labu ukur 50 mL dan dikondisikan pada pH 5 dengan penambahan bufer asetat kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas. Selanjutnya, untuk pembuatan larutan CdCl_2 1×10^{-2} M dibuat dari larutan uji CdCl_2 1×10^{-1} M dengan cara memipet sebanyak 5 mL ke dalam labu ukur 50 mL dan dikondisikan pada pH 5 dengan penambahan bufer asetat kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas. Dikarenakan pembuatan larutan uji dilakukan dengan

cara pengenceran bertingkat, maka untuk pembuatan larutan uji CdCl_2 1×10^{-3} , 1×10^{-4} , 1×10^{-5} , 1×10^{-6} , 1×10^{-7} , dan 1×10^{-8} dilakukan hal yang sama dengan menggunakan larutan uji CdCl_2 yang memiliki konsentrasi 1×10^{-1} M lebih besar dari larutan uji yang akan dibuat.

3.4.2 Pembuatan ESI kadmium tipe kawat terlapis

3.4.2.1 Pembuatan membran

Membran dibuat dengan mencampurkan bahan aktif D2EHPA, bahan pendukung PVC, dan *plasticizer* DBP dengan perbandingan % berat tertentu. Beberapa komposisi membran yang dibuat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi membran yang dibuat

Komposisi	Bahan aktif (D2EHPA)	Bahan Pendukung (PVC)	Plasticizer (DBP)	Pelarut Membran (THF)
1.	7	31	62	3 mL
2.	10	30	60	3 mL
3.	13	29	58	3 mL
4.	16	28	56	3 mL

Komposisi optimum membran ditentukan berdasarkan harga parameter kelarutan, dimana komposisi membran yang optimum akan menghasilkan $(d_e - d_m)$ yang mendekati nol atau nol, yaitu :

$$d_m = W_{\text{pvc}} \cdot d_{\text{pvc}} + W_{\text{pemlastis}} \cdot d_{\text{pemlastis}} \quad (3.1)$$

keterangan:

W = % berat

d_e = Parameter kelarutan bahan aktif (kelarutan D2EHPA = $8,76 (\text{kal.cm}^{-3})^{1/2}$)

d_m = Parameter kelarutan bahan pendukung membran $(\text{kal.cm}^{-3})^{1/2}$

d_{pvc} = Parameter kelarutan bahan PVC $(\text{kal.cm}^{-3})^{1/2} = 9,41 (\text{kal.cm}^{-3})^{1/2}$

Campuran membran dengan komposisi tertentu kemudian akan dilarutkan ke dalam pelarut THF dengan perbandingan berta total campuran: volume THF adalah 1:3 dan diaduk dengan pengaduk

magnet (stirer) selama 3 jam sampai didapatkan campuran dari membran yang homogen.

3.4.2.2 Pembuatan ESI kadmium tipe kawat terlapis

Kawat platina dibersihkan dengan ampas, kemudian dicuci dengan menggunakan (HNO_3) 1:1, akuades, dan etanol 96% yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran dan lemak yang ada pada kawat platina. Selanjutnya, kawat platina dikeringkan dalam oven dengan temperatur ± 50 °C selama 30 menit. Kemudian, kawat platina dilapisi dengan campuran membran yang telah dibuat pada 3.4.2.1 dengan cara mencelupkan ujung kawat platina $\pm 1,5$ cm ke dalam campuran membran sampai membran menempel pada kawat dengan sempurna.

Setelah membran menempel pada kawat, lalu dilakukan pengeringan pada suhu ruang selama 30 menit yang dilanjutkan dengan pemanasan dalam oven pada temperatur ± 50 °C selama 12 jam.

3.4.3 Karakterisasi sifat dasar ESI kadmium tipe kawat terlapis

3.4.3.1 Faktor Nernst dan kisaran konsentrasi pengukuran

Faktor Nernst ditentukan dengan menyiapkan sederet variasi konsentrasi larutan CdCl_2 10^{-1} - 10^{-8} M yang diperoleh dengan pengenceran larutan baku induk CdCl_2 1M dan dikondisikan pada pH 5 menggunakan bufer asetat, kemudian dilakukan pengukuran potensial dengan ESI kadmium sebagai elektroda indikator dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding. Pembacaan potensial dilakukan saat alat menunjukkan potensial yang konstan. Data hasil pengukuran yang diperoleh dibuat grafik hubungan antara $E(\text{mV})$ terhadap $\log[\text{CdCl}_2]$. Kurva yang diperoleh merupakan garis lurus pada kisaran konsentrasi tertentu dengan kemiringan $-2,303$ $\text{RT}/n\text{F}$ yang merupakan faktor Nernst. Sedangkan, kisaran konsentrasi linier ditunjukkan oleh garis lurus pada kurva hubungan $E(\text{mV})$ terhadap $\log[\text{CdCl}_2]$.

3.4.3.2 Limit deteksi

Limit deteksi dari ESI kadmium diperoleh dari perpotongan garis singgung pada fungsi garis lurus dan garis melengkung dari

kurva hubungan antara E (mV) terhadap $\log[\text{CdCl}_2]$. Perpotongan kedua garis singgung tersebut diekstrapolarisasikan terhadap sumbu x sehingga dapat diketahui konsentrasi batas deteksi dari ESI kadmium yang telah dibuat. Limit deteksi ditentukan dari hasil pengukuran sebelumnya.

3.4.3.3 Waktu respon

Penentuan waktu respon bertujuan untuk mengetahui waktu yang diperlukan oleh ESI kadmium untuk mengukur aktivitas atau konsentrasi analit sehingga diperoleh harga potensial yang konstan. Untuk penentuan waktu respon dilakukan dengan pengukuran potensial larutan $[\text{CdCl}_2]$ dengan variasi konsentrasi 10^{-1} - 10^{-8} M yang dikondisikan pada pH 5, dimana setiap konsentrasi diukur potensialnya pada selang waktu 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180 detik, kemudian dibuat kurva hubungan antara waktu (sumbu x) dan potensial (sumbu y), waktu respon ditunjukkan oleh harga potensial yang didapatkan pertama kali konstan. Semakin cepat waktu yang diperlukan untuk merespon analit maka kualitas ESI yang dihasilkan semakin baik.

3.4.3.4 Usia pemakaian (*life time*)

Penentuan usia pemakaian dilakukan untuk mengetahui berapa lama kemampuan ESI yang dihasilkan dalam mengukur aktivitas ion kadmium. Hal ini ditunjukkan dengan seberapa jauh penurunan kemampuan ESI yang meliputi faktor Nernst dan koefisien regresi terhadap waktu. Untuk penentuan usia pakai dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan CdCl_2 10^{-1} - 10^{-8} M yang dikondisikan pada pH 5 diukur pada selang waktu tertentu yaitu dengan cara dilakukan pengukuran setiap hari untuk 7 hari pertama dan setiap 3 hari untuk hari-hari berikutnya. Semakin jauh penyimpangan faktor Nernst dari harga faktor Nernst teoritis ($59,2 \pm 5$ mV/dekade konsentrasi) maka ESI tersebut tidak dapat digunakan lagi.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Perhitungan nilai rata-rata nilai potensial

Perhitungan rata-rata nilai potensial hasil pengukuran dapat dilakukan dengan persamaan 3.2.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.2)$$

Keterangan:

\bar{x} = rata-rata nilai potensial

$\sum_{i=1}^n$ = jumlah sampel

i = pengulangan ke-

x_i = nilai potensial ke- i

n = jumlah pengulangan

3.5.2 Perhitungan CV (*coefficient of variation*) atau %SD (standar deviasi)

Kecermatan (presisi) digunakan untuk menunjukkan seberapa jauh nilai hasil pengujian suatu ulangan dengan ulangan lainnya. Ketelitian hasil pengukuran dapat ditentukan dengan menghitung SD (standar deviasi) dan CV (*Coefficient of variation*) atau %SD dari perlakuan percobaan yang ditunjukkan oleh persamaan 3.3 dan 3.4.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan :

SD = standart deviasi

n = jumlah pengulangan

x_i = harga faktor Nernst ke- i

\bar{x} = rata-rata harga faktor Nernst

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konstruksi Elektroda Selektif Ion Kadmium Tipe Kawat Terlapis

Elektroda selektif ion kadmium tipe kawat terlapis dibuat dengan cara menghubungkan kabel koaksial RG-08 dengan kawat platina pada salah satu ujung kabel, sedangkan pada ujung lainnya kabel koaksial RG-08 dengan jek banana yang akan digunakan untuk menghubungkan ESI pada potensiometer Schoot Gerrate. Selanjutnya, kawat platina tersebut dicelupkan pada membran yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya[36] dengan ketebalan $\pm 1,5\text{mm}$ sampai tertutup sempurna. Gambar 4.1 merupakan gambar konstruksi elektroda selektif ion kadmium.



Gambar 4.1 Konstruksi ESI kadmium tipe kawat terlapis

Keterangan Gambar 4.1 ESI kadmium terdiri dari:

- (1) kawat Pt bermembran
- (2) plastik polietilen
- (3) kabel koaksial RG-08
- (4) jek banana

Untuk mendapatkan suatu ESI yang bersifat *Nernstian*, maka perlu dibuat suatu membran yang mempunyai komposisi optimum dengan perbandingan persentase berat D2EHPA : PVC : DBP yaitu 16 : 28 : 56 dengan total berat 1 gram. Komposisi membran tersebut selanjutnya dilarutkan pada THF dengan perbandingan 1:3. Sedangkan waktu perendaman optimum yang didapatkan dari penelitian sebelumnya adalah 20 menit [36]. Perbandingan komposisi optimum tersebut hanya untuk memudahkan dalam dalam pencapaian berat total 1 gram.

Suatu elektroda selektif ion perlu dilakukan karakterisasi Nernst, untuk mengetahui apakah ESI tersebut layak untuk digunakan di dalam menganalisis suatu sampel yang mengandung ion kadmium. Karakteristik tersebut meliputi faktor Nernst, rentang konsentrasi linier, batas deteksi, waktu respon, dan usia pakai.

Suatu ESI yang bersifat *Nernstian* akan memiliki sifat sebagai berikut [13] : (a) harga faktor Nernst untuk kation divalen sebesar 29,6mV/dekade konsentrasi, (b) rentang konsentrasi pengukurannya luas (1×10^{-6} - 1×10^{-1} M), (c) limit deteksi rendah (1ppm), (d) waktu respon cepat (≤ 60 detik), (e) usia pemakaian (life time) 5 bulan, (f) pembuatannya dapat diulang dengan baik (reproducible), (g) menunjukkan akurasi dan ketelitian tinggi (memberikan kesalahan kurang dari 5%).

4.2 Faktor Nernst, Rentang Konsentrasi Linier dan Batas Deteksi

Faktor Nernst menunjukkan kepekaan suatu elektroda di dalam menganalisis adanya ion tertentu pada suatu rentang konsentrasi. Penentuan harga faktor Nernst dapat dilakukan dengan cara membuat kurva hubungan antara $\log [CdCl_2]$ terhadap potensial yang terukur. Nilai faktor Nernst untuk kation divalent secara teoritis sebesar 29,6mV/dekade konsentrasi. Di dalam suatu persamaan garis faktor Nernst ditunjukkan pada slope yang didapatkan dari suatu grafik. Tabel harga potensial untuk penentuan faktor Nernst ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Bilangan Nernst dapat dijadikan salah satu parameter sensitifitas suatu elektroda selektif ion (ESI). Sensitifitas suatu elektroda selektif ion dipengaruhi oleh waktu perendaman, jumlah air yang terjebak didalam membran dan komposisi membran yang

digunakan harus bersifat hidrofobisitas dan homogenitas agar elektroda selektif ion tersebut dapat bersifat *Nernstian*. Sifat hidrofobisitas bahan aktif dalam membran dapat menyebabkan bahan aktif tersebut terdistribusi dalam membran (fasa non polar) dan dalam fasa air (polar). Sehingga respon sensor berkaitan dengan perbedaan potensial kimia analit dalam fasa membran dan air, yang secara langsung berkaitan dengan aktivitas bahan aktif dalam fasa cair.

