

**PENGARUH ION ASING SULFIT TERHADAP KINERJA
ELEKTRODA KAWAT TERLAPIS (EKT) FOSFAT**

Oleh :

ALFIRA

H 211 00 005

16- Agustus -07
Fak. MIPA
1 (satu) eks
Hadiah
1103



**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007**

**PENGARUH ION ASING SULFIT TERHADAP KINERJA
ELEKTRODA KAWAT TERLAPIS (EKT) FOSFAT**

**Skripsi untuk melengkapi tugas-tugas
dan memenuhi syarat untuk mencapai
gelar sarjana**

Oleh :

ALFIRA

H 211 00 005

**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007**

**PENGARUH ION ASING SULFIT TERHADAP KINERJA
ELEKTRODA KAWAT TERLAPIS (EKT) FOSFAT**

Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama

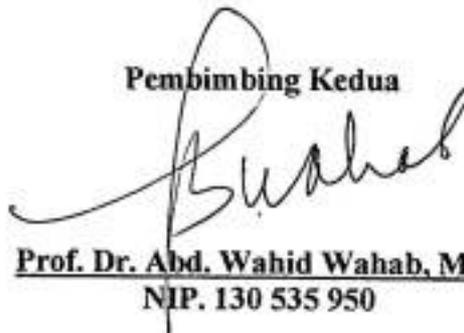


Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc
NIP. 131 570 877

Pembimbing Pertama

Ir. Widji Ediologito, M.T
NIP. 131 570 877

Pembimbing Kedua



Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc
NIP. 130 535 950

Pada Tanggal : Agustus 2007

ABSTRAK

Telah dibuat elektroda selektif ion fosfat dengan bahan aktif aliquat fosfat. Bahan aktif ini dicampur dengan bahan lain yaitu dioctyl phthalate (DOP), polivinyl chloride (PVC), dan pelarut tetrahydrofuran (THF). Dengan komposisi membran 7 % aliquat fosfat, 35 % PVC, dan 58 % DOP elektroda ini memiliki faktor Nernst 40,9 mV/dekade dengan trayek pengukuran 10^{-4} M – 10^{-1} M. Limit deteksi ESI fosfat adalah $3,9 \times 10^{-5}$ M dengan waktu tanggap elektroda berkisar 10 detik hingga 22 detik. Elektroda ini dapat bekerja optimum pada pH 4. Ion sulfit pada konsentrasi 10^{-5} M dan 10^{-2} M tidak mengganggu pengukuran ion fosfat. Pada konsentrasi 10^{-4} M, 10^{-3} M, dan 10^{-1} M ion sulfit tidak berpengaruh pada pengukuran ion fosfat 10^{-4} M – 10^{-2} M, tetapi mengganggu penentuan fosfat 10^{-1} M.

Kata kunci : ESI fosfat, faktor Nernst, sulfit, pH

ABSTRACT

Phosphate ion selective electrodes based on aliquat-phosphate as active compound have been made. This active compound was mixed with dioctyl phthalate (DOP), polyvinyl chloride (PVC), and tetrahydrofuran (THF) as solvent. The electrode with composition of 7 % aliquat-phosphate, 35 % PVC, and 58 % DOP showed a Nernstian response over phosphate concentration ranging from 10^{-4} M to 10^{-1} M and the Nernstian slope value was 40,9 mV per decade. The detection limit was $3,9 \times 10^{-5}$ M. The response time of this electrode ranging from 10 to 22 seconds, and the optimum performance was on pH 4. 10^{-5} M and 10^{-2} M of sulphite ion did not interfere the measurement of phosphate ion. 10^{-4} M, 10^{-3} M, and 10^{-1} M sulphite ion did not interfere the measurement of 10^{-4} M to 10^{-2} M phosphate ion, but it interfered the measurement of 10^{-1} M phosphate ion.

Key words : Phosphate ISE, Nernst factor, sulphite, pH

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini, serta shalawat dan salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW.

Ucapan terima kasih dari lubuk hati penulis haturkan kepada Ayahanda Syamsul Alam dan Ibunda Sitti Sofiah atas segala doa dan kasih sayang yang tak ternilai harganya.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini penulis dibantu oleh banyak pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

- ❖ **Ibu Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc** selaku Pembimbing Utama yang telah sabar membimbing dan memberi arahan selama penyusunan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
- ❖ **Bapak Ir. Widji Ediologito, MT** selaku Pembimbing Pertama atas segala saran dan dukungan yang berharga selama penyelesaian tugas akhir ini.

- ❖ **Bapak Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc** selaku Pembimbing Kedua yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
- ❖ **Tim Dosen Penguji : Dr.rer-nat Wira Bahari Nurdin, Drs. Bansawang BJ, M.Si, Dahlang, S.Si, M.Si, Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc** atas segala saran demi perbaikan tulisan ini.
- ❖ **Dra. Bidayatul Armynah, M.T** selaku penasehat akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulis menempuh pendidikan di universitas.
- ❖ **Ibu Ketua Jurusan Fisika FMIPA-UH, Dr. Sri Suryani, DEA** dan staf pengajar atas segala ilmu dan bimbingan yang diberikan kepada penulis.
- ❖ Seluruh staf Jurusan Fisika FMIPA UNHAS atas segala bantuan selama penulis menempuh pendidikan.
- ❖ Adik-adikku : *Alhamra, Altariq, Alrazi Alam, Alfajar, dan Alkhoiriah* atas dukungan, semangat dan perhatian yang selalu kalian berikan kepada penulis. Juga untuk segenap keluarga besar yang telah memberi dukungan dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan.
- ❖ Keluarga Tamalate : *Fate', Darmi, Iam, Inoe, dan Inna* atas bantuan dan kesabaran serta semangat yang selalu kalian tularkan kepada penulis.
- ❖ Semua teman Fisika Angkatan '00 : *baird, aries, amal, ancu, ayu, anti, ari, abe, anank, adin, aswad, acank, anto, cewink, cimmang, erbas, ewin, evie, egha, eci, fajar, fd, fate' fera, fais, haderah, hasbi, hendrik, inoe, ime, iam, ira, ika, jabal, lilin, lutfi, matto, maxi, muf, nia, nurul, nufus, nas, p-man, pia,*

ruth, ridho, ina, rahmi, saban, tomi, sugit, vivi, warda, wirda, widi, yani, yayu, yayat, zule, bom-bom, yuliadi.

- ❖ Keluarga ESI : *Nurul, Daf, Shafwan, Ati, Titin, Azizah, Wihdah, Rani, Anti,* dan *Yuli*, terima kasih untuk segala bantuan kalian. Juga untuk *K' Wara dan Multazani.*
- ❖ *Yusni, Tina, Trisna, K' Upi* untuk bantuan dan ketulusan kalian.
- ❖ Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu, atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan petunjuk dan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dan dicatat sebagai amal ibadah di sisi-Nya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu penulis dengan segala kerendahan hati menerima kritikan dan saran yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini bisa memenuhi harapan dan bermanfaat bagi kita semua. Amin Ya Rabbal Alamin.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xi |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Ruang Lingkup | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| II.1 Potensiometri | 3 |
| II.2 Elektroda Pembanding | 4 |
| II.3 Elektroda Indikator | 4 |
| II.4 Sifat Membran Selektif Ion | 6 |
| II.5 Prinsip Timbulnya Potensial | 7 |
| II.6 Karakteristik Elektroda Selektif Ion | 9 |
| II.7 Fosfat | 12 |
| II.8 Sulfit | 13 |

| | |
|--|----|
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN | 14 |
| III.1 Alat dan Bahan | 14 |
| III.2 Prosedur Kerja | 15 |
| III.3 Karakterisasi ESI Fosfat | 17 |
| III.4 Bagan Alir Penelitian | 19 |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 20 |
| IV.1 Komposisi Optimum Membran | 20 |
| IV.2 Faktor Nernst dan Trayek Pengukuran | 20 |
| IV.3 Limit Deteksi | 23 |
| IV.4 Waktu Tanggap | 24 |
| IV.5 Pengaruh pH | 25 |
| IV.6 Koefisien Selektivitas | 26 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | 29 |
| V.1 Kesimpulan | 29 |
| V.2 Saran | 29 |
| DAFTAR PUSTAKA | 31 |
| LAMