

**PENGARUH ION ASING TERHADAP KINERJA ELEKTRODA
SELEKTIF ION (ESI) Hg(II) TIPE KAWAT TERLAPIS
BERBASIS KITOSAN PADA PENGUKURAN KADAR
MERKURI (Hg)**

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Farmasi



Oleh :

Gumilang Adi Ramadhani

NIM. 105070507111006

PROGRAM STUDI FARMASI

FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2014

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH ION ASING TERHADAP KINERJA ELEKTRODA SELEKTIF ION
(ESI) Hg(II) TIPE KAWAT TERLAPIS BERBASIS KITOSAN PADA
PENGUKURAN KADAR MERKURI (Hg)**

Oleh:

Gumilang Adi Ramadhani

NIM. 105070507111006

Telah diuji pada

Hari : Kamis

Tanggal : 12 Juni 2014

dan dinyatakan lulus oleh:

Penguji I

Qonitah Fardiyah, S.si, M.si.

NIP. 197707052003122001

Penguji II/Pembimbing I

Penguji III/Pembimbing II

Dr. Atikah, Apt., Msi.

NIP. 195702081986012001

Dr. Hermin Sulistyarti.

NIP. 196405291988022001

Mengetahui,

Ketua Jurusan/Ketua Prodi

Drs. Bambang Sidharta, Apt., MS.

NIK. 140148623

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberi petunjuk dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Ion Asing Terhadap Kinerja Elektroda Selektif Ion Merkuri Berbasis Kitosan Tipe Kawat Terlapis Pada Pengukuran Kadar Merkuri” dapat diselesaikan.

Di dalam tulisan ini berisi penjelasan tentang selektivitas membran pada ion merkuri terhadap ion asing dan pengaruh ion asing terhadap pengukuran kadar merkuri menggunakan metode elektroda selektif ion.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. dr. Karyono Mintaroem, Sp.Pa., dekan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang.
2. Drs. Bambang Sidharta, Apt, MS., ketua Program Studi Farmasi Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang
3. Dr. Atikah, M.Si., Apt., sebagai pembimbing pertama yang telah memberikan bantuan alat dan vahan penelitian, membimbing, mengarahkan, dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir.
4. Dr. Hermin Sulistyarti dan Dr. Soebiantoro, M.Sc., Apt., sebagai dosen pembimbing kedua yang telah membimbing selama pengerjaan tugas akhir.
5. Qonitah Fardiyah S.Si., M.Si. sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk perbaikan Tugas Akhir yang telah dibuat.

6. Staf dosen pengajar dan karyawan di Program Studi Farmasi yang telah membantu, membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat selama menjalani studi di farmasi.
7. Segenap anggota Tim Pengelola Tugas Akhir FKUB.
8. Para laboran di laboratorium polinema dan biokimia yang telah membantu dalam penelitian ini.
9. Orang tua, serta seluruh anggota keluarga yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dorongan baik moril maupun materi.
10. Semua teman-teman yang telah memberikan doa dan semangat.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka diri menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang,

Penulis

ABSTRAK

Ramadhani, Gumilang Adi. 2014. Pengaruh Ion Asing Terhadap Kinerja Elektroda Selektif Ion (ESI) Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan Pada Pengukuran Kadar Merkuri (Hg). Tugas Akhir, Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Pembimbing: (1) Dr. Atikah, M.Si., Apt. (2) Dr. Hermin Sulistyarti.

Persaingan pada produk kosmetik menyebabkan produsen menghalalkan segala cara termasuk menambahkan bahan berbahaya seperti merkuri. Merkuri ditambahkan ke dalam kosmetik supaya kulit tampak lebih cerah. Pada penelitian sebelumnya dengan komposisi tentang pengembangan metode sensor potensiometri menggunakan elektroda selektif ion dengan komposisi kitosan 3% *polivinylchloride* (PVC) 39%, dan dioktilftalat (DOP) 58% dilarutkan dalam tetrahidrofuran (THF) dengan perbandingan 1:3 (b/v), namun belum dilakukan uji pengaruh ion asing terhadap pengukuran kadar merkuri pada kosmetik. Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji pengaruh ion asing As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} terhadap kinerja ESI merkuri (Hg^{2+}) tipe kawat terlapis berbasis kitosan. Ion As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} digunakan karena merupakan logam berat pencemar kosmetik yang sering terkandung pada kosmetik. Uji pengaruh ion asing pada kinerja ESI Hg^{2+} dilakukan dengan metode larutan tercampur. Pengukuran dilakukan sesuai dengan kondisi optimal pengukuran dari penelitian sebelumnya yaitu pada pH 6 dan suhu ± 25 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga koefisien selektivitas membran terhadap ion Hg^{2+} dibandingkan dengan ion As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} ($K_{i,j}$) < 1 sehingga ESI merkuri berbasis kitosan ini bersifat selektif terhadap ion $Hg^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As(III)$ secara berturut-turut.

Kata kunci: merkuri, potensiometri, ESI, ion asing, kitosan, polivinilklorida, dioktilftalat, sensor, selektivitas.

ABSTRACT

Ramadhani, Gumilang Adi. 2014. The Effect of Interfering Ions to The Performance of Coated Wire Ion Selective Electrode (ISE) Based on Chitosan on Mercury (II) Measurement. Final Assignment. Pharmacy Study Program, Faculty of Medicine, University of Brawijaya. Supervisors: (1) Dr. Atikah, M.Si., Apt. (2) Dr. Hermin Sulistyarti.

Competition in cosmetic products have caused several producers introduce dangerous substances of mercury. Mercury is added to the cosmetic products in order to make the skin looks brighter. On previous research, mercury ion selectice electrode (Hg(II)-ISE) has been successfully developed as sensor using membrane made of chitosan : polyvinylchloride (PVC) : dioctylphtalate (DOP) with ratio of 3 : 39 : 58 (w/w) dissolved in tetrahydrofuran (THF) with 1:3 (w/v) ratio. This sensor has not been tested for the effect of interfering ions in measurring the consentration of mercury. The purpose of this research is to investigate the effect of interfering ions (As(III), Pb^{2+} , and Cd^{2+}) to the Hg(II)-ISE performance in measuring mercury concentration. As(III), Pb^{2+} , and Cd^{2+} ions are chosen because they are the common contaminants in the cosmetics. The interfering ion test to the performance of Hg^{2+} ISE was conducted using mixed solution method, under measurement conditions is based on the optimal conditions of previous research, i.e. at pH 6 and temperatura of ± 25 °C. The result showed that the selectivity coefficient ($K_{i,j}$) was < 1 against As(III), Pb^{2+} , and Cd^{2+} ions, which means that this ISE is selective to $Hg^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As(III)$ respectively.

Keywords: mercury, potentiometry, ISE, chitosan, polyvinylchloride, dioctylphtalate, sensor, interfering ions, selectivity.

DAFTAR ISI

	Halaman
Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Abstrak.....	v
Abstract.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Lampiran.....	xii
Daftar Singkatan.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.5.1 Manfaat Akademis.....	5
1.5.2 Manfaat Praktis.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Merkuri (Hg).....	7
2.2 Potensiometri.....	7
2.3 Elektroda Selektif Ion (ESI).....	8
2.4 ESI Tipe Kawat Terlapis.....	9

2.5 Membran ESI.....	9
2.5.1 Kitosan.....	11
2.5.2 <i>Polyvinylchloride</i> (PVC).....	13
2.5.3 Dioktilftalat (DOP).....	14
2.5.4 Tetrahidrofuran (THF).....	14
2.6 Selektivitas (Pengaruh Ion Asing).....	15
2.7 Timbal (Pb).....	17
2.8 Arsen (As)	18
2.9 Kadmium (Cd)	18
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	
3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	20
3.2 Hipotesis Penelitian	21
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1 Desain Penelitian.....	22
4.2 Tempat Dan Waktu Penelitian.....	22
4.3 Alat Dan Bahan.....	22
4.3.1 Alat.....	22
4.3.2 Bahan.....	22
4.4. Prosedur Penelitian.....	23
4.4.1 Pembuatan ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan... 23	
4.4.1.1 Preparasi Kitosan Cair pH 5.....	23
4.4.1.2 Pembuatan Membran ESI Merkuri Berbasis Kitosan.....	23
4.4.1.3 Pembuatan ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis.....	24
4.4.1.4 Pelapisan Membran ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis.....	24
4.4.2 Pembuatan Larutan Merkuri (HgCl ₂).....	25
4.4.3 Pembuatan Larutan Ion Asing.....	25

4.4.3.1 Pembuatan Larutan Ion Asing As(III).....	25
4.4.3.2 Pembuatan Larutan Ion Asing Cd ²⁺	26
4.4.3.3 Pembuatan Larutan Ion Asing Pb ²⁺	26
4.4.4 Pengukuran Potensial Pengaruh Ion Asing Pada ESI Merkuri (Hg) berbasis Kitosan.....	26
Bab V Hasil Penelitian dan Analisa Data	
5.1 Hasil Penelitian dan Analisa Data	28
5.2 Pembuatan Kurva Baku Merkuri.....	29
5.3 Pengaruh Ion Asing.....	30
Bab VI Pembahasan	
6.1 Pengaruh Ion Asing (Selektivitas) Terhadap Kinerja ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan	33
Bab VII Penutup	
7.1 Kesimpulan	36
7.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
Lampiran	40



DAFTAR TABEL

5.1 Hasil Pengukuran Kurva Baku $HgCl_2$ Dengan ESI Merkuri.....	29
5.2 Data Koefisien Selektivitas (K_{ij}) ESI Merkuri Terhadap Ion Asing Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan $As(III)$	31



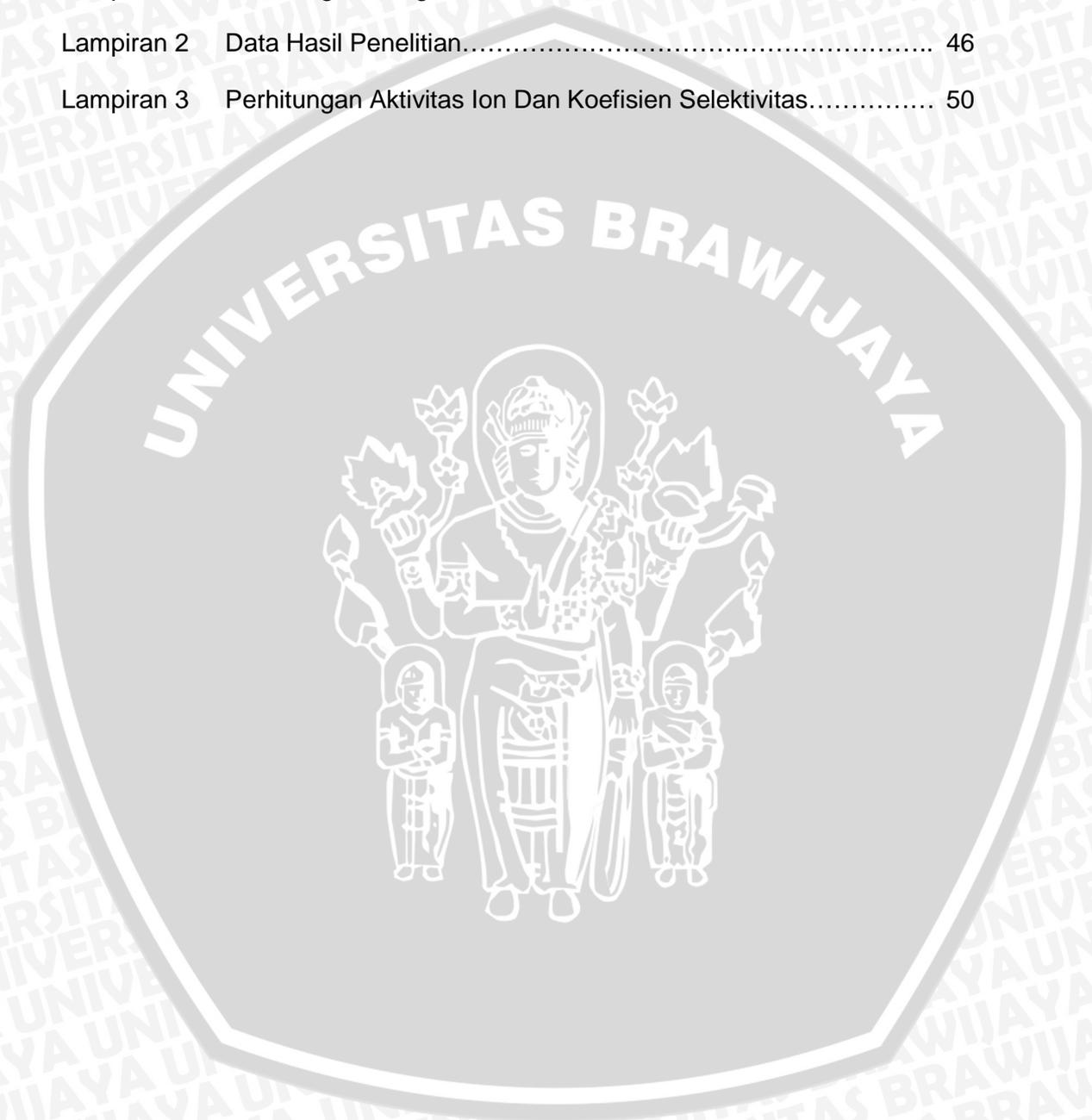
DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema sel elektroda selektif ion kawat terlapis.....	9
2.2	Proses deasetilasi dari kitin menjadi kitosan dengan NaOH.....	12
2.3	Susunan rantai polimer PVC.....	14
2.4	Rumus Struktur DOP.....	14
2.5	Struktur Kimia Tetrahidrofuran (THF).....	15
5.1	Kurva Baku Pengukuran ESI Pada HgCl_2	30
5.2	Kurva Hubungan Antara ($K_{i,j}$) dan Konsentrasi Merkuri Dengan Adanya Ion Pb^{2+} dan Cd^{2+}	32
5.3	Gambar 5.3 Kurva Hubungan Antara ($K_{i,j}$) dan Konsentrasi Merkuri Dengan Adanya Ion Asing As(III).....	32



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Pengenceran Larutan.....	40
Lampiran 2	Data Hasil Penelitian.....	46
Lampiran 3	Perhitungan Aktivitas Ion Dan Koefisien Selektivitas.....	50



DAFTAR SINGKATAN

BM : Berat Molekul

BPOM : Badan Pengawas Obat dan Makanan

DOP : Dioktilftalat

ESI : Elektroda Selektif Ion

g : Gram

Hg : Merkuri

$K_{i,j}$: Koefisien Selektivitas

M : Molaritas

mL : Mililiter

mm : Milimeter

mV : Milivolt

PVC : Polyvinylchloride

SD : Standart Deviasi

SSA : Spektrofotometer Serapan Atom

THF : Tetrahidrofuran



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kosmetika menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) (2011) merupakan sediaan yang digunakan pada bagian luar tubuh manusia seperti epidermis, rambut, kuku, bibir, organ genital bagian luar, gigi dan membran mukosa mulut yang bertujuan untuk membersihkan, mengharumkan, mengubah penampilan, memperbaiki bau badan, melindungi, dan atau memelihara tubuh pada kondisi baik. Kosmetika pada umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu kosmetik rias dan kosmetik pemeliharaan (Fatmawaty dan Sosiyawati, 2008). Salah satu contoh kosmetik pemeliharaan adalah produk pemutih kulit atau *skin whitening agent*. Produk ini banyak dipakai pada bidang kosmetik sebagai andalah dalam mencerahkan kulit, maupun bidang terapi klinis sebagai perawatan kulit yang mengalami hiperpigmentasi abnormal seperti melasma, bintik-bintik, dan *actinic lentiginos* (Zhai dan Maibach, 2009).

Di era modern ini, industri kosmetik semakin menjamur, akibatnya persaingan antar produsen semakin ketat dalam menarik konsumen. Ketatnya persaingan ini memaksa para produsen untuk menggunakan berbagai cara agar produk kosmetik yang dibuat laku di pasaran. Salah satunya dengan menggunakan bahan tambahan merkuri (Hg) ke dalam produk pemutih kulit sehingga produk pemutih kulit tidak lagi bersifat mencerahkan, tetapi akan membuat kulit menjadi putih dengan waktu yang singkat.

Pada tahun 2011, Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) mengatur batasan penggunaan merkuri pada kosmetik yaitu tidak lebih dari 1 mg/kg atau 1 mg/L (1 ppm) dan pada peraturan lainnya juga disebutkan kadar merkuri maksimal adalah 0,007% dalam berbagai campuran merkuri atau garam merkuri (BPOM,2011). Namun, pada akhir tahun 2012, BPOM menemukan adanya 19 produk kosmetik yang mengandung bahan berbahaya merkuri yang tidak memenuhi syarat, diantaranya terdapat 17 produk krim pemutih dan 2 produk sabun pemutih, yang mana sebanyak 15 produk tidak memiliki izin edar. Bahkan selain adanya merkuri, juga terdapat kandungan bahan-bahan terlarang lainnya seperti hidrokuinon yang merupakan bahan pewarna (BPOM, 2012).

Adanya kandungan merkuri dalam kosmetik perlu diperhatikan karena merkuri termasuk dalam bahan kimia berbahaya dan beracun yang dapat menyebabkan toksisitas pada organ tubuh walaupun dalam konsentrasi kecil. Menurut World Health Organization (WHO) (2011), umumnya merkuri yang ditambahkan pada produk kosmetik berupa garam merkuri yang dapat terabsorpsi dalam jaringan. Absorpsi merkuri pada jaringan kulit dapat menghambat pembentukan melanin sehingga kulit tampak menjadi lebih putih. Ikatan merkuri dengan asam amino tirosin yang dapat mengganggu metabolisme asam amino tirosin sehingga melanin tidak terbentuk. Di dalam jaringan, garam merkuri dapat diubah menjadi ion merkuri yang memiliki efek toksik (Broussard et al, 2002). Oleh karena itu perlu memonitor kadar merkuri dalam kosmetik untuk melindungi konsumen dari produk kosmetika yang membahayakan kesehatan.

Beberapa metoda untuk menentukan kadar merkuri dalam kosmetik telah dikembangkan. Salah satu yang paling sering digunakan adalah spektrofotometri

serapan atom (SSA). SSA merupakan metode yang cocok untuk analisis logam berat karena pada konsentrasi kecil menghasilkan akurasi, sensitivitas yang tinggi. Namun, metode SSA memiliki kelemahan yaitu memerlukan preparasi sampel yang rumit karena sampel yang diukur harus dalam bentuk larutan dan tidak mudah menguap (Yunita, 2011), selain itu biaya instrumentasi penggunaan alat juga membutuhkan biaya yang besar dan tenaga ahli tersendiri. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan pengembangan metoda analisa penentuan kadar merkuri pada sampel krim kosmetik dengan metode potensiometri menggunakan sensor berupa elektroda selektif ion (ESI) merkuri yang mana membutuhkan biaya yang relatif murah, sederhana, dan cukup mudah untuk dilakukan.

Potensiometri merupakan salah satu metode analisis yang melibatkan penggunaan sel elektrokimia yang tersusun atas elektroda pembanding (*reference electrode*), yaitu elektroda yang potensialnya tetap selama pengukuran dan elektroda indikator (*indicator electrode*), yaitu elektroda yang potensialnya tergantung pada aktivitas ion yang ditentukan. Metode potensiometri dalam elektroanalisis didasarkan pada hubungan antara potensial sel elektrokimia dan konsentrasi atau aktivitas ion di dalam sel tersebut (Putra, 2009).

Elektroda indikator itu sendiri terdapat berbagai macam jenis, salah satunya yang akan digunakan pada penelitian ini adalah elektroda selektif ion merkuri yang dapat diaplikasikan pada pengukuran merkuri dalam produk kosmetik. Menurut Masykur (2004), keunggulan elektroda selektif ion antara lain adalah sederhana, selektif, cepat, murah dan bila telah dilakukan karakterisasi dapat digunakan untuk analisis tanpa melakukan pemisahan terlebih dahulu. Pada pembuatan ESI, bahan aktif yang digunakan adalah kitosan. Kitosan

merupakan suatu bipolimer yang banyak digunakan pada bidang biomedik, pertanian, industry, kosmetik, pengolahan makanan, dan control lingkungan (pembersihan air) (Ang Lee Fung, 2007).

Dalam mendeteksi merkuri, kitosan membentuk kompleks dengan ion merkuri. Hal ini disebabkan karena adanya gugus amin kitosan yang reaktif terhadap ion logam (Benavente, 2008).Gugus amin ini dapat mengikat kation logam pada pH mendekati netral (7). Pada keadaan asam, kitosan akan lebih terprotonasi sehingga lebih cenderung mengikat anion (Guibal, 2004).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ayuningtyas(2013) untuk membuat elektroda selektif ion Hg tipe kawat terlapis berbasis kitosan pada pH 5 dengan konsentrasi linier 10^{-1} M sampai 10^{-8} M, terdapat beberapa hal yang belum diuji, salah satunya adalah selektivitas membran terhadap ion asing. Ion asing yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Pb, As, dan Cd. Digunakan logam berat Pb, As, dan Cd karena merupakan logam berat yang berbahaya dan sering muncul pada sediaan kosmetik menurut BPOM 2011. Pb itu sendiri dapat diabsorpsi melalui kulit dan masuk ke sirkulasi sistemik dan mengendap terutama di tulang sehingga dapat menimbulkan gangguan sendi. Pb biasa ditemui pada produk lipstik, *eye shadow*, dan *eye liner*. Sedangkan arsen dan kadmium memiliki efek karsinogenik sehingga dapat menimbulkan kanker pada kulit apabila terpapar pada jangka panjang. Arsen biasa ditemui pada produk *eye shadow* sedangkan kadmium biasa ditemui pada sediaan krim tubuh, *lip gloss*, *eye liner*, dan krim rambut.

Oleh karena itu, peneliti mengangkat tema ini untuk mengetahui selektivitas elektroda selektif ion Hg terhadap ion Pb, As, dan Cd dengan metode

larutan terpisah, karena metode larutan terpisah merupakan metode yang direkomendasikan oleh IUPAC.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh ion asing Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan As(III) terhadap kinerja elektroda selektif Ion (ESI) merkuri tipe kawat berlapis berbasis kitosan?

1.3. Batasan Masalah

1. Komposisi membran yang digunakan adalah kitosan, PVC, dan DOP dengan perbandingan 3 : 39 : 58 dalam pelarut THF 3 mL
2. Pengukuran dilakukan pada suhu kamar ($\pm 25^{\circ}C$).
3. Pengujian dilakukan pada pH optimal (pH = 6)

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji selektivitas membran ESI merkuri terhadap ion asing Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan As(III) dengan metode larutan tercampur.

1.5. Manfaat Penelitian

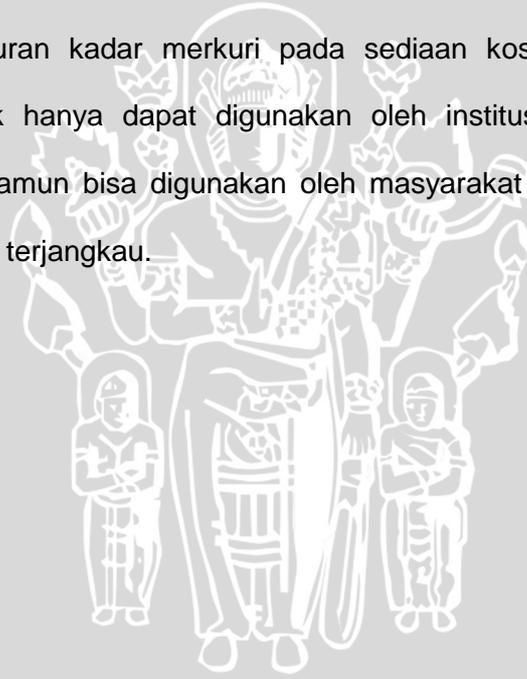
1.5.1. Manfaat Akademis

Dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan akurasi metode analisis kosmetik dengan potensiometri khususnya elektroda

selektif ion merkuri (II) berbasis kitosan melalui pemahaman pengaruh ion asing dengan ESI – Hg (II).

1.5.2. Manfaat Praktis

1. Mengetahui selektivitas ESI berbasis kitosan terhadap ion merkuri dengan adanya ion ion Pb^{2+} , $As(III)$ dan Cd^{2+}
2. Pengembangan terutama pada modifikasi ESI berbasis kitosan sebagai sensor logam merkuri.
3. Diharapkan dapat mempermudah, mempercepat, dan mengurangi biaya untuk pengukuran kadar merkuri pada sediaan kosmetik di pasaran sehingga tidak hanya dapat digunakan oleh institusi tertentu seperti BPOM saja, namun bisa digunakan oleh masyarakat luas juga dengan harganya yang terjangkau.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Merkuri

Merkuri atau raksa merupakan unsur logam dengan nomor atom 80 dan massa molekul relative 200,59 yang juga merupakan satu-satunya logam berbentuk cair pada temperatur kamar (25°C). Merkuri ini juga bersifat volatil (mudah menguap) dan juga konduktor (Alfian, 2006). Unsur golongan logam transisi ini berwarna keperakan dan merupakan satu dari lima unsur (bersama cesium, francium, galium, dan brom) yang berbentuk cair dalam suhu kamar, serta mudah menguap. Hg akan memadat pada tekanan 7.640 Atm (Lide, 1998). Kelimpahan Hg di bumi menempati di urutan ke-67 di antara elemen lainnya pada kerak bumi. Di alam, merkuri (Hg) ditemukan dalam bentuk unsur merkuri (Hg), merkuri monovalen (Hg^+), dan bivalen (Hg^{2+}) (Hammond, 2005).

2.2. Potensiometri

Potensionmetri adalah metode elektroanalisis yang didasarkan pada penentuan potensial dari suatu sistem elektroda. Penentuan potensiometri dapat mendeteksi ion secara selektif dalam suatu campuran yang memiliki banyak komponen lain. Sistem penentuan potensiometri terdiri dari dua elektroda, potensiometer, dan larutan analit. Elektroda itu sendiri terbagi menjadi dua, yaitu elektroda pembanding dan elektroda indikator. Elektroda pembanding merupakan elektroda dengan potensial yang a) tidak bergantung pada ion pada larutan; b) tidak dipengaruhi oleh temperatur. Sedangkan elektroda indikator adalah elektroda yang sensitif terhadap ion. Potensial dari elektroda indikator sangat tergantung pada konsentrasi dari ion analit (Williard et al, 1988).

2.3. Elektroda Selektif Ion (ESI)

ESI adalah suatu elektroda tipe membran yang secara selektif mampu merespon aktivitas dari ion tertentu dalam suatu larutan analit (Day, 2002). ESI tersusun atas membran sebagai komponen penting yang dapat memisahkan dua larutan serta mengatur perpindahan massa dari kedua fasa yang akan dipisahkan oleh membran tersebut (Williard et al, 1988).

Pada saat penggunaan, akan terjadi kontak antara bagian luar dari ESI dengan larutan analit sehingga bahan aktif membran akan terdisosiasi menjadi ion bebas pada antarmuka membran – larutan. Jika ion yang ada dalam larutan saling bercampur, maka akan terjadi reaksi pertukaran ion dengan ion bebas pada sisi aktif membran hingga mencapai kesetimbangan elektrokimia.

ESI dapat digolongkan sebagai alat ukur yang ideal karena dapat menentukan aktivitas dari ion tertentu secara selektif, dengan menggunakan membran selektif tipis yang berfungsi sebagai elemen pengenal yang melibatkan proses pertukaran ion dari sisi aktif pada permukaan membran (Williard et al, 1988). ESI juga memiliki kelebihan yaitu memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi sehingga pada aplikasinya tidak memerlukan pemisahan terlebih dahulu.

2.4. ESI Tipe Kawat Terlapis

Elektroda Selektif Ion dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu ESI tipe tabung dan ESI tipe kawat terlapis. Pada penelitian ini digunakan metode ESI tipe kawat terlapis. Elektroda kawat terlapis tersusun atas lapisan tipis polimer yang mengandung jenis bahan elektroaktif yang dilapiskan pada kawat platina.

Membran yang dilapiskan pada kawat berperan penting dalam mempertahankan potensial pembanding dalam (Brian, 1997).

Untuk menggantikan elektroda pembanding dalam yang pada umumnya digunakan pada sel elektrokimia pada ESI tipe kawat terlapis digunakan kawat Pt, karena Pt merupakan logam inert dimana dapat terjadi reaksi redoks. ESI tipe kawat terlapis tersusun dari kawat Pt yang dilapisi oleh membran selektif ion, yang dinotasikan pada gambar 2.1 (Anonim, 2006).



Gambar 2.1. Skema sel elektroda selektif ion kawat terlapis

Keuntungan dari desain ESI ini salah satunya adalah kebutuhan akan suatu elektroda pembanding internal dapat dihilangkan (Patnaik, 2004). Namun, kekurangan dari ESI tipe kawat terlapis ini adalah harga E^0 yang tidak stabil, hal ini dapat diatasi dengan membuat kurva standard pengukuran sebagai standard pengukuran secara potensiometri (Atikah, 2005). Komponen – komponen yang menyusun ESI tipe kawat terlapis antara lain: membran, badan elektroda, dan kabel koaksial RG 58 (Lynde, 1997).

2.5. Membran ESI

Komponen yang paling dasar dari semua metode pengukuran potensiometri adalah membran selektif ion dimana lebih sensitif terhadap ion-ion

yang terdapat dalam sampel. Ion dapat menembus batas antarmuka dua fasa menimbulkan adanya beda potensial sehingga dapat terjadi kesetimbangan elektrokimia. Kktivitas ion yang terdapat dalam fasa ini sangat menentukan beda potensial yang ditimbulkan pada antarmuka fasa tersebut (Wroblewski, 2005). Beda potensial ini terukur sebagai potensial sel yang dinyatakan melalui persamaan Nernst pada persamaan 2.1 (Anggraini, 2007).

$$E_{Sel} = E^{\circ} + 2,303 \frac{RT}{nF} \log a_{analit} \quad (2.1)$$

Keterangan: E_{Sel} = beda potensial (V); E° = potensial elektroda terukur (V);
 a_{analit} = aktivitas ion yang terukur; R = tetapan gas ideal ($8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$); T = temperature (K); F = tetapan Faraday (96.500 Cmol^{-1}).

Potensial yang terukur berbanding lurus dengan aktivitas ion dimana aktivitas ion ini biasanya juga sebanding dengan konsentrasi ion karena total keutatan ion dalam larutan sama dengan satu. ESI akan lebih cepat merespon kation untuk menetralkan muatan membran apabila konsentrasi dari suatu ion tinggi. Sedangkan jika konsentrasi ion rendah ESI akan lebih cepat merespon anion lain untuk menetralkan muatan membran, sehingga respon ESI terhadap ion menjadi rendah. Menurut Lynde 1997 membran ESI digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Membran gelas, membran jenis ini mampu merespon ion hydrogen. Membran jenis ini merupakan bahan membran pertama kali yang digunakan pada elektroda selektif ion.
2. Membran garam anorganik tak larut, membran jenis ini tersusun dari garam yang mempunyai kelarutan rendah dan terhubung dari garam yang

mempunyai kelarutan rendah dan terhubung secara elektrik. Pada umumnya dikenal sebagai membran padat.

3. Membran penukar ion organik dan bahan pengikat, bahan ini dipadukan dengan membran PVC. Membran ini mengikat secara selektif ion tertentu dari fasa cair dan menggantinya melalui membran sehingga timbul potensial. Membran ini biasa disebut dengan membran cair.

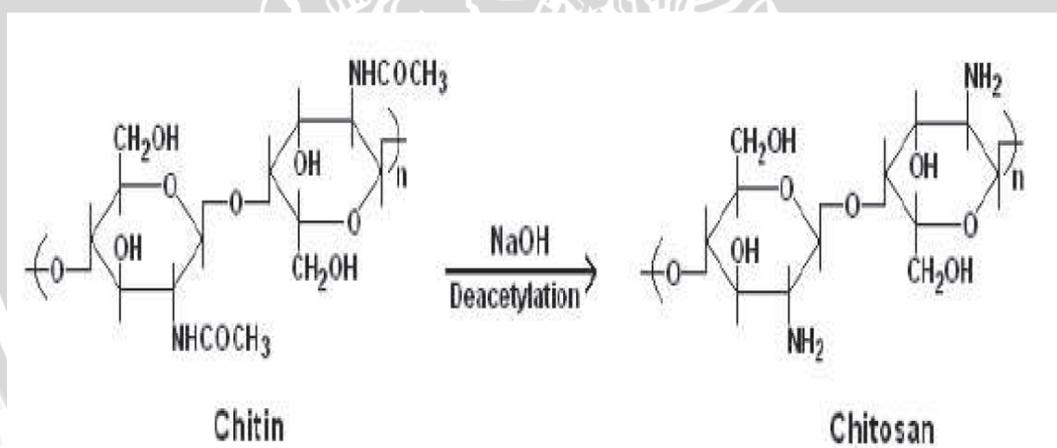
Penggunaan bahan-bahan pembentuk ESI terdiri atas bahan aktif yaitu kitosan, polimer pendukung PVC, dan pemlasitis DOP yang dilarutkan dalam THF agar homogen, diharapkan dapat menghasilkan nilai Nernst yang sesuai dalam hal ini merkuri memiliki nilai Nernst teoritis sebesar 29,5 mV/dekade konsentrasi. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ayuningtyas (2013) mengenai ESI merkuri berbasis kitosan, komposisi membran ESI optimal untuk pengukuran kadar merkuri adalah dengan perbandingan Kitosan : PVC : DOP sebesar 3 : 39 : 58 dalam 1 gram dengan pelarut THF sebanyak 3 mL.

2.5.1. Kitosan

Kitosan adalah bahan aktif dalam penelitian ini yang merupakan derivat kitin yang mudah mengalami degradasi biologis, biokompatibel, tidak antigenik, dan tidak toksik yang banyak digunakan pada bidang farmasi, bioteknologi, dan pengolahan air limbah (Shetty, 2006). Kitosan berbentuk padatan amorf berwarna putih kekuningan, tidak larut air, dan larutan alkali, tetapi larut dalam larutan organik asam seperti asam asetat dan asam format pada pH dibawah 6. Karakteristik kimia kitosan adalah sebagai berikut (Jones, 2004):

1. Adanya kandungan atom nitrogen yang banyak.
2. Memiliki rapat muatan tinggi pada pH < 6,5.
3. Bersifat kationik poliamin, membentuk gel, dan polianion.
4. Dapat membentuk kelat dengan logam.
5. Memiliki gugus amin dan hidroksil yang reaktif.
6. Pada permukaannya dapat melekat muatan negatif.

Kitosan terdiri dari glukosamin dan N-asetil glukosamin (kitin) (Shetty, 2006). Kitosan berasal dari deasetilasi parsial kitin dengan menghilangkan gugus asetil ($-\text{COCH}_3$) pada gugus asetil amin (NHCOCH_3) menjadi gugus amin (NH_2) bebas kitosan dalam larutan basa kuat NaOH (Kurniati, 2011). Proses reaksi deasetilasi kitin menjadi kitosan dapat dilihat pada gambar 2.2 (Benavente, 2008)



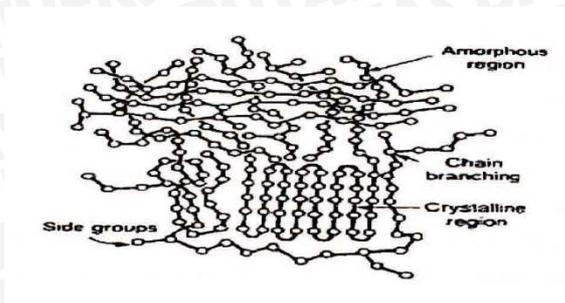
Gambar 2.2. Proses deasetilasi dari kitin menjadi kitosan dengan NaOH

Kitosan digunakan sebagai bahan aktif ESI karena memiliki gugus amin yang akan membentuk kompleks dengan ion logam. Pembentukan kompleks antara kitosan dengan ion logam dipengaruhi oleh adanya gugus amin ($-\text{NH}_2$) yang bersifat reaktif terhadap ion logam dan kecepatan ion logam berdifusi melalui membran kitosan. Afinitas kitosan untuk menyerap kation logam adalah

sebagai berikut: $\text{Cu}^{2+} \gg \text{Hg}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} \sim \text{Ca}^{2+}$ dan $\text{Eu}^{3+} > \text{Nd}^{3+} > \text{As}^{3+} > \text{Cr}^{3+} \sim \text{Pr}^{3+}$. Kitosan pada dasarnya memiliki 3 mekanisme pembentukan kompleks, yaitu adsorpsi (penyerapan kitosan dengan ion alkali atau alkali tanah melalui pembentukan kompleks terner), pertukaran ion (interaksi elektrostatik), dan pembentukan kelat. Ketiga mekanisme interaksi tersebut bergantung pada komposisi larutan, pH larutan, dan jenis ion logam (Benavente, 2008). Pada pH mendekati netral (>5) atau dalam bentuk tidak terprotonasi, elektron pasangan bebas nitrogen pada gugus amin ($-\text{NH}_2$) kitosan akan didonorkan, sehingga dapat berikatan koordinasi dengan kation logam melalui sisi ikatan amin yang mana berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wulandari (2013) mengenai pengaruh pH terhadap kinerja ESI merkuri menunjukkan bahwa pH optimal untuk pengukuran kadar merkuri adalah pada pH 6. Sebaliknya, pada pH rendah (pH 2-4) gugus amin terprotonasi, polimer kationik seperti kitosan cenderung mengikat anion sehingga menurunkan kemampuan mengkelat kation logam (Shetty, 2006).

2.5.2. *Polyvinylchloride (PVC)*

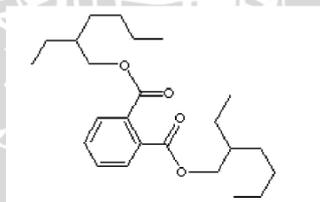
PVC merupakan suatu bahan polimer yang bersifat termoplastis (bersifat plastis) (Wirjosentono, 1998). PVC digunakan sebagai bahan pendukung membran yang memiliki sifat kuat, inert, tidak mudah menguap, berpori-pori kecil, dan tahan terhadap pelarut. PVC yang banyak diperdagangkan umumnya amorf, ataktik, mempunyai segmen kristalin sindiotaktik, dan memiliki T_g relative tinggi (80°C). Derajat kristalinitas dari PVC ini sangat diperlukan agar membran bersifat permeable dan fleksibel, PVC juga menunjukkan stabilitas yang baik terhadap bahan kimia dan air (Kesting, 1985). Susunan rantai polimer dari PVC dapat dilihat pada gambar 2.3 (Kusnusa, 2011).



Gambar 2.3. Susunan rantai polimer PVC

2.5.3. Dioktilftalat (DOP)

Penambahan DOP berfungsi sebagai zat pemlastis (*plasticizer*). Menurut Wibrata (2007) yang mengutip dari Vesely, plasticizer yang baik digunakan untuk membran ESI yakni harus dapat mempertahankan selektivitas dari membran serta tidak mudah menguap. DOP mempunyai sifat-sifat seperti rantai hidrokarbon panjang, tidak larut dalam air, tidak mudah menguap dan memiliki tetapan dielektrik yang rendah. Karena alasan inilah maka *plasticizer* yang digunakan adalah DOP. Rumus struktur DOP dapat dilihat pada gambar 2.4.

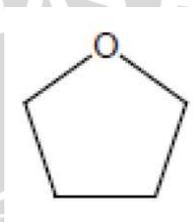


Gambar 2.4. Rumus Struktur DOP

2.5.4. Tetrahidrofuran (THF)

Tetrahidrofuran memiliki rumus kimia $(\text{CH}_2)_4\text{O}$ merupakan senyawa organik heterosiklik yang paling banyak dimanfaatkan sebagai molekul eter yang paling bersifat polar. THF memiliki viskositas rendah dengan aroma seperti dietil

eter. Dalam penelitian kali ini, THF digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan membran elektroda selektif. THF memiliki kepolaran yang sedang dan berkemampuan melarutkan berbagai macam senyawa polar maupun nonpolar. Pelarut THF merupakan donor elektron dengan konstanta dielektrik 7,6 dan mempunyai viskositas rendah (0,48 Cp) pada suhu 25°C (Sax dan Lewis, 1987). Struktur kimia dari THF ditunjukkan pada gambar 2.5 (Dannan et al, 2012).



Gambar 2.5. Struktur Kimia Tetrahidrofuran (THF)

2.6. Selektivitas (Pengaruh Ion Asing)

Ion asing adalah ion selain ion utama yang telah ditentukan dan terdapat dalam larutan sampel sehingga dapat mempengaruhi pengukuran potensial sel (Buck and Lindner, 2001). Perlunya meneliti pengaruh ion asing terhadap kinerja sensor adalah karena membran yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan membran selektif ion dimana semua ion dalam larutan uji dapat berdifusi ke membran, namun hanya ion utama saja yang akan disensor oleh membran. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui keberadaan ion asing yang juga ikut berdifusi menuju membran akan dapat mempengaruhi kinerja sensor ion Hg^{2+} ini.

Selektivitas merupakan kemampuan ESI untuk membedakan antara ion yang berbeda dalam larutan yang sama. Koefisien selektivitas $K_{i,j}$ didefinisikan sebagai ukuran selektivitas dari elektroda untuk ion utama, A (ion utama yang

ditentukan) dengan adanya ion pengganggu B (Savant et al, 2000). ESI lebih merespon ion utama A daripada ion pengganggu B. semakin besar nilai $K_{i,j}$ atau >1 , maka semakin besar pengaruh ion pengganggu terhadap kinerja ESI (Atikah, 2005).

Terdapat dua metode yang digunakan untuk menentukan harga koefisien selektivitas yaitu metode larutan terpisah dan metode larutan tercampur. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode larutan tercampur yang mana pengukuran potensial elektroda dilakukan dalam larutan yang mengandung aktivitas ion pengganggu (α_j) tetap dan aktivitas ion utama (α_i) bervariasi. Metode larutan tercampur ini merupakan metode yang direkomendasikan oleh IUPAC (IUPAC, 2006). Koefisien selektivitas pada penelitian ini ditentukan dengan metode larutan tercampur dengan mengukur potensial elektroda larutan yang mengandung aktivitas ion utama tertentu (E_1) kemudian potensial elektroda larutan yang mengandung aktivitas ion utama (α_i) dan aktivitas ion pengganggu (α_j) (E_2). Pada masing-masing pengukuran diperoleh persamaan (2.2) (Bailey, 1976) (Umezawa et al, 2000). Potensial ESI dengan adanya ion pengganggu dapat diukur dengan menggunakan persamaan Nicolsky-Eisemann (2.3). Jika pada persamaan (2.2) dan (2.3) dikurangkan harga dari E_1 ke E_2 , maka akan diperoleh persamaan (2.4).

$$E_{sel} = E^{\circ} - 2,303 \frac{RT}{nF} \log \alpha_i \quad (2.2)$$

$$E_{sel} = E^{\circ} - 2,303 \frac{RT}{nF} \log (\alpha_i + K_{i,j} \alpha_j^{n/z}) \quad (2.3)$$

$$E_{sel} = E^{\circ} - 2,303 \frac{RT}{nF} \log \left[\frac{\alpha_i + K_{i,j} \alpha_j^{n/z}}{\alpha_i} \right] \quad (2.4)$$

Keterangan: E_1 = potensial larutan ion utama tanpa ion asing; E_2 = potensial larutan ion utama dengan ion asing; E° = potensial elektroda standar; α_i, α_j = aktivitas ion utama dan ion asing; n, z = muatan ion utama dan ion asing; i = ion utama; j = ion pengganggu (asing).

Jika persamaan 2.4 dimasukkan harga ketetapan gas ideal (R) = 8,314 JK⁻¹mol⁻¹, tetapan Faraday (F) = 96,485 Cmol⁻¹, temperature (T) = 298 K, maka diperoleh harga $K_{i,j}$ pada persamaan (2.5) dan (2.6)

$$E_2 - E_1 = -0,0529 \log \left[\frac{\alpha_i + K_{i,j} \alpha_j^{n/z}}{\alpha_i} \right] \quad (2.5)$$

$$K_{i,j}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} \alpha_i - \alpha_j}{\alpha_j^{n/z}} \quad (2.6)$$

2.7 Timbal (Pb)

Timbal adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Pb dengan nomor atom 82 dan merupakan logam berat yang berwarna kebiru-biruan atau abu-abu. Timbal cenderung stabil dan memiliki titik leleh pada 327,5°C dan titik didih 1.740°C pada tekanan atmosfer. Timbal memiliki 2 valensi, yaitu +2 dan +4. Dalam bentuk garam nitratnya ($Pb(NO_3)_2$) memiliki kelarutan 50 gram dalam 100 mL air. Timbal dan senyawanya dapat diserap melalui tubuh pada paparan jangka panjang sehingga dapat menyebabkan keracunan. Tanda-tanda keracunan dari timbal adalah lebam, nyeri dan iritasi lokal. Dalam kosmetik timbal sering ditemukan pada produk lipstik, *eye shadow*, dan *eye liner* bukan sebagai bahan aktif melainkan sebagai *by-product* dari kosmetik dalam bentuk $Pb(NO_3)_2$ (Lide, 2000).

2.8. Arsen (As)

Arsen, arsenik, atau arsenikum adalah unsur kimia dengan nomor atom 33. Ini adalah bahan metaloid yang terkenal beracun dan memiliki tiga bentuk alotropik; kuning, hitam, dan abu-abu. Arsen memiliki 2 valensi, yaitu +3 dan +5. Dalam keadaan basa, Arsen akan membentuk ion Arsenit (AsO_3^{3-}) dengan biloks/valensi +3. Arsen memiliki efek karsinogenik sehingga dapat menimbulkan kanker pada kulit apabila terpapar pada jangka panjang. Arsen biasa ditemui pada produk *eye shadow*, *eye liner*, dan tonik rambut yang merupakan *by-product* dari pengolahan petroleum (Hammond, 2005).

2.9 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Secara umum, senyawa cadmium tidak larut dalam basa, larut dalam asam H_2SO_4 dan HCl encer, larut dalam air. Apabila dibiarkan dalam udara terbuka maka akan membentuk oksida coklat CdO. Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena memiliki efek karsinogenik sehingga dapat menimbulkan kanker pada kulit apabila terpapar pada jangka panjang dan juga dapat beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Kadmium biasa ditemui pada sediaan krim tubuh, *lip gloss*, *eye liner*, dan krim rambut (Lide, 2000).

BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

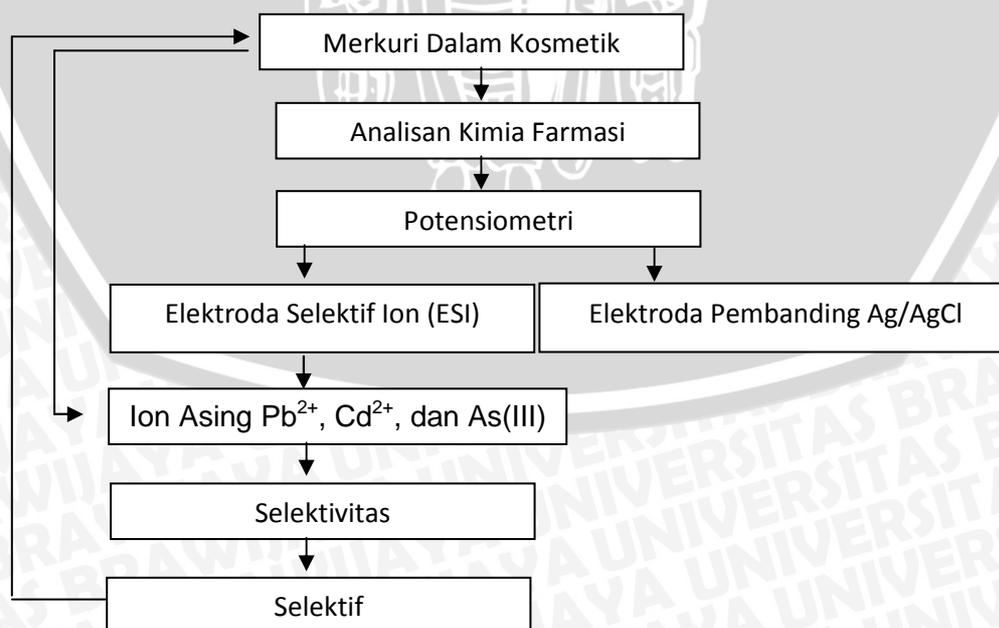
3.1. Kerangka Konsep Penelitian

Merkuri merupakan bahan kimia berbahaya yang sering digunakan pada kosmetik. Oleh karenanya, kandungan merkuri dalam kosmetik perlu diperhatikan karena merkuri termasuk dalam bahan kimia berbahaya dan beracun yang dapat menyebabkan toksisitas pada organ tubuh walaupun dalam konsentrasi kecil. Menurut World Health Organization (WHO) (2011), umumnya merkuri yang ditambahkan pada produk kosmetik berupa garam merkuri yang dapat terabsorpsi dalam jaringan. Absorpsi merkuri pada jaringan kulit dapat menghambat pembentukan melanin sehingga kulit tampak menjadi lebih putih. Ikatan merkuri dengan asam amino tirosin yang dapat mengganggu metabolisme asam amino tirosin sehingga melanin tidak terbentuk. Di dalam jaringan, garam merkuri dapat diubah menjadi ion merkuri yang memiliki efek toksik (Broussard et al, 2002).

Untuk mengetahui apakah kosmetik mengandung merkuri atau tidak, dilakukan analisa kimia farmasi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya Merkuri (Hg) adalah Potensiometri Elektroda Selektif Ion (ESI). Metode Potensiometri ESI memiliki keunggulan yaitu cepat, preparasi dan prosedur yang relatif mudah, respon yang ditimbulkan relatif cepat, pengoperasian yang mudah, selektif, murah (Atikah et al, 2012). Pada penelitian ini, analisa kimia farmasi dilakukan dengan menggunakan metode potensiometri dengan menggunakan elektroda selektif ion (ESI). Metode ini memiliki kelebihan analisisnya yang cepat,

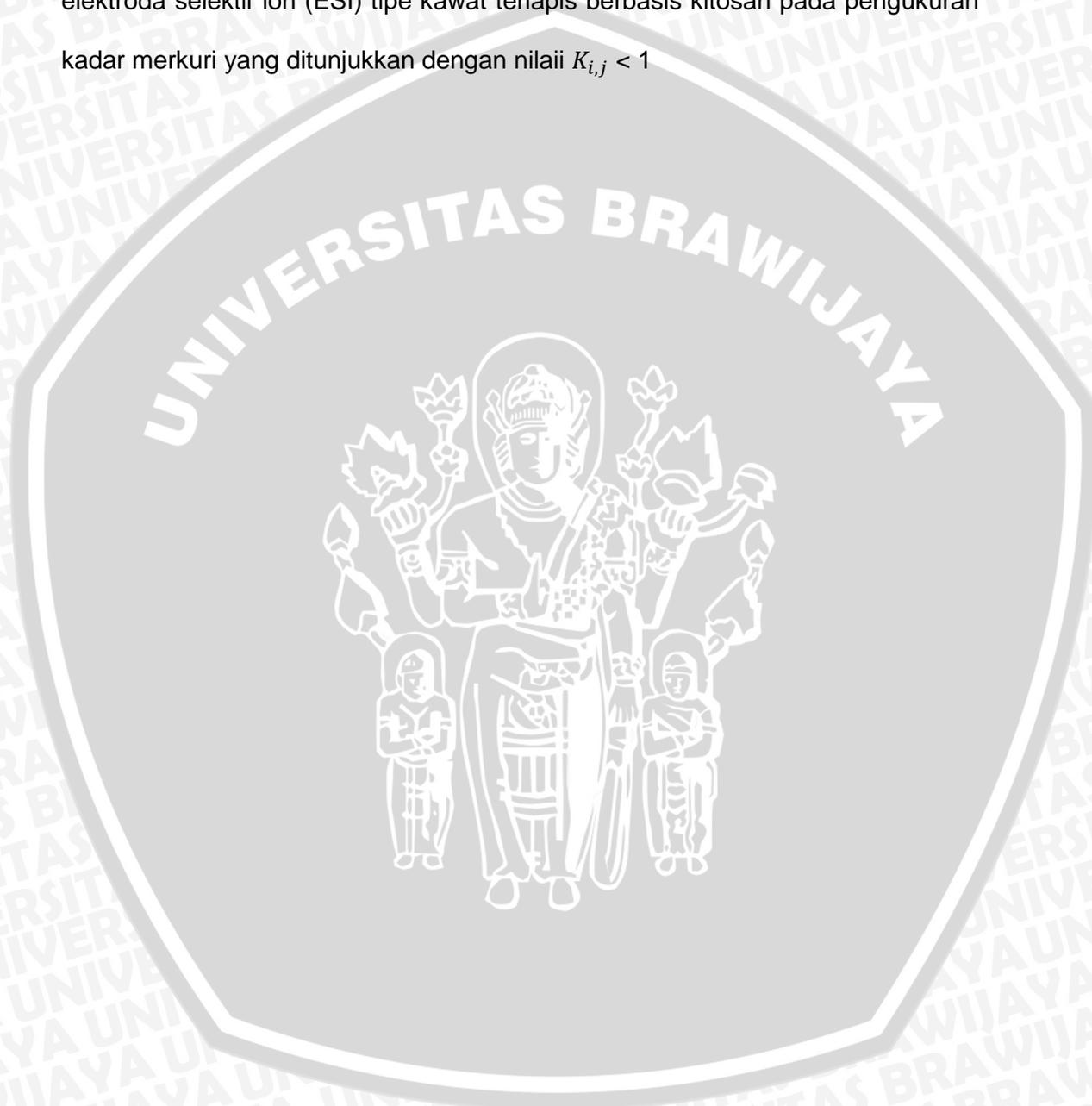
sederhana, dan mudah dalam pengoperasian alat (Kurniati, 2011). Pada penelitian digunakan pula elektroda pembanding yaitu kalomel. Proses pembuatan ESI dimulai dari pembuatan membran sensor dan elektroda kawat terlapis. Komposisi bahan penyusun membran yang digunakan terdiri dari kitosan, PVC, DOP, dan THF sebagai pelarut.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ayuningtyas (2013) dan Wulandari (2013) mengenai ESI merkuri tipe kawat terlapis berbasis kitosan, telah dilakukan optimasi terkait komposisi serta kondisi pengukuran namun belum dilakukan uji selektivitas atau pengaruh ion asing. Uji selektivitas atau pengaruh ion asing dari ESI diperlukan sebagai bentuk dari bagian dari pembuktian bahwa ESI yang dibuat telah optimal sesuai sifat dasar sensor yaitu sifat spesifik dan selektif. Ion asing yang akan digunakan pada penelitian kali ini yaitu As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} karena merupakan jenis logam berat yang paling sering terdapat pada sediaan kosmetik menurut BPOM (2011).



3.2 Hipotesis

Ion asing Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan $As(III)$ tidak mempengaruhi kinerja pengukuran elektroda selektif ion (ESI) tipe kawat terlapis berbasis kitosan pada pengukuran kadar merkuri yang ditunjukkan dengan nilai $K_{i,j} < 1$



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Desain Penelitian

Pada penelitian ini, rancangan yang digunakan adalah penelitian eksperimental laboratorik yang didasarkan pada potensiometri, yang menggunakan ESI merkuri tipe kawat terlapis berbasis kitosan. Metode uji selektivitas yang digunakan adalah metode larutan tercampur.

4.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Farmasi Polinema, Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari – Mei 2014.

4.3. Alat dan Bahan

4.3.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah potensiometer (merk Schott), elektroda pembanding kalomel (merk Schott), pengaduk magnetic (stirrer), timbangan analitik, botol semprot, botol sampel, bola hisap, seperangkat peralatan gelas dan plastic.

4.3.2. Bahan

Bahan-bahan yang mensyaratkan derajat kemurnian pro analisis (p.a) dalam penelitian ini antara lain adalah THF (E-Merck). Sedangkan bahan-bahan

yang tidak mensyaratkan derajat kemurnian p.a, yaitu bubuk kitosan (Aldrich) dengan derajat asetilasi 65 %, polimer PVC (Sigma), pemlastis DOP (Sigma), kabel koaksial RG-58, kawat platina (panjang 5 cm, diameter 0,5 mm), plastic polietilen (menggunakan tip mikropipet 1 mL), As_2O_3 , $Pb(NO_3)_2$, $HgCl_2$, CdS, kertas paraffin, dan akuades.

4.4. Prosedur Penelitian

4.4.1. Pembuatan ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan

4.4.1.1. Preparasi kitosan cair pH 5

Kitosan cair dibuat dengan cara melarutkan 1 gram bubuk kitosan ke dalam 40 mL asam asetat 3 %. Campuran kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnetic selama 24 jam dengan kecepatan sedang sampai homogen. Setelah itu, kitosan cair yang telah jadi ditambahkan NaOH 0,1 M hingga mencapai pH 5 sambil distirer hingga homogen.

4.4.1.2. Pembuatan membran ESI merkuri berbasis kitosan

Pembuatan membran dilakukan dengan mencampurkan kitosan cair, PVC, dan DOP. Berat total campuran komposisi bahan membran sebesar 1 gram. Perbandingan kitosan : PVC : DOP optimal yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Ayuningtyas (2013) yaitu 3 : 39 : 58.

Langkah pertama dalam proses pembuatan membran adalah mencampurkan PVC, DOP, dan kitosan. Setelah itu, ditambahkan 3 mL pelarut THF. Perbandingan berat komposisi membran : volume THF = 1 : 3. Selanjutnya, campuran membran diaduk dengan pengaduk magnetic selama \pm 3 jam sampai diperoleh larutan yang homogen dan tidak terdapat gelembung

udara. Pada waktu pengadukan, larutan ditutup dengan kertas paraffin agar pelarut tidak menguap.

4.4.1.3. Pembuatan ESI merkuri tipe kawat terlapis

Badan elektroda dibuat dengan menggunakan kawat platina dengan panjang 5 cm dan diameter 0,5 mm. Pada bagian ujung bawah kawat platina sepanjang 1,5 cm dibiarkan terbuka sebagai tempat penempelan membran, sedangkan bagian lain ditutup dengan tip mikropipet. Ujung atas kawat platina disambungkan dengan kabel koaksial RG-58 sebagai penghubung ke potensiometer.

Ujung bawah kawat terbuka dibersihkan dari kotoran mekanik dan lemak dengan direndam dalam larutan HNO_3 65 % selama 5 menit. Selanjutnya, dibilas dengan akuades dan alcohol 96% sebanyak tiga kali pengulangan. Lalu, dikeringkan pada suhu ruang.

4.4.1.4. Pelapisan membran ESI merkuri tipe kawat terlapis

Pelapisan membran dilakukan dengan mencelupkan ujung kawat platina ke dalam larutan membran sampai larutan membran menempel dan melapisi seluruh permukaan kawat platina. Proses pencelupan elektroda tersebut dilakukan sebanyak tiga kali sehingga diperoleh membran dengan ketebalan 2 mm. Elektroda yang telah terlapisi membran dikeringkan pada suhu ruang (25°C) dan dipanaskan dalam oven suhu 50°C selama 12 jam agar ketahanan membran meningkat. Setelah dioven, elektroda didinginkan pada suhu ruang.

4.4.2. Pembuatan Larutan Merkuri (HgCl_2)

Pembuatan larutan ion utama $\text{Hg}^{2+} 10^{-8} - 10^{-1}$ M dengan cara menimbang 1,3575 gram padatan kristal HgCl_2 dalam gelas arloji menggunakan neraca analitik lalu dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL, diaduk hingga larut dan dikondisikan pada pH 6 dengan penambahan buffer asetat. Kemudian ditambahkan sedikit akuades dan diaduk hingga larut, setelah itu dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL, dan ditambahkan akuades hingga tanda batas. Selanjutnya dikocok hingga homogen dan diperoleh konsentrasi $\text{Hg}^{2+} 10^{-1}$ M. Kemudian dipipet sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, lalu ditambahkan sedikit akuades dan dikondisikan pada pH 6 menggunakan buffer fosfat. Setelah itu ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dikocok sampai homogen dan diperoleh konsentrasi $\text{Hg}^{2+} 10^{-2}$ M. Kemudian dipipet sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, lalu ditambahkan sedikit akuades dan dikondisikan pada pH 6 dengan buffer fosfat. Prosedur ini dilakukan secara berlanjut hingga terdapat larutan dengan konsentrasi $10^{-8} - 10^{-1}$ M.

4.4.3. Pembuatan Larutan Ion Asing

4.4.3.1 Pembuatan larutan ion asing As(III)

Pembuatan larutan ion asing As(III) dengan konsentrasi 2×10^{-3} M dilakukan dengan menimbang padatan As_2O_3 sebanyak 98,92 mg dalam gelas arloji dengan menggunakan neraca analitik. Kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL dan dilarutkan dengan menggunakan NaOH. Ditambahkan kembali sedikit NaOH dan diaduk hingga larut. Lalu, dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan NaOH hingga tanda batas sehingga diperoleh As_2O_3 dengan konsentrasi 10^{-2} M. Selanjutnya dikocok hingga homogen.

4.4.3.2. Pembuatan larutan ion asing Cd^{2+}

Pembuatan larutan ion asing Cd^{2+} dengan konsentrasi 10^{-3} M dilakukan dengan menimbang padatan $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebanyak 100,65 mg dalam gelas arloji dengan menggunakan neraca analitik. Kemudian dimasukkan kedalam gelas kimia 50 mL dan dilarutkan dengan menggunakan akuades. Ditambahkan kembali sedikit akuades dan diaduk hingga larut. Lalu, dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas sehingga diperoleh $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 10^{-2} M. Selanjutnya dikocok hingga homogen.

4.4.3.3. Pembuatan Larutan Ion Asing Pb^{2+}

Pembuatan larutan ion asing Pb^{2+} dengan konsentrasi 10^{-3} M dilakukan dengan menimbang padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 165,6 mg dalam gelas arloji dengan menggunakan neraca analitik. Kemudian dimasukkan kedalam gelas kimia 50 mL dan dilarutkan dengan menggunakan akuades. Ditambahkan kembali sedikit akuades dan diaduk hingga larut. Lalu, dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas sehingga diperoleh $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 10^{-2} M. Selanjutnya dikocok hingga homogen.

4.4.4. Pengukuran potensial pengaruh ion asing pada ESI merkuri (Hg) berbasis kitosan

Penentuan koefisien selektivitas pada penelitian ini menggunakan metode larutan tercampur yang dilakukan dengan mengukur larutan yang mengandung ion utama Hg^{2+} pada rentang konsentrasi linier yang telah ditentukan

sebelumnya, yaitu 10^{-8} M - 10^{-1} M. selanjutnya dilakukan pula pengukuran potensial larutan HgCl_2 10^{-8} - 10^{-1} M dengan penambahan larutan As(III) , Cd^{2+} dan Pb^{2+} yang merupakan larutan pengganggu dengan konsentrasi tetap 10^{-3} M. Potensial yang diperoleh dari hasil pengukuran larutan yang hanya mengandung ion utama (Hg^{2+}) saja maupun dengan penambahan ion asing dimana hasilnya akan disubstitusikan kedalam persamaan Nernst yang nantinya hasil tersebut dimasukkan kedalam kurva hubungan dan dimasukkan ke dalam persamaan 2.6.

Kemudian dibuat kurva hubungan antara $\log [\text{Hg}^{2+}]$ dengan $K_{i,j}$, jika $K_{i,j} > 1$ maka ESI Hg^{2+} lebih merespon secara selektif ion asing daripada ion Hg^{2+} sendiri, yang berarti ion asing tersebut mengganggu kinerja ESI merkuri.



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

5.1 Hasil Penelitian dan Analisa Data

Penelitian ini menggunakan desain penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Farmasi Polinema, Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Prinsip penelitian adalah berdasarkan prinsip potensiometri, yaitu dengan mengukur potensial larutan analit HgCl_2 dengan konsentrasi tertentu menggunakan elektroda selektif ion merkuri (ESI Hg^{2+}) tipe kawat terlapis berbasis kitosan dan elektroda pembanding Ag|AgCl yang kemudian ditambahkan ion asing As(III) , Pb^{2+} , dan Cd^{2+} dengan konsentrasi 10^{-3} , sehingga diperoleh koefisien selektivitasnya ($K_{i,j}$).

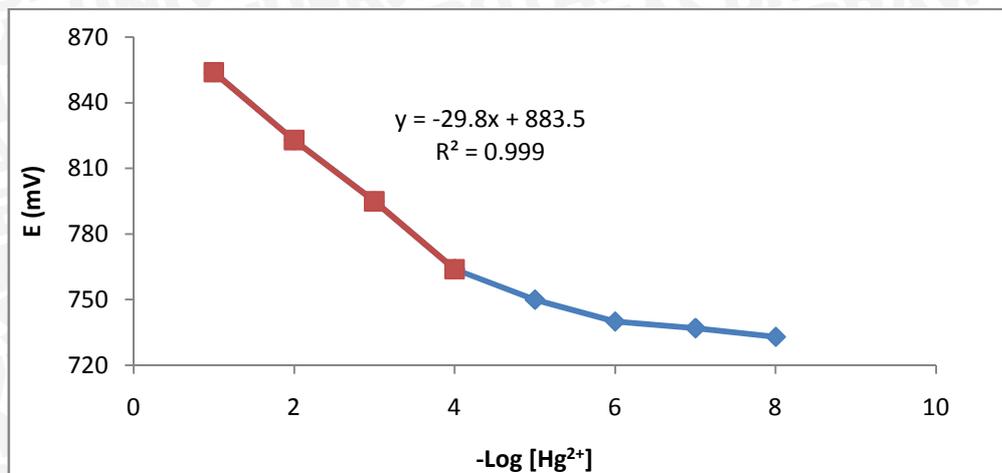
Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi preparasi larutan dan pembuatan ESI merkuri tipe kawat terlapis berbasis kitosan. Preparasi larutan yang dilakukan mulai dari pembuatan larutan induk Hg^{2+} 0,2 M dan pembuatan larutan analit $10^{-1} - 10^{-8}$ M. Pembuatan ESI Hg^{2+} tipe kawat terlapis meliputi pembuatan kitosan cair pH 5, pembuatan membran sensor, pembuatan dan pembersihan elektroda, serta pelapisan membran sensor pada kawat platina ESI Hg^{2+} . Pengukuran potensial membran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Komposisi membran yang digunakan sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ayuningtyas (2013) dengan perbandingan kitosan : PVC : DOP sebesar 3: 390 : 580 dalam 1 gram dengan pelarut THF 3 mL.

5.2 Pembuatan Kurva Baku Merkuri

Sebelum dilakukan pengukuran pengaruh ion asing, dilakukan pembuatan kurva baku untuk mengkalibrasi ESI serta mengetahui apakah ESI sudah memiliki harga Nernst yang sesuai, yaitu 29,5 mV/ dekade konsentrasi. Hasil pengukuran kurva baku dapat dilihat pada tabel 5.1 dan gambar 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Kurva Baku HgCl_2 Dengan ESI Merkuri

Data Beda Potensial Kurva Baku Merkuri					
[Hg^{2+}] M	p [Hg^{2+}]	E (mv) ESI Hg^{2+}			
		A	B	C	rerata
10^{-8}	8	733	731	735	733
10^{-7}	7	737	736	738	737
10^{-6}	6	740	742	738	740
10^{-5}	5	750	751	749	750
10^{-4}	4	764	763	765	764
10^{-3}	3	795	795	795	795
10^{-2}	2	822	824	823	823
10^{-1}	1	854	854	854	854
Faktor Nernst		-29.7	-30.2	-29.5	-29.8
R		0.99	0.99	0.99	0.99
Batas deteksi		$9,77 \times 10^{-5}$ M = 26,53 ppm			
Rentang konsentrasi linier		10^{-1} - 10^{-4}			
SD slope		0.36			
% KV		1.21			
% Presisi		98.79			
% Kesalahan relatif		0.337	1.325	1.017	0



Gambar 5.1 Kurva Baku Pengukuran ESI pada HgCl_2

Berdasarkan hasil pengukuran kurva baku pada tabel 5.1, dapat dilihat bahwa membran yang digunakan telah memiliki harga Nernst yang sesuai, yaitu -29,8 mV/ dekade konsentrasi yang masih masuk ke dalam rentang Nernstian. Selain itu, diperoleh juga rentang konsentrasi linier sebesar $10^{-4} - 10^{-1}$ M yang mana menunjukkan rentang pengukuran pada penelitian kali ini.

5.3 Pengaruh Ion Asing

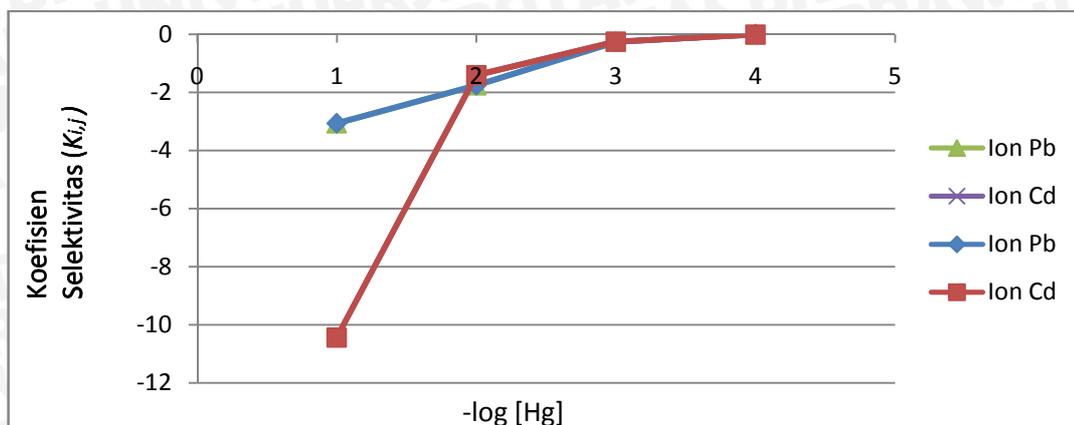
Setelah dilakukan pengukuran kurva baku, dilanjutkan dengan pengukuran pengaruh ion asing terhadap kinerja ESI merkuri berbasis kitosan. Ion asing yang digunakan adalah As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} karena ketiga logam berat tersebut merupakan logam berbahaya yang seringkali terkandung pada sediaan kosmetik sehingga perlu diuji koefisien selektivitas ESI terhadap merkuri dan dapat ditentukan apakah ion As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} dapat mengganggu pengukuran kadar merkuri dalam kosmetik. Hasil dari perhitungan koefisien selektivitas dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Data Koefisien Selektivitas ($K_{i,j}$) ESI Merkuri Terhadap Ion Asing Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan $As(III)$

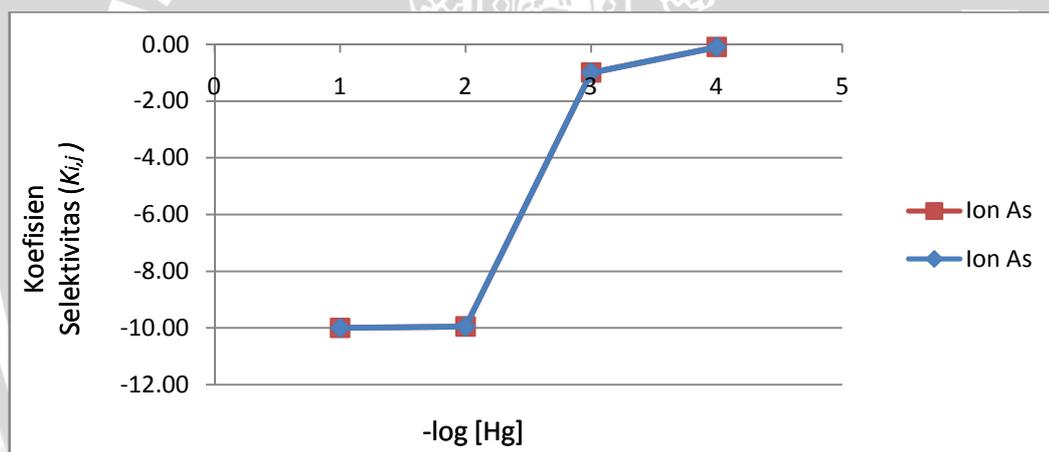
[Hg^{2+}]	Koefisien Selektivitas ($K_{i,j}$)		
	Pb^{2+}	Cd^{2+}	$As(III)$
10^{-4}	-7,4358	-32,4	-99,965
10^{-3}	-1,43	-11,4319	-99,948
10^{-2}	-0,2659	-0,3204	-0,9995
10^{-1}	0	-0,0206	-0,0999

Berdasarkan hasil perhitungan $K_{i,j}$ pada tabel 5.2. menunjukkan bahwaseluruh konsentrasi ion Hg^{2+} , menunjukkan hasil $K_{i,j}$ kurang dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa ion Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan $As(III)$ tidak mempengaruhi kinerja ESI merkuri berbasis kitosan dalam pengukuran kadar merkuri dengan urutan selektivitas $Hg^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As(III)$.

Apabila dilihat dari kurva baku 5.2 dan 5.3, dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi Hg^{2+} maka semakin kecil gangguan pengukuran yang ditimbulkan oleh ion asing. Semakin rendah konsentrasi Hg^{2+} harga ($K_{i,j}$) semakin mendekati 1 yang menunjukkan selektivitas ESI merkuri terhadap ion Hg^{2+} semakin menurun.



Gambar 5.2 Kurva Hubungan Antara ($K_{i,j}$) dan Konsentrasi Merkuri Dengan Adanya Ion Pb^{2+} dan Cd^{2+}



Gambar 5.3 Kurva Hubungan Antara ($K_{i,j}$) dan Konsentrasi Merkuri Dengan Adanya Ion Asing As(III)

BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Pengaruh Ion Asing (Selektivitas) Terhadap Kinerja ESI Merkuri Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan

Dalam penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ayuningtyas (2013) dan Wulandari (2013) dihasilkan suatu ESI merkuri yang memiliki faktor Nernst 29,35 mV/dekade konsentrasi, dimana kerja optimum dari ESI tersebut pada pH 6 (buffer fosfat). Rentang konsentrasi analit merkuri (II) yang dapat diukur yaitu 10^{-4} - 10^{-1} M dengan waktu respon 60 detik melalui perendaman dalam larutan HgCl_2 0,25 M selama 40 menit.

Komposisi membran, kondisi optimum, karakterisasi, dan pengaruh pH serta temperatur yang telah dilakukan sebelumnya digunakan sebagai acuan untuk menentukan pengaruh ion asing (selektivitas) ESI tersebut terhadap koion pengganggu (As(III) , Pb^{2+} , dan Cd^{2+}) dimana konsentrasi koion pengganggu tersebut adalah 10^{-3} M dengan menggunakan metode larutan tercampur.

Penentuan nilai koefisien selektivitas ESI merkuri terhadap ion asing dilakukan dengan metode larutan tercampur pada konsentrasi ion utama 10^{-5} - 10^{-1} M sedangkan konsentrasi ion asing dibuat tetap 10^{-3} M dimana pada masing-masing konsentrasi ion utama ditambahkan ion asing dengan konsentrasi yang dibuat tetap. Variasi konsentrasi ion utama yang dipilih berdasarkan rentang konsentrasi linier dari penelitian sebelumnya untuk menghindari perbedaan kemampuan membran dalam mensensor analit. Hasil pengukuran ion asing adalah koefisien selektivitas ($K_{i,j}$) dimana ion asing yang terdapat bersamaan

dengan larutan dikatakan mengganggu jika nilai $K_{i,j} > 1$ dan dikatakan tidak mengganggu jika $K_{i,j} < 1$.

Ion asing yang digunakan pada penelitian ini adalah As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} . Penggunaan ion tersebut didasarkan pada data BPOM bahwa As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} juga merupakan logam berat yang berbahaya selain merkuri yang sering terkandung pada sediaan kosmetik. Adanya As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} yang dapat terkandung di dalam kosmetik ini bisa saja mengganggu pengukuran kadar merkuri dalam sampel kosmetik.

Uji selektivitas ESI terhadap ion asing perlu diteliti karena dalam pengukuran, sensor yang digunakan harus memiliki sifat selektif terhadap ion utama. Pada sampel yang akan diukur bisa saja terdapat ion selain ion yang akan diukur yang mana pada kosmetik biasanya terdapat ion As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} . Adanya ion lain tersebut dimungkinkan dapat mengganggu pengukuran dengan menggunakan ESI merkuri berbasis kitosan.

Berdasarkan data pada gambar 5.3 dan 5.4 dapat dilihat bahwa harga koefisien selektivitas ESI merkuri dipengaruhi oleh konsentrasi ion Hg^{2+} . Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan konsentrasi Hg^{2+} sehingga terjadi perubahan permitivitas atau konstanta dielektrik. Perubahan permitivitas menyebabkan harga $K_{i,j}$ juga mengalami perubahan sesuai dengan konsentrasi Hg^{2+} yang menunjukkan bahwa selektivitas ESI merkuri dipengaruhi oleh entalpi hidrasi ion-ion yang ada di dalam larutan. Pada konsentrasi ion utama Hg^{2+} dan ion asing yang sama (10^{-3} M), maka ESI lebih merespon terhadap ion utama Hg dibandingkan ion asing baik Pb^{2+} , As^{3+} maupun Cd^{2+} karena kompleks yang terbentuk antara kotosan dengan Hg^{2+} lebih kuat dibandingkan dengan ion asing

sehingga lebih diekstraksi ke dalam membran, mengakibatkan ESI lebih selektif terhadap Hg^{2+} dibandingkan ion asing Pb^{2+} , As(III) maupun Cd^{2+} . Hasil pada pengukuran pengaruh ion asing As(III) , dapat dilihat bahwa ion As(III) sangat tidak mengganggu. Hal ini disebabkan karena pada pH pengukuran, As_2O_3 tidak terion menjadi As(III) melainkan menjadi AsO_3^{3-} , sehingga tidak mengganggu pengukuran kadar merkuri karena kitosan pada pH 6 cenderung mengikat kation.

Sedangkan pada pengukuran ion asing Cd^{2+} dan Pb^{2+} , diperoleh hasil yang selektif dikarenakan Hg^{2+} termasuk kedalam “soft” acid yang mana cenderung mengikat “soft” ligands seperti kitosan. Hg^{2+} dan Cd^{2+} merupakan golongan “soft” acid namun Hg^{2+} memiliki sifat “soft” acid yang lebih kuat dibandingkan Cd^{2+} dikarenakan Hg^{2+} memiliki jari jari atom yang lebih besar dan elektronegativitas yang lebih kecil. Dengan elektronegativitas yang lebih kecil, Hg^{2+} cenderung lebih mudah melepas elektron pada orbital s, yang menyebabkan orbital s Hg^{2+} lebih mudah kosong dan mempermudah pasangan elektron bebas milik gugus amin dari kitosan untuk masuk dan berikatan dengan Hg^{2+} secara kovalen koordinasi dan membentuk kompleks (Baba et al, 1998)

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ESI merkuri tipe kawat terlapis berbasis kitosan dengan perbandingan komposisi membran kitosan : PVC : DOP sebesar 3: 39 : 58 dengan pelarut THF 1:3 (b/v) dengan kondisi pengukuran pada pH 6 dan suhu 25 °C, bersifat selektif terhadap ion Hg^{2+} dibandingkan terhadap ion asing As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} dengan $K_{i,j} < 1$ sehingga ion asing As(III), Pb^{2+} , dan Cd^{2+} tidak berpengaruh pada pengukuran kadar merkuri pada rentang konsentrasi $10^{-4} - 10^{-1}$ M.

7.2 Saran

Perlunya penelitian lanjutan terkait ion asing lain yang kemungkinan dapat terkandung di dalam sampel kosmetik yang dapat berpotensi mengganggu pengukuran kadar merkuri dalam kosmetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, Z. 2006. *Merkuri: Antara Manfaat dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Ang Lee Fung. 2007. *A Study on The Characteristics of Chitosan as an Immobilization Matrix for Biosensors*. Thesis.School of Pharmaceutical Sciences, Universiti Sains, Malaysia.
- Benavente, M. 2008. *Adsorption of Metallic Ions onto Chitosan: Equilibrium and Kinetic Studies*. Thesis.Department of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Anggraini, E. 2007. *Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion $PbCl_4^{2-}$ Tipe Kawat Terlapis Untuk Mendeteksi Pb Dalam Air Limbah*. Skripsi. FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang.
- Anonim.2006. *General Terms Relevant to Ion Selective Electrode*.IUPAC Compendium of Chemical Technology.
- Atikah.2005. *Fenomena Transport Ion Nitrat Pada Elektroda Selektif Nitrat Tipe Kawat Terlapis Membran Dengan Aliquat 336-Nitrat*. Disertasi Doktor, ITB, Bandung.
- Baba, Yoshinari., Naohiko Matsumura., Kohichiro Shiomori., dan Yoshinobu Kawano. 1998. *Selective Adsorption of Mercury(II) on Chitosan Derivatives from Hydrochloric Acid*. Department of Materials Science, Faculty of Engineering, Miiyazaki University.
- Bailey, L. P. 1976. *Analysis With Selective Electrode*. Heiden and Son Ltd, New York.
- BPOM. 2009. *Public Warning Nomor KH.00.01.43.2503: Kosmetik Mengandung Bahan Berbahaya dan Dilarang*. Badan POM. Jakarta.
- BPOM¹. 2011. *Peraturan Kepala Badan POM Nomor HK.03.1.23.07.11.6662 Tentang Persyaratan Cemaran Mikroba dan Logam Berat Dalam Kosmetika*. Badan POM. Jakarta.
- BPOM². 2011. *Peraturan Kepala Badan POM Nomor HK.03.1.23.08.11.07517 Tentang Persyaratan Teknis Bahan Kosmetika*. Badan POM. Jakarta.
- Brian, M. 1997. *Ion Selective Electrodes: Measurements Considerations*. <http://elchem.kaist.ac.kr/vt/chemed/echise.htm>. Diakses Tanggal 28 Desember 2013.

- Broussard, LA., Stabler CHA., Winecker RE., dan Miller JDR. 2002. *The Toxicology Of Mercury*. Laboratory Medicine: Number 8, Volume 33. Health Sciences Center. New Orleans.
- Buck, R.P, and Lindner, E. 2001. *Tracing The History Selective Ion Sensors*, Analytical Chemistry, p.88A.
- Dannan, GA., Lai D., Marghosches E., dan Strong JB.2012.*Toxicological Review Of Tetrahydrofuran*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Day, R.A, dan Underwood, A.L. 2002. *Analisa Kimia Kuantitatif*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Fatmawaty, A. dan Sosiyawati D. 2008.*Analisis Logam Berat Dalam Perona Kelopak Mata yang Beredar di Kota Makasar Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom*. Majalah Farmasi dan Farmakologi No 2 Vol. 12 – Juli 2008. Hal 31-36.
- Guibal, E. 2004. *Interactionsof Metal Ions with Chitosan-Based Sorbents: A Review*. Abstract. Separation and Purification Technology, Volume 38, Issue 1. Elsevier.
- Hammond, C. R The Elements dalam Lide, D. R., ed. (2005). *CRCHandbook of Chemistry and Physics (86th ed.)*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- IUPAC.2006. *General Terms Relevant to Ion Selective Electrode*.IUPAC Compendium of Chemical Technology.
- Jones, D. 2004. *Pharmaceutical Applications Of Polymers For Drug Delivery*. Rapra Technology Ltd. United Kingdom.
- Kesting, R. E. 1985. *Synthetic Polymer Membrans, A Structural Perspective, 2nd Ed*. John Wiley and Sons, New York.
- Kusnusa, WR. 2011. *Pembuatan dan Karakterisasi ESI Pb²⁺ Tipe Kawat Terlapis Bermembran Kitosan*. Tesis. Tidak diterbitkan. Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang
- Lynde, S. A., dan M. Trojanowicz. 1976. *Environmental Sampling Monitoring Primer*. <http://cwr.cee.vt.edu/environmental/teach/smprimer/ise/ise.html>. diakses tanggal 27 Desember 2013.
- Patnaik, P. 2004. *Dean's Analytical Chemistry Handbook Second Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc, New York, Hal 799.

- Savant, D. Vivek and J.A. Torres. 2000. *Chitosan Based Coagulating Agents For Treatment of Cheddar Chees Whey*. Biotechnology Progress 16:1091-1097.
- Sax, N.I, dan Lewis, R. J. 1987. *Hawley's Condensed Chemical Dictionary*, 11th Ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Shetty, AR. 2006. *Metal Anion Removal From Wastewater Using Chitosan in A Polymer Enhanced Diafiltration System*. Thesis. Biotechnology, Worcester Polytechnic Institute, United States.
- Umezawa, Y., P. Buhlmann., K. Tohda., dan S. Amemiya. 2000. *Potentiometric Selectivity Coefficients of Ion Selective Electrodes part 1. Inorganic Cations*. Pure Appl, Chem 72(10): 1852-1854.
- WHO. 2011. *Mercury In Skin Lightening Products*. Public Healt And Environmet, World Health Organization. Switzerland.
- Williard, H. H., Linne, L. M., Frank, A.S. and John, A. D. 1988. *Instrumental Methods Of Analysis 7th Ed*. Wadsworth Publishing Company, California, pp 682-685.
- Wirjosentono, B. 1998. *Struktur dan Sifat Mekanis Polimer*. Intan Dirja Lela, Medan.
- Wroblewski, W. 2005. *Ion-Ion Selective*. Chemical Science Research Group, Polandia.
- Zhai, H. dan Maibach HI. 2009. *Handbook of Cosmetic Science and Technology Third Edition: Skin Whitening Agents*. Informa Healthcare USA, Inc. New York.

LAMPIRAN 1

PERHITUNGAN PENGENCERAN LARUTAN

L.1.1 Perhitungan larutan induk merkuri 0,2 M

$$\text{BM HgCl}_2 = 271,50 \text{ g/mol}$$

$$m = M \times M_r \times V$$

$$= 0,2 \text{ M} \times 271,50 \text{ g/mol} \times 50 \text{ mL}$$

$$= 2715 \text{ mg}$$

$$= 2,715 \text{ g}$$

Untuk membuat larutan induk 0,2 M sebanyak 50 mL dibutuhkan HgCl_2 .

L.1.2 Perhitungan Larutan Baku Merkuri 10^{-1} – 10^{-8} M

- Larutan Hg 10^{-1} M dari Larutan Hg 0,2 M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 0,2 \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-1} \text{ M}$$

$$V_1 = 12,5 \text{ mL}$$

Dipipet 12,5 mL larutan Hg 0,2 M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-1} M.

- Larutan Hg 10^{-2} M dari Larutan Hg 10^{-1} M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-1} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-1} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-2} M.

- **Larutan Hg 10^{-3} M dari Larutan Hg 10^{-2} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-2} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-2} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-3} M.

- **Larutan Hg 10^{-4} M dari Larutan Hg 10^{-3} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-3} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-3} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-4} M.

- **Larutan Hg 10^{-5} M dari Larutan Hg 10^{-4} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-4} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-4} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-5} M.

- **Larutan Hg 10^{-6} M dari Larutan Hg 10^{-5} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-5} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-6} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-5} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-6} M.

- **Larutan Hg 10^{-7} M dari Larutan Hg 10^{-6} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-6} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-7} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-6} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-7} M.

- **Larutan Hg 10^{-8} M dari Larutan Hg 10^{-7} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-1} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Hg 10^{-7} M ke dalam labu ukur 25 mL, dikondisikan pada pH 6 dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Hg 10^{-8} M.

L.1.3 Perhitungan Larutan Induk Ion Asing $\text{Pb}^{2+} 10^{-2}$ M Dan Pengenceran Larutan Tercampur 10^{-3} M

- BM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 331,2 \text{ g/mol}$

$$m = M \times M_r \times V$$

$$= 10^{-2} \text{ M} \times 331,2 \text{ g/mol} \times 50 \text{ mL}$$

$$= 165,6 \text{ mg}$$

Untuk membuat larutan induk 10^{-2} M sebanyak 50 mL dibutuhkan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 165,6 mg

- **Larutan Pb 10^{-3} M dari Larutan Pb 10^{-2} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-2} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Pb 10^{-2} M ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Pb 10^{-3} M.

L.1.4 Perhitungan Larutan Induk Ion Asing Cd^{2+} 10^{-2} M Dan Pengenceran Larutan Tercampur 10^{-3} M

- $\text{BM CdCl}_2\text{H}_2\text{O} = 201,3 \text{ g/mol}$
 $m = M \times \text{Mr} \times V$
 $= 10^{-2} \text{ M} \times 201,3 \text{ g/mol} \times 50 \text{ mL}$
 $= 100,67 \text{ mg}$

Untuk membuat larutan induk 10^{-2} M sebanyak 50 mL dibutuhkan $\text{CdCl}_2\text{H}_2\text{O}$ 100,67 mg

- **Larutan Cd 10^{-3} M dari Larutan Cd 10^{-2} M**

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-2} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan Cd 10^{-2} M ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan Cd 10^{-3} M.

L.1.5 Perhitungan Larutan Induk Ion Asing As(III) 2×10^{-2} M Dan Pengenceran Larutan Tercampur 2×10^{-3} M

- $\text{BM As}_2\text{O}_3 = 197,84 \text{ g/mol}$
 $m = M \times \text{Mr} \times V$
 $= 10^{-2} \text{ M} \times 197,84 \text{ g/mol} \times 50 \text{ mL}$
 $= 98,92 \text{ mg}$

Untuk membuat larutan induk 10^{-2} M sebanyak 50 mL dibutuhkan As_2O_3 98,92 mg.

- Larutan As 10^{-3} M dari Larutan As 10^{-2} M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10^{-2} \text{ M} = 25 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Dipipet 2,5 mL larutan As 10^{-2} M ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan As 10^{-3} M.

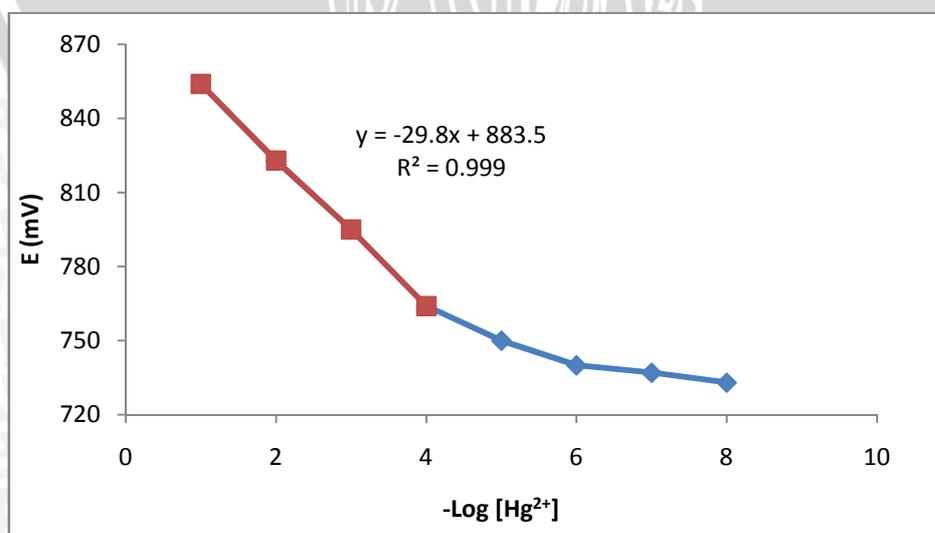


LAMPIRAN 2

DATA HASIL PENELITIAN

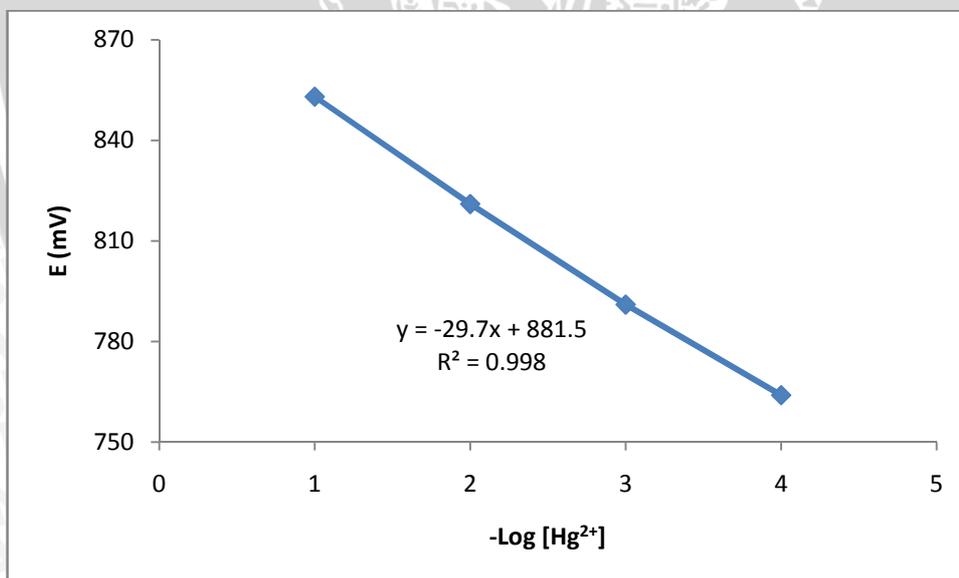
L.2.1. Pengukuran Beda Potensial Larutan Baku Merkuri

Data Beda Potensial Kurva Baku Merkuri					
[Hg ²⁺] M	p [Hg] ²⁺	E (mV)			
		A	B	C	rerata
10 ⁻⁸	8	733	731	735	733
10 ⁻⁷	7	737	736	738	737
10 ⁻⁶	6	740	742	738	740
10 ⁻⁵	5	750	751	749	750
10 ⁻⁴	4	764	763	765	764
10 ⁻³	3	795	795	795	795
10 ⁻²	2	822	824	823	823
10 ⁻¹	1	854	854	854	854
Faktor Nernst		-29.7	-30.2	-29.5	-29.8
R		0.99	0.99	0.99	0.99
Batas deteksi		9,77x10 ⁻⁵ M = 26,53 ppm			
Rentang konsentrasi linier		10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴			
SD slope		0.36			
% KV		1.21			
% Presisi		98.79			
% Kesalahan relatif		0.337	1.325	1.017	0



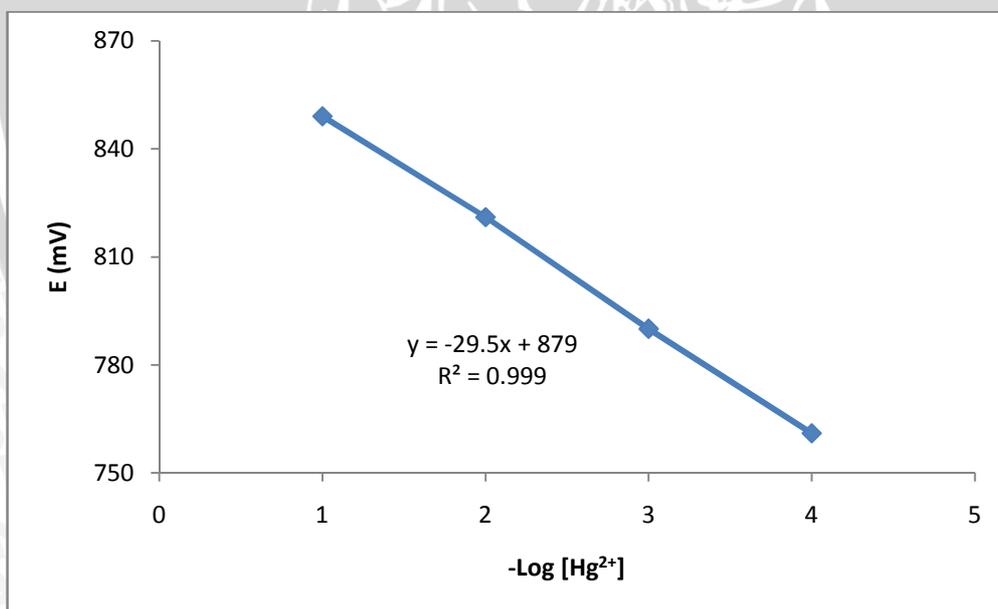
L.2.2.1 Pengukuran Beda Potensial Larutan Merkuri Dengan Ion Asing Pb²⁺

Data Beda Potensial Dengan Ion Asing Pb ²⁺							
[Hg ²⁺] M	p [Hg ²⁺]	[Pb ²⁺] M	p [Pb ²⁺]	E (mv)			
				A	B	C	rerata
10 ⁻⁴	4	10 ⁻³	3	764	763	765	764
10 ⁻³	3	10 ⁻³	3	791	791	791	791
10 ⁻²	2	10 ⁻³	3	822	822	819	821
10 ⁻¹	1	10 ⁻³	3	854	852	853	853
Faktor Nernst (slope)				-30.1	-29.8	-29.2	-29.7
R				0.99	0.99	0.99	0.99
Batas deteksi				9,77x10 ⁻⁵ M = 26,53 ppm			
Rentang konsentrasi linier				10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴			
SD slope				0.46			
% KV				1.54			
% Presisi				98.46			
% Kesalahan relatif				1.329	0.336	1.712	0



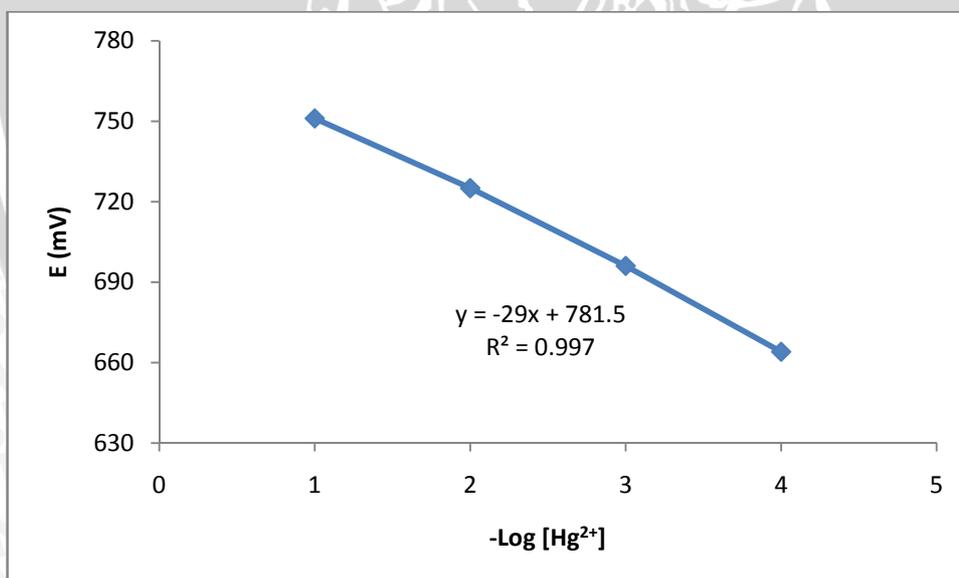
L.2.2.2 Pengukuran Beda Potensial Larutan Merkuri Dengan Ion Asing Cd²⁺

Data Beda Potensial Dengan Ion Asing Cd ²⁺							
[Hg ²⁺] M	p [Hg ²⁺]	[Cd ²⁺] M	p [Cd ²⁺]	E (mv)			
				A	B	C	rerata
10 ⁻⁴	4	10 ⁻³	3	760	763	760	761
10 ⁻³	3	10 ⁻³	3	791	788	791	790
10 ⁻²	2	10 ⁻³	3	819	821	823	821
10 ⁻¹	1	10 ⁻³	3	849	849	849	849
Faktor Nernst (slope)				-29.5	-29.1	-29.9	-29.5
R				0.99	0.99	0.99	0.99
Batas deteksi				9,77x10 ⁻⁵ M = 26,53 ppm			
Rentang konsentrasi linier				10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴			
SD slope				0.40			
% KV				1.36			
% Presisi				98.64			
% Kesalahan relatif				0.000	1.375	1.338	0



L.2.2.2 Pengukuran Beda Potensial Larutan Merkuri Dengan Ion Asing As

Data Beda Potensial Dengan Ion Asing As ³⁺							
[Hg ²⁺] M	p [Hg ²⁺]	[As ³⁺] M	p [As ³⁺]	E (mv)			
				A	B	C	rerata
10 ⁻⁴	4	10 ⁻³	3	664	664	664	664
10 ⁻³	3	10 ⁻³	3	695	697	696	696
10 ⁻²	2	10 ⁻³	3	725	726	724	725
10 ⁻¹	1	10 ⁻³	3	751	751	751	751
Faktor Nernst (slope)				-29.1	-29	-28.9	-29
R				0.99	0.99	0.99	0.99
Batas deteksi				9,77x10 ⁻⁵ M = 26,53 ppm			
Rentang konsentrasi linier				10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴			
SD slope				0.10			
% KV				0.34			
% Presisi				99.66			
% Kesalahan relatif				0.344	0.000	-0.346	0



LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN AKTIVITAS ION DAN KOEFISIENSELEKTIVITAS

L.3.1 Perhitungan Koefisien Selektivitas Ion Utama Hg^{2+} Terhadap Ion

Asing Pb^{2+} ($K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot}$)

Reaksi yang terjadi dalam larutan adalah sebagai berikut.



L.3.1.1 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-1} M dan Ion Pb^{2+} 10^{-3} M

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan ion (I)} &= 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2 \\ &= 0,5 [(10^{-1} \times 2^2) + (10^{-1} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2)] \\ &= 0,2525 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\log \gamma_i &= \frac{0,512 |Z_+| Z_- |\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \\ &= \frac{0,512 |2| + 2| -1| - 1| \sqrt{0,2525}}{1 + \sqrt{0,2525}} \\ &= 0,3378 \end{aligned}$$

$$\gamma_i = 0,4594$$

$$\begin{aligned} \alpha_{Hg^{2+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,4594 \cdot 10^{-1} \text{ M} \\ &= 0,0459 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{Pb^{2+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,4594 \cdot 10^{-3} \text{ M} \end{aligned}$$



$$= 0,000459$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} \alpha_{Hg^{2+}} - \alpha_{Hg^{2+}}}{\alpha_{Pb^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{853 - 854}{29,8}} \cdot 0,0459 - 0,0459}{0,000459^{2/2}}$$

$$= -7,4358$$

L3.1.2 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-2} M dan Ion Pb^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-2} \times 2^2) + (10^{-2} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2)]$$

$$= 0,0275$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 2 | -1 | - 1 | \sqrt{0,0275}}{1 + \sqrt{0,0275}}$$

$$= 0,0156$$

$$\gamma_i = 0,9647$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i = 0,9647 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$= 0,00965$$

$$\alpha_{Pb^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i = 0,9647 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,000965$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Pb^{2+}}}{a_{Pb^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{821 - 823}{29,8}} 0,00965 - 0,00965}{0,000965^{2/2}}$$

$$= -1,43$$

L.3.1.3 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-3} M dan Ion Pb^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2)]$$

$$= 0,005$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 2|-1| - 1 \sqrt{0,005}}{1 + \sqrt{0,005}}$$

$$= 1,3208$$

$$\gamma_i = 0,0478$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,0478 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,0000478$$

$$\alpha_{Pb^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,0478 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,0000478$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Pb^{2+}}}{a_{Pb^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{791-795}{29,8}} \cdot 0,0000478 - 0,0000478}{0,0000478^{2/2}}$$

$$= -0,2659$$

L.3.1.4 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-4} M dan Ion Pb^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-4} \times 2^2) + (10^{-4} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2)]$$

$$= 0,00275$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| Z_- | \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 | +2 | + 2 | -1 | - 1 | \sqrt{0,00275}}{1 + \sqrt{0,00275}}$$

$$= 0,000548$$

$$\gamma_i = 0,9987$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9987 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$= 0,0000999$$

$$\alpha_{Pb^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9987 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,000999$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{E_2 - E_1}{\text{slope}} \frac{a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{Pb^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Pb^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{764-764}{29,8}} \cdot 0,0000999 - 0,0000999}{0,000999^{2/2}}$$

$$= 0$$

L.3.2 Perhitungan Koefisien Selektivitas Ion Utama Hg^{2+} Terhadap Ion

Asing Cd^{2+} ($K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot}$)

Reaksi yang terjadi dalam larutan adalah sebagai berikut.



L.3.2.1 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-1} M dan Ion Cd^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-1} \times 2^2) + (10^{-1} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 1^2) + (10^{-3} \times (-2)^2)]$$

$$= 0,255$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512|Z_+|Z_-|\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512|+2| + 2|+1|-1| - 1| - 2|\sqrt{0,255}}{1 + \sqrt{0,255}}$$

$$= 0,5202$$

$$\gamma_i = 0,3019$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,3019 \cdot 10^{-1} \text{ M}$$

$$= 0,0302$$

$$\alpha_{Cd^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,3019 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,000302$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{Cd^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{849 - 854}{29,8}} 0,0302 - 0,0302}{0,000302^{2/2}}$$

$$= -32,4$$

L3.2.2 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-2} M dan Ion Cd^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-2} \times 2^2) + (10^{-2} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 1^2) + (10^{-3} \times (-2)^2)]$$

$$= 0,03$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 2|+1| - 1| - 1| - 2|\sqrt{0,03}}{1 + \sqrt{0,03}}$$

$$= 0,0354$$

$$\gamma_i = 0,9217$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9217 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$= 0,00922$$

$$\alpha_{Cd^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9217 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,000922$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Cd^{2+}}}{a_{Cd^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{821 - 823}{29,8}} 0,00922 - 0,00922}{0,000922^{2/2}}$$

$$= -11,4319$$

L.3.2.3 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-3} M dan Ion Cd^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 1^2) + (10^{-3} \times (-2)^2)]$$

$$= 0,0075$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 2|+1| - 1| - 1| - 2| \sqrt{0,0075}}{1 + \sqrt{0,0075}}$$

$$= 0,0048$$

$$\gamma_i = 0,989$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,989 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00099$$

$$\alpha_{Cd^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,989 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00099$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Cd^{2+}}}{a_{Cd^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{790 - 795}{29,8}} 0,00099 - 0,00099}{0,00099^{2/2}}$$

$$= -0,3204$$

L.3.2.4 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-4} M dan Ion Cd^{2+} 10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-4} \times 2^2) + (10^{-4} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (10^{-3} \times 1^2) + (10^{-3} \times (-2)^2)]$$

$$= 0,0052$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 2 |1| - 1 | - 1 | - 2 | \sqrt{0,0052}}{1 + \sqrt{0,0052}}$$

$$= 0,0028$$

$$\gamma_i = 0,9936$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9936 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$= 0,000099$$

$$\alpha_{Cd^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,9936 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00099$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Cd^{2+}}}{a_{Cd^{2+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, Cd^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{761 - 764}{29,8}} 0,000099 - 0,000099}{0,00099^{2/2}}$$

$$= -0,0206$$

L.3.3 Perhitungan Koefisien Selektivitas Ion Utama Hg^{2+} Terhadap Ion

Asing As(III) ($K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot}$)

Reaksi yang terjadi dalam larutan adalah sebagai berikut.



L.3.3.1 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-1} M dan Ion As(III) 2×10^{-3} M

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan ion (I)} &= 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2 \\ &= 0,5 [(10^{-1} \times 2^2) + (10^{-1} \times (-1)^2) + (2 \times 10^{-3} \times (-3)^2) + (10^{-3} \times (1)^2)] \\ &= 0,255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\log \gamma_i &= \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \\ &= \frac{0,512 |2| + 1|-1| - 3|\sqrt{0,255}}{1 + \sqrt{0,2525}} \\ &= 1,0325 \end{aligned}$$

$$\gamma_i = 0,0928$$

$$\begin{aligned} \alpha_{Hg^{2+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,0928 \cdot 10^{-1} \text{ M} \\ &= 0,0093 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{As^{3+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,0928 \cdot 10^{-3} \text{ M} \\ &= 0,000093\end{aligned}$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{Pb^{2+}}^{n/z}}$$

$$\begin{aligned}K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} &= \frac{10^{\frac{751 - 854}{29,8}} 0,0093 - 0,0093}{0,000093^{3/2}} \\ &= -99,965\end{aligned}$$

L3.3.2 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-2} M dan Ion $As(III)$ 2×10^{-3} M

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan ion (I)} &= 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2 \\ &= 0,5 [(10^{-2} \times 2^2) + (10^{-2} \times (-1)^2) + (2 \times 10^{-3} \times (-3)^2) + (10^{-3} \times (1)^2)] \\ &= 0,03\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-\log \gamma_i &= \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \\ &= \frac{0,512 |2| + 1| - 1| - 3| \sqrt{0,03}}{1 + \sqrt{0,03}} \\ &= 0,4535\end{aligned}$$

$$\gamma_i = 0,352$$

$$\begin{aligned}\alpha_{Hg^{2+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,352 \cdot 10^{-2} \text{ M} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{As^{3+}} &= \gamma_i \cdot C_i \\ &= 0,352 \cdot 10^{-3} \text{ M} \\ &= 0,000352\end{aligned}$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{As^{3+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{725 - 823}{29,8}} 0,00352 - 0,00352}{0,000352^{3/2}}$$

$$= -99,948$$

L.3.3.3 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-3} M dan Ion $As(III)$ 2×10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-3} \times 2^2) + (10^{-3} \times (-1)^2) + (2 \times 10^{-3} \times (-3)^2) + (10^{-3} \times (1)^2)]$$

$$= 0,0075$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+| |Z_-| \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 1| -1| - 3|\sqrt{0,0075}}{1 + \sqrt{0,0075}}$$

$$= 0,2448$$

$$\gamma_i = 0,5691$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,5691 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00057$$

$$\alpha_{As^{3+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,05691 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00057$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{E_2 - E_1}{slope}} a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{As^{3+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{2+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{696-795}{29,8}} \cdot 0,00057 - 0,00057}{0,00057^{3/2}}$$

$$= -0,9995$$

L.3.1.4 Konsentrasi $HgCl_2$ 10^{-4} M dan Ion $As(III)$ 2×10^{-3} M

$$\text{Kekuatan ion (I)} = 0,5 \sum C_i \cdot Z_i^2$$

$$= 0,5 [(10^{-4} \times 2^2) + (10^{-4} \times (-1)^2) + (2 \times 10^{-3} \times (-3)^2) + (10^{-3} \times (1)^2)]$$

$$= 0,00525$$

$$-\log \gamma_i = \frac{0,512 |Z_+ | Z_- | \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$= \frac{0,512 |2| + 1 | -1 | - 3 | \sqrt{0,00525}}{1 + \sqrt{0,00525}}$$

$$= 0,2075$$

$$\gamma_i = 0,6201$$

$$\alpha_{Hg^{2+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,6201 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$= 0,000062$$

$$\alpha_{As^{3+}} = \gamma_i \cdot C_i$$

$$= 0,6201 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$= 0,00062$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} = \frac{E_2 - E_1}{\text{slope}} \frac{a_{Hg^{2+}} - a_{Hg^{2+}}}{a_{As^{3+}}^{n/z}}$$

$$K_{Hg^{2+}, As^{3+}}^{pot} = \frac{10^{\frac{664-764}{29,8}} \cdot 0,000062 - 0,000062}{0,00062^{3/2}}$$

$$= -0,0999$$