Tabel 4.1 Harga potensial untuk penentuan faktor Nernst

[Cd ²⁺] M	Log [Cd ²⁺]	potensial (mV)			
		1	2	3	rata-rata
10 ⁻¹	-1	279	276	271	275
10 ⁻²	-2	246	245	251	247
10 ⁻³	-3	219	221	216	219
10 ⁻⁴	-4	196	191	188	192
10 ⁻⁵	-5	167	164	163	165
10 ⁻⁶	-6	171	176	178	175
10 ⁻⁷	-7	186	187	189	187
10 ⁻⁸	-8	209	208	212	210
Faktor Nernst		27,4	27,8	27,9	27,70
Potensial Standar		303,6	302,8	301,5	302,63
R ²		0,9966	0,9989	0,9945	0,9998

Besarnya tetapan dielektrik juga sangat mempengaruhi sifat nernstian dari ESI. Tetapan dielektrik dapat ditentukan dari waktu

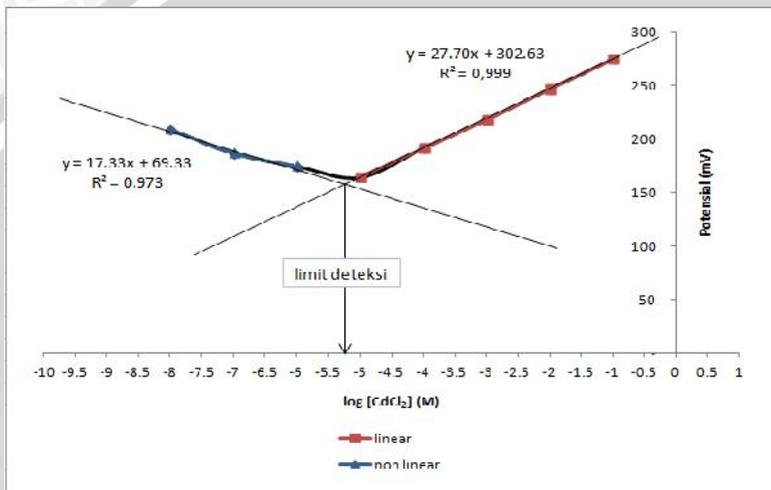
perendaman optimum karena molekul air akan dapat menempati ruang dalam membran yang menyebabkan tetapan dielektrik menjadi besar. Penggunaan *plasticizer* dapat membentuk ikatan dengan bahan aktif. Lalu, *plasticizer* bersama bahan aktif akan mengisi ruang-ruang kosong di antara rantai-rantai polimer. Adanya *plasticizer* tersebut dapat menyebabkan pergerakan rantai-rantai polimer semakin mudah. Maka, membran yang dihasilkan menjadi semakin lentur dan fleksibel. Dengan adanya *plasticizer* juga dapat memudahkan pergerakan ion-ion yang ada di dalam membran sehingga mampu meningkatkan konduktifitas membran

Hidrofobisitas *plasticizer* dapat menyebabkan sebagian bahan aktif terpartisi ke dalam fasa air dan mengadakan asosiasi ion dengan analit sehingga sangat mempengaruhi karakter dari suatu membran. Membran yang kurang hidrofob akan dapat menyebabkan lepasnya bahan aktif ke dalam larutan analit sehingga proses mobilitas ion antar muka membran terhambat yang diakibatkan oleh kapasitas tukar anion yang menurun. Selain itu, membran yang kurang hidrofob juga dapat menyebabkan masuknya ion-ion pengganggu ke dalam membran. Sehingga, ion-ion pengganggu tersebut ikut mengalami reaksi pertukaran ion di fasa antar muka membran.

Pada Gambar 4.2, penentuan bilangan Nernst dilakukan pada variasi konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-8} M. Sedangkan membran yang digunakan memiliki komposisi optimum D2EHPA:PV:DBP adalah 16:28:56. Berdasarkan Gambar 4.2, persamaan linier yang didapatkan adalah $y = -27,7x + 302,63$ dengan harga koefisien regresi (R^2) = 0,9998 yang menunjukkan bahwa ESI kadmium yang dibuat bersifat *Nernstian* karena memenuhi nilai teoritisnya yaitu $29,6 \pm 5$ mV/dekade konsentrasi. Harga koefisien regresi menunjukkan adanya korelasi yang linier antara potensial sel yang dihasilkan dengan konsentrasi kation kadmium yang mengikuti hukum Nernst, sehingga ESI yang dibuat ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi kadmium secara akurat. Sedangkan daerah non linier pada grafik tersebut memiliki persamaan $y = 17,33x + 69,33$ dengan harga koefisien regresi (R^2) = 0,973. Dari perpotongan antara garis linier dengan garis non linier dapat digunakan sebagai penentuan batas deteksi untuk ESI kadmium tipe kawat berlapis dapat mendeteksi kadar kadmium. Pada penelitian ini didapatkan batas deteksi

mencapai $6,592 \times 10^{-6} \text{M}$ atau 0,316ppm. Dengan demikian, maka dapat diketahui bahwa ESI yang dibuat mampu mengukur kadar kadmium dalam suatu sampel hingga mencapai batas terendah hingga $6,592 \times 10^{-6} \text{M}$.

Kurva hubungan antara $\log [\text{Cd}^{2+}]$ terhadap potensial yang terukur ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kurva hubungan E_{sel} dan $\log [\text{Cd}^{2+}]$ ESI kadmium

Rentang konsentrasi linier merupakan daerah yang menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi suatu ion terhadap potensial elektroda. Rentang konsentrasi linier pada penelitian ini adalah 1×10^{-5} - $1 \times 10^{-1} \text{M}$ atau 1,46-14600ppm. Rentang konsentrasi linier ditentukan oleh kapasitas tukar ion pada konsentrasi 1×10^{-5} - $1 \times 10^{-1} \text{M}$ masih memberikan kapasitas tukar ion yang optimum. Penurunan harga potensial sel yang terjadi pada konsentrasi 1×10^{-8} - $1 \times 10^{-6} \text{M}$ disebabkan oleh kapasitas tukar ion antar membran dengan larutan analit yang kurang sempurna akibat konsentrasi analit yang terlalu rendah. Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa ESI yang dibuat bersifat *Nernstian*.

Tabel 4.2 Bilangan Nernst, kisaran konsentrasi dan batas deteksi ESI kadmium

Faktor Nernst	27,7±0,26 mV/dekade konsentrasi
Potensial Standar (E°)	302,63 Mv
Koefisien Regresi (R ²)	0,9998
Kisaran Konsentrasi	1x10 ⁻¹ -1x10 ⁻⁵ M atau 1,46-14600 ppm
Batas Deteksi	6,592x10 ⁻⁶ M atau 0,316 ppm
Standar Deviasi (SD)	0,264
Koefisien Variasi (CV)	0,953%

Potensial standar (E°) ESI tipe kawat terlapis mempunyai harga yang berubah-ubah terutama dalam dalam satu minggu pertama terhitung setelah ESI dibuat, sehingga untuk mengetahui kestabilan nilai (E°) , maka dilakukan pengukuran potensial standar selama 7 hari pertama setelah pembuatan. Hasil pengukuran dapat terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Faktor Nernst, E°, koefisien regresi (R²) pada ESI kadmium tipe kawat terlapis dalam 7 hari pertama pengukuran

	E(mV) ESI Kadmium Tipe Kawat Terlapis pada Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Slope	27,93	28,90	29,30	28,86	27,70	27,60	27,53
E°	369,4	291,7	363,1	303,1	260,4	299	399
R ²	0,999 9	0,999 9	0,999 4	0,999 7	0,999 8	0,999 9	0,999 8

Pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa persamaan Nernst yang didapatkan pada pengukuran selama 7 hari pertama masih memenuhi nilai faktor Nernst secara teoritis yaitu 29,6±5mV/dekade

konsentrasi, meskipun nilainya berubah-ubah. Hal tersebut mungkin disebabkan homogenitas dari membran yang menurun akibat adanya air yang terjebak pada membran saat melakukan kontak dengan larutan uji. Masuknya kadar air ke dalam membran diakibatkan oleh adanya gradient osmosis sehingga timbul potensial asimetri yang tidak terkontrol yang menyebabkan harga E berbeda-beda. Maka, transport ion dalam membran terhambat oleh adanya lingkup air dalam membran. Jumlah air yang masuk ke dalam membran tidak tetap selama 7 hari mengakibatkan harga potensial yang berubah-ubah. Sedangkan pada waktu 7 hari jumlah air yang masuk sudah tetap sehingga potensial yang dihasilkan juga lebih stabil. Jumlah air yang masuk ke dalam membran ditentukan oleh sifat hidrofobisitas dari membran.

Dari Tabel 4.3 dapat ditentukan harga slope dan E^0 berdasarkan fungsi waktu sesuai persamaan 4.1 dan 4.2.

$$\Delta E^{\circ} = (369,4 + 21,51) \text{ mV/hari} \quad (4.1)$$

dan

$$\Delta S^{\circ} = (27,93 - 0,29) \text{ mV/hari} \quad (4.2)$$

4.3 Waktu Respon

Waktu respon merupakan waktu yang dibutuhkan suatu ESI untuk mencapai kesetimbangan pada setiap pengukuran larutan hingga didapatkan harga potensial sel yang konstan. Kesetimbangan ini terjadi pada permukaan membran dengan larutan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dalam hal tersebut terjadi pertukaran ion $[Cd^{2+}]$ dalam larutan analit dengan ion $[Cd^{2+}]$ yang berada pada antarmuka membran D2EHPA sampai jumlah ion $[Cd^{2+}]$ pada antarmuka membran sama dengan ion $[Cd^{2+}]$ pada larutan analit. Pada saat terjadi pertukaran ion, maka akan didapatkan harga potensial yang konstan.

Kecepatan waktu respon berhubungan dengan kinetika reaksi pertukaran ion. Dimana konsentrasi berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Jadi, semakin besar konsentrasi dari suatu larutan analit, maka semakin cepat reaksi kesetimbangan yang terbentuk. Konsentrasi yang besar akan memiliki kapasitas tukar ion yang besar pula. Pertukaran ion yang terjadi akan memberikan potensial yang stabil saat reaksi kesetimbangan sudah tercapai. Semakin cepat

Pada konsentrasi larutan yang tinggi, maka waktu respon yang dihasilkan akan semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh adanya ion $[Cd^{2+}]$ pada konsentrasi larutan yang tinggi akan semakin banyak. Maka proses tumbukan antar partikel ion juga akan semakin cepat, sehingga mobilitas ion-ion dalam larutan analit juga meningkat dibandingkan pada larutan yang memiliki konsentrasi rendah.

Sedangkan pada konsentrasi larutan yang rendah, waktu respon yang dihasilkan akan semakin lama. Hal ini disebabkan oleh adanya ion $[Cd^{2+}]$ yang semakin sedikit. Maka proses tumbukan antar partikel ion juga akan berjauhan sehingga proses difusi ion $[Cd^{2+}]$ dalam larutan analit untuk menembus batas antarmuka membran lebih lama. Dengan demikian waktu yang dibutuhkan ESI untuk mencapai kesetimbangan juga akan semakin lama.

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa rentang konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-5} M memberikan waktu respon 40 detik. Hal ini menunjukkan bahwa ESI yang dibuat cukup baik karena kecepatan pembentukan asosiasi ion setelah reaksi pertukaran ion berlangsung cepat. Dimana secara teoritis waktu respon yang ideal untuk sebuah membran adalah kurang dari 60 detik.

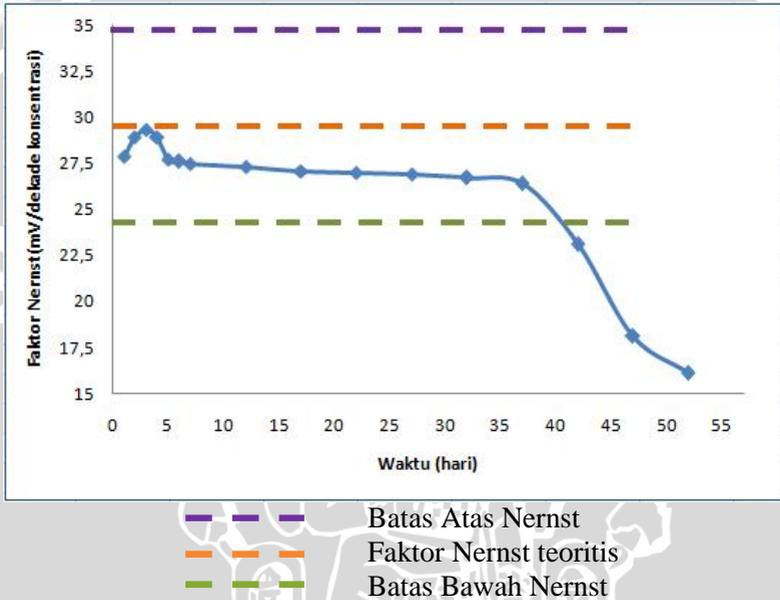
Tabel 4.4 Waktu respon ESI Kadmium tipe kawat terlapis

$[Cd^{2+}]$ (M)	$-\text{Log } [Cd^{2+}]$	Waktu respon (detik)
1×10^{-1}	1	20
1×10^{-2}	2	30
1×10^{-3}	3	30
1×10^{-4}	4	30
1×10^{-5}	5	40

4.4 Usia Pakai

Usia pemakaian merupakan berapa lama suatu ESI dapat melakukan pengukuran dengan memberikan ketelitian yang sesuai dengan rentang harga Nernst secara teoritis untuk ion divalen sebesar $29,6 \pm 5$ mV/dekade konsentrasi. Usia pemakaian ini ditentukan dengan cara mengukur faktor Nernst selama 52 hari dengan selang waktu 5 hari sekali.

Kualitas kinerja suatu ESI dapat dilihat dari harga faktor Nernst yang didapatkan selama pengukuran. Semakin jauh harga faktor Nernst dari harga teoritis maka ESI semakin tidak layak untuk dipakai. Berdasarkan pengukuran potensial ESI kadmium tipe kawat terlapis diperoleh kurva hubungan antara faktor Nernst terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva hubungan Faktor Nernst terhadap waktu (hari)

Dilihat dari Gambar 4.5, dapat diketahui bahwa usia pakai dari ESI kadmium adalah 37 hari. Hal tersebut dapat ditentukan dari harga faktor Nernst yang dihasilkan pada pengukuran selama 37 hari masih memenuhi harga faktor Nernst secara teoritis yaitu $29,6 \pm 5$ mV/dekade konsentrasi, sedangkan pada hari ke 42, 47 dan 52 harga faktor Nernst yang dihasilkan tidak memenuhi nilai Nernst yang diijinkan. Tetapi, jika dilihat dari harga koefisien regresi (R^2) yang dihasilkan dari pengukuran maka dapat diketahui bahwa usia pakai dari ESI kadmium mencapai 42 hari. Hal ini ditunjukkan oleh koefisien regresi (R^2) pada pengukuran di hari ke 42 adalah 0,9947 atau mendekati 1 artinya masih terdapat korelasi antara potensial

yang dihasilkan dengan konsentrasi ion kadmium. Jadi pada hari ke 42, ESI kadmium masih dapat digunakan untuk mendeteksi adanya ion kadmium di dalam suatu larutan. Sedangkan pada hari ke 47, harga faktor Nernst sudah terlampaui jauh dari harga faktor Nernst secara teoritis yaitu 18,1 mV/dekade konsentrasi meskipun pada pengukuran hari ke 47 memiliki koefisien regresi (R^2) sebesar 0,9676. Pada hari ke 52 memiliki harga faktor Nernst sebesar 16,1 mV/dekade konsentrasi yang berarti faktor Nernst tersebut sudah melampaui harga faktor Nernst secara teoritis dan koefisien regresinya juga jelek yaitu $R^2 = 0,8507$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa usia pakai dari ESI kadmium tipe kawat berlapis bermembran D2EHPA memiliki usia pakai selama 42 hari. Sedangkan pada hari ke 47 dan 52, ESI kadmium yang dibuat sudah memiliki kesensitifitasan yang rendah di dalam mendeteksi ion kadmium. Harga faktor Nernst dan koefisien regresi selama 52 hari pengukuran dapat dilihat pada L.C.4.

Penurunan nilai faktor Nernst dengan penambahan waktu disebabkan oleh semakin lama membran kontak dengan air, maka akan semakin banyak air yang terjebak ke dalam membran yang dapat menyebabkan proses transport ion terganggu. Hal ini disebabkan oleh air di dalam larutan analit yang masuk ke dalam membran setelah pemakaian yang berulang kali dan terjadinya kontak membran dengan larutan analit yang semakin lama. Semakin banyak air yang terperangkap dalam membran maka permeabilitas membran meningkat. Dengan meningkatnya permeabilitas membran, memungkinkan ion-ion pengganggu yang berada dalam larutan analit dapat ikut masuk ke dalam membran jadi selektivitas membran terhadap ion target (kadmium) menurun. Sehingga sifat homogenitas dan hidrofobitas dari membran akan semakin berkurang. Keberadaan *plasticizer* juga menyebabkan homogenitas dari membran menurun. Hal ini disebabkan oleh keberadaan *plasticizer* yang semakin berkurang selama pemakaian akibat terjadinya migrasi *plasticizer*. Selain itu penyimpanan elektroda selektif ion yang tidak tepat akan menyebabkan terdegradasinya komposisi membran.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa ESI kadmium tipe kawat terlapis yang memiliki komposisi membran D2EHPA : polivinil klorida (PVC) : DOP dengan perbandingan berat 16: 28: 56 dalam pelarut tetrahidrofur (THF) memiliki faktor Nernst 27,7 mV/dekade konsentrasi dan koefisien regresinya (R^2) sebesar 0,9998. Kisaran konsentrasi ESI kadmium adalah 1×10^{-5} - 1×10^{-1} M atau 1,46 – 14600 ppm. Batas deteksi ESI kadmium sebesar $6,607 \times 10^{-6}$ M atau 0,317 ppm. Sedangkan waktu respon dari ESI kadmium adalah 40 detik dan usia pemakaiannya mencapai 42 hari.

5.2 Saran

Uji karakteristik dasar ESI kadmium perlu dilanjutkan dengan melakukan penelitian tentang pengaruh pH, temperatur, dan uji selektifitas terhadap kinerja ESI kadmium tipe kawat terlapis bermembran D2EHPA, agar dapat digunakan untuk penentuan kadar kadmium di dalam suatu sampel alami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prawita, A., Dewi, M., Asri D., 2008, **Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) dalam air Kali Wonokromo**, Majalah Farmasi Airlangga, Vol.6 No.1.
- [2] Athena, Musadad A., dan Sukar, 2008, **Risiko Kesehatan Masyarakat Akibat Konsumsi Air Bersih dan Hasil Laut yang Mengandung Kadmium (CD) di Kepulauan Seribu**, Jurnal Ekologi Kesehatan Vol.7 No 1: 678-688.
- [3] Lubis, H. dan Chalikuddin, A., 2008, **Pemeriksaan Kandungan Logam Merkuri, Timbal, dan Kadmium dalam Daging Rajungan Segar yang Berasal dari TPI Gabion Belawan secara Spektrofotometri Serapan Atom**, Majalah Kedokteran Nusantara Vol. 41 No. 1.
- [4] Baum, G., and Lynn, M., 1972, **Polymer Membran Electrodes**, Anal.Chim.Acta, 65, 393-403.
- [5] Karim, A., Damma S., dan Nurwahyuni O., 2009, **Pengaruh Asam Amino Glisin dan Histidin Terhadap Nilai Koefisien Selektivitas EKT Polipirol-Glutamat Sebagai Sensor Potensiometrik**, Indonesia Chimica Acta, Vol. 2. No.2.
- [6] Harsini, M. dan Hamami, 2009, **Pembuatan Elektroda Selektif Ion La³⁺ Tipe Kawat Terlapis dengan Ionofor Senyawa Karboksimetoksi Tertierbutil Kaliks[n]Arena**, J. Penelit. Med. Eksakta. Vol. 8, No. 2 : 116-124.
- [7] Basualto, C., 2006, **Extraction of Kadmium from Aqueous Solutions by Emulsion Liquid Membran Using Stirred Transfer Cell Contractor**, <http://www.scielo.br.com>, diakses tanggal 12 Februari 2013.
- [8] Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono, 2007, **Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya**, Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian Vol. 3.

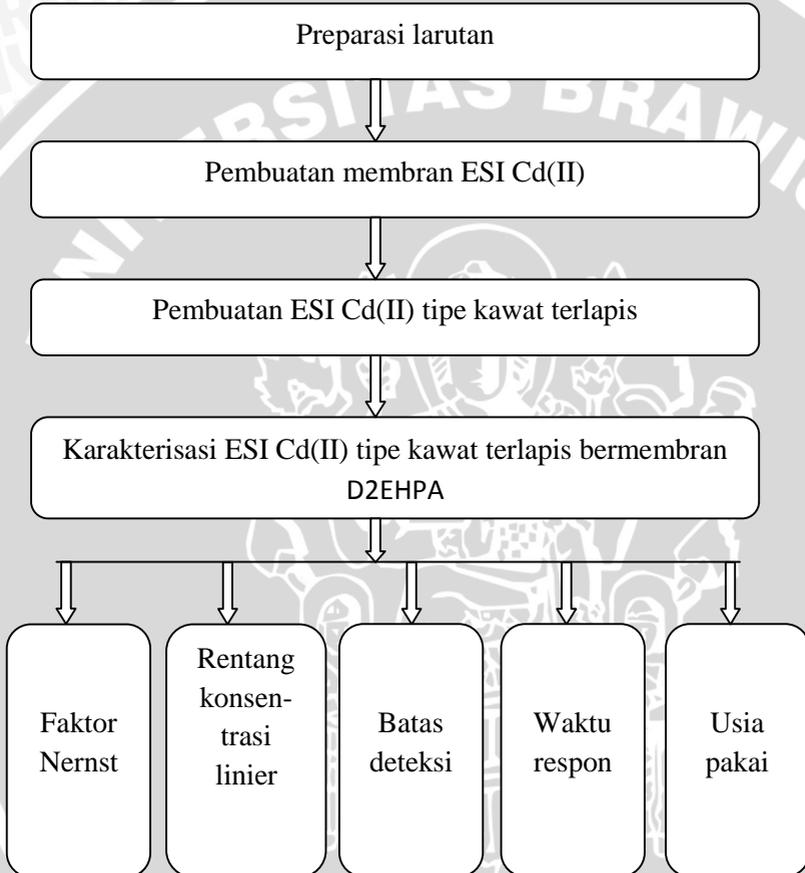
- [9] Anonim, 2011, **Tinjauan Pustaka Cemaran Logam**, <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/53073/BAB%20II%20Tinjauan%20Pustaka.pdf?sequence=3>, diakses pada tanggal 19 Januari 2013.
- [10] Amelia H., **Pembuatan Dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Iodida Menggunakan Campuran AgI, Grafit, Dan Parafin Cair**, 2007, [http://eprints.undip.ac.id/6784/1/AbstrakAmelia H.pdf](http://eprints.undip.ac.id/6784/1/AbstrakAmelia%20H.pdf), diakses pada tanggal 20 Januari 2013.
- [11] Hasan, R., 2009, **Ion Selektif Elektrode**, <http://www.scribd.com/doc/15894771/Dasar-teori-ISE>, diakses pada tanggal 20 Januari 2013.
- [12] Wahab, A.W., Buchari, Ambo, U., M.Noor, J., 2011, **Pengaruh Komposisi Membran Berpendukung PVC Terhadap Kinerja Elektroda Selektif Ion (Esi)-Hg(II) Menggunakan Ionofor DBA218C6**, <http://www.scribd.com/doc/73628781/> Jurnal-Ilmiah-Ion, diakses pada tanggal 20 Januari 2013.
- [13] Atikah dan C. Bisi, 2008, **Pengembangan Sensor Kimia Potensiometri Bermembran Polimer Aliquar 336-PbCl4-Pvc Untuk Monitoring Ion Pb (II) Dalam Air Limbah**, Jurnal kimia lingkungan, Vol.10, No. 1.
- [14] Stark, T.D., H.Choi, P.W. Diebel, 2012, **Plasticizer Retention In Pvc Geomembrans**, Journal GSP 142 Waste Containment and Remediation
- [15] L., Wendy and Thompson, B.S.N., 2011, **Polyvinyl Chloride "PVC"**, Health Care Without Harm, American College of Nurse Midwives. Green Birthdays.
- [16] Sax, N. I., dan R. J. Lewis, 1987, **Hawley's Condensed Chemical Dictionary**, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [17] Faridbod, G. Ganjali, M.R. Dinarvand, and P. Narouzi, 2008, **Development In The Field Of Conducting And Non Conducting Polymer Based Potentiometric Membran Sensor For Ion Over The Past Dekade**, Journal of Sensor 8 : 2331-2412.

- [18] Atikah, 1994, **Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Nitrat Tipe Kawat Terlapis**, Tesis Pasca Sarjana, ITB, Bandung.
- [19] Sophia, H., 2006, **Pengaruh Konsentrasi Dioktilftalate Terhadap Kinerja Membran Polisulfon Untuk Proses Ultrafiltrasi**, Tesis Pasca Sarjana, ITB, Bandung.
- [20] Vesely, J., D. Weiss, and K. Stulik, 1978, **Analysis With Ion Selective Electrodes**, John Wiley and Sons, New York.
- [21] Anonymous, 2009, **Technical Information of D2EHPA**, http://techcenter.lanxess.com/fcc/emea/en/products/data-sheet/Baysolvex_D2EHPA_e.pdf?docId=12416906&g, diakses pada tanggal 24 Februari 2013
- [22] Guezen, B. and Mohamed A.D., 2012, **Removal of Zn(II) from Aqueous Acetate Solution Using Di (2-Ethylhexyl) Phosphoric Acid and Tributylphosphate**, International Journal of Chemistry; Vol. 4, No. 3.
- [23] Anonim, 2012, **Struktur D2EHPA**, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/DEHPA.png/200px-DEHPA.png>, diakses tanggal 24 Februari 2013.
- [24] Skoog, D.A., D.M. West, and F.J. Holler, 1988, **Analytical Chemistry, 5th ed.**, Saunder College Publishing, Philadelphia, 468.
- [25] Aniel, K.F.D., M. Schripad, S.M. Khopkar, and R.A. Chalmer, dalam melza., 1970, **Solvent Extraction of Metals**, Van Nostrand Reinhold Company, London.
- [26] Bailey, P.L., 1976, **Analysis With Ion Selective Electrodes**, Heyden and Son Ltd., Britain, pp 35-36, 55-57.
- [27] Wroblewski, W., 2005, **Ion Selective Electrode**, <http://www.esrg.eh.pw.edu.pl>, diakses pada tanggal 13 Februari 2013.
- [28] Wang, J., 2006, **Electrochemical Sensor for Environmental Monitoring: A Review of Recent Technology**, Department of Chemistry and Biochemistry, New Mexico State University, New Mexico.
- [29] Evans, A., 1991, **Potentiometry and Ion Selegive Electrodes**, John Wiley and Sons, New York, pp 66-67.

- [30] IUPAC, 2006, **General Terms Relevant To Ion-Selective Electrode**, IUPAC Compendium Of Chemical Technology, <http://www.ium/Cha08sec321.pdf>., diakses pada tanggal 13 Februari 2013.
- [31] Afriansyah, A., 2011, **Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Tetraborat Tipe Kawat Terlapis Bermembran Kitosan**, Skripsi, Universitas Brawijaya, Malang.
- [32] Anonim, 2012, **Tinjauan Pustaka Pencemaran Logam Berat**, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/21396/4/Chapter%20II.pdf>., diakses pada tanggal 24 Februari 2013.
- [33] Laksminarayanaiah, N., 1976, **Membrans Electrodes**, Academic Press, London, pp 62-64, 98-99,160, 223-225.
- [34] Wygladacz, K., 2006, **Solid-State Sensors**, Warsaw University of Technology, Department of Analytical Chemistry, Poland, <http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials/solid>, diakses tanggal 24 Februari 2013.
- [35] Lynde, Stuart, R., 2007, **Ion Selective Electrodes**, www.cartage.org.lb, diakses 24 Februari 2013.
- [36] Putra, D.A., 2013, **Pembuatan Elektroda Selektif Ion Cd (II) Tipe Kawat Terlapis Bermembran D2EHPA**, Skripsi, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

LAMPIRAN

Lampiran A. Tahapan Kerja A.1 Diagram Alir Penelitian



Lampiran B. Perhitungan Pembuatan Larutan

B.1 Pembuatan larutan bufer asetat pH 5

$$\begin{aligned} \text{Pembuatan Larutan } \text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ M} \\ [\text{CH}_3\text{COOH}] &= \frac{\% \times \rho \times 1000}{BM} \\ &= \frac{100\% \times 1,05 \text{ kg/L} \times 1000}{60,05 \text{ g/mol}} \end{aligned}$$

$$= 17,485 \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1$$

$$= V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,485 \text{ M} = 100 \text{ mL} \times 0,2 \text{ M}$$

$$V_1 = 1,143 \text{ mL}$$

Perhitungan dan Pembuatan Larutan Na-Asetat 0,2 M

mol Na-asetat

$$= M \times V$$

$$= 0,2 \text{ mol/L} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 0,02 \text{ mol}$$

massa

$$= \text{mol} \times M_r$$

$$= 0,02 \text{ mol} \times 82 \text{ g/mol}$$

$$= 1,64 \text{ g}$$

Jadi berat CH_3COONa yang ditimbang sebesar 1,64 gram. Sebanyak 14,8 mL larutan CH_3COOH 0,2 M ditambahkan dengan 35,2 mL larutan CH_3COONa 0,2 M dan ditambahkan aquades sampai hingga tanda batas. Dikondisikan pH 5 menggunakan pH-meter.

L.B.2 Pembuatan larutan (CdCl_2)

L.B.2.1 Larutan induk (CdCl_2) 1 M

$$\begin{aligned} \text{Massa } (\text{CdCl}_2) &= [(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2)] \text{ M} \times \text{Volume (L)} \times M_r \\ &(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2) \text{ (gr/mol)} \end{aligned}$$

$$= 1 \text{ M} \times 0,1 \text{ L} \times 183,3 \text{ gr/mol}$$

$$= 18,3 \text{ g}$$

L.B.2.2 Larutan (CdCl_2) 1×10^{-1} – 1×10^{-8} M

Pembuatan larutan (CdCl_2) 1×10^{-1} M dari larutan dari (CdCl_2) 1 M

Volume (CdCl_2) 1 M

$$= (V_2 \cdot M_2) : M_1$$

$$= (0,1 \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \text{ M}$$

$$= 5 \text{ mL}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-2}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-1} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-1} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-2} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-1} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-3}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-2} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-2} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-3} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-2} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-4}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-3} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-3} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-4} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-3} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-5}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-4} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-4} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-5} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-4} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-6}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-5} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-5} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-6} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-5} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-7}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-6} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-6} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-7} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-6} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan (CdCl_2) $1,00 \times 10^{-8}$ M dari larutan dari (CdCl_2) 1×10^{-7} M

$$\begin{aligned} \text{Volume } (\text{CdCl}_2) \ 1 \times 10^{-7} \text{ M} &= (V_2 \times M_2) : M_1 \\ &= (1 \times 10^{-8} \text{ M} \times 50 \text{ mL}) : 1 \times 10^{-7} \text{ M} \\ &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Lampiran C. Data Hasil Penelitian

L.C.1 Tabel pembuatan larutan (CdCl_2) 1×10^{-1} – 1×10^{-8} M dengan volume (CdCl_2) yang dihasilkan sebesar 50 mL

No.	(CdCl_2) yang dipipet (M_1)	Volume (CdCl_2) yang dipipet (V_1)	(CdCl_2) yang dihasilkan (M_2)
1.	1 M	5 mL	1×10^{-1} M
2.	1×10^{-1} M	5 mL	1×10^{-2} M
3.	1×10^{-2} M	5 mL	1×10^{-3} M
4.	1×10^{-3} M	5 mL	1×10^{-4} M
5.	1×10^{-4} M	5 mL	1×10^{-5} M
6.	1×10^{-5} M	5 mL	1×10^{-6} M
7.	1×10^{-6} M	5 mL	1×10^{-7} M
8.	1×10^{-7} M	5 mL	1×10^{-8} M

L.C.2 Tabel persamaan Nernst tiap selang waktu 1 hari selama 7 hari pertama

T (hari)	Persamaan Nernst
1	$E = 369,4 + 27,9 \log a_{\text{Cd(II)}}$
2	$E = 291,7 + 28,9 \log a_{\text{Cd(II)}}$
3	$E = 363,1 + 29,3 \log a_{\text{Cd(II)}}$
4	$E = 303,2 + 28,8 \log a_{\text{Cd(II)}}$
5	$E = 260,4 + 27,7 \log a_{\text{Cd(II)}}$
6	$E = 299,0 + 27,6 \log a_{\text{Cd(II)}}$
7	$E = 399,0 + 27,5 \log a_{\text{Cd(II)}}$

L.C.3 Tabel harga potensial, faktor Nernst Dan koefisien regresi pada ESI kadmium tipe kawat terlapis selama 7 hari pertama

[Cd ²⁺] (M)	E (mV) ESI Kadmium tipe kawat terlapis pada hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
1x10 ⁻¹	341	263	333	274	232	272	371
1x10 ⁻²	314	234	306	246	206	243	345
1x10 ⁻³	286	205	275	218	178	216	316
1x10 ⁻⁴	258	176	245	188	149	189	289
1x10 ⁻⁵	229	148	217	158	122	161	262
Faktor Nernst	27,9	28,9	29,3	28,8	27,7	27,6	27,5
R ²	0,9999	0,9999	0,9994	0,9997	0,9998	0,9999	0,9998

L.C.4 Tabel hubungan harga faktor Nernst terhadap waktu

Waktu (hari)	E (mV) sensor ion Cd(II) tipe kawat terlapis					Faktor Nernst	R ²
	10 ⁻¹ M	10 ⁻² M	10 ⁻³ M	10 ⁻⁴ M	10 ⁻⁵ M		
1	341	314	286	258	229	27,9	0,9999
2	263	234	205	176	148	28,9	0,9999
3	333	306	275	245	217	29,3	0,9994
4	274	246	218	188	158	28,8	0,9997
5	232	206	178	149	122	27,7	0,9998
6	272	243	216	189	161	27,6	0,9999
7	371	345	316	289	262	27,5	0,9998
12	288	260	232	206	179	27,3	0,9999
17	266	239	211	185	158	27,1	0,9999
22	285	256	227	203	176	27,0	0,9991
27	244	214	188	162	135	26,9	0,9994
32	260	234	208	181	153	26,7	0,9998
37	280	254	230	202	174	26,4	0,9991
42	234	223	197	179	149	23,1	0,9947
47	205	175	162	140	131	18,1	0,9676
52	232	192	188	163	166	16,1	0,8507

L.C.5 Tabel hasil penentuan waktu respon

N o.	[Cd(II)] (M)	E (mV) sensor ion Cd(II) tipe kawat terlapis pada waktu (detik)																	
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1	1×10^{-1}	342	343	343	344	344	344	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
2	1×10^{-2}	312	313	314	314	314	314	314	315	315	315	315	315	315	315	315	316	316	316
3	1×10^{-3}	281	282	283	283	283	284	285	285	285	285	285	285	285	286	286	286	286	286
4	1×10^{-4}	249	251	252	252	253	254	255	255	255	255	255	255	255	255	255	256	256	256
5	1×10^{-5}	215	217	218	221	221	222	222	223	224	224	225	226	226	226	227	227	227	227

Lampiran D. Analisis Data

L.D.1 Perhitungan untuk menentukan persamaan tetapan potensial sebagai fungsi waktu

- Awal + 1 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari 2}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 291,4}{1} \right) mV/hari \\ &= 78 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal + 2 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari 3}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 363,1}{2} \right) mV/hari \\ &= 3,15 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal + 3 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari 4}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 303,4}{3} \right) mV/hari \\ &= 22,07 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal + 4 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari 5}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 302,6}{4} \right) mV/hari \\ &= 16,7 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal + 5 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari\ 6}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 299}{5} \right) mV/hari \\ &= 14,08 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal + 6 hari

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{E^\circ_{awal} - E^\circ_{hari\ 7}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{369,4 - 399}{6} \right) mV/hari \\ &= -4,93 mV/hari\end{aligned}$$

Rata-rata perubahan ΔE° sebagai fungsi waktu adalah

$$\begin{aligned}\Delta E^\circ &= \left(\frac{78 + 3,15 + 22,07 + 16,7 + 14,8 + (-4,93)}{6} \right) mV/hari \\ &= 21,51 mV/hari\end{aligned}$$

Persamaan tetapan potensial sebagai fungsi waktu yang diperoleh adalah

$$\Delta E^\circ = (369,4 + 21,51) mV/hari$$

L.D.2 Perhitungan untuk menentukan persamaan Nernst sebagai fungsi waktu

- Awal + 1 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^\circ &= \left(\frac{S^\circ_{awal} - S^\circ_{hari\ 2}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 28,9}{1} \right) mV/hari \\ &= -0,97 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal - 2 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ} &= \left(\frac{S^{\circ}_{awal} - S^{\circ}_{hari 3}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 29,3}{2} \right) mV/hari \\ &= -0,69 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal - 3 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ} &= \left(\frac{S^{\circ}_{awal} - S^{\circ}_{hari 4}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 28,86}{3} \right) mV/hari \\ &= -0,31 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal - 4 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ} &= \left(\frac{S^{\circ}_{awal} - S^{\circ}_{hari 5}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 27,7}{4} \right) mV/hari \\ &= 0,06 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal - 5 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ} &= \left(\frac{S^{\circ}_{awal} - S^{\circ}_{hari 6}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 27,6}{5} \right) mV/hari \\ &= 0,07 mV/hari\end{aligned}$$

- Awal - 6 hari

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ} &= \left(\frac{S^{\circ}_{awal} - S^{\circ}_{hari 7}}{t} \right) \\ &= \left(\frac{27,93 - 27,53}{6} \right) mV/hari \\ &= 0,07 mV/hari\end{aligned}$$

Rata-rata perubahan ΔE° sebagai fungsi waktu adalah

ΔS°

$$= \left(\frac{(-0,97) + (-0,69) + (-0,31) + 0,06 + 0,07 + 0,07}{6} \right) mV/hari$$

$$= -0,29 mV/hari$$

Persamaan tetapan potensial sebagai fungsi waktu yang diperoleh adalah

$$\Delta S^\circ = (27,93 - 0,29) mV/hari$$

L.D.3 Perhitungan Standart Deviasi (SD) dan Koefisien Variasi (CV)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(27,4 - 27,7)^2 + (27,8 - 27,7)^2 + (27,9 - 27,7)^2}{3 - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0,09 + 0,01 + 0,04)}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,14}{2}}$$

$$= 0,264$$

$$CV = \frac{SD}{\text{Faktor Nernst rata - rata}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,264}{27,7} \times 100\%$$

$$= 0,953\%$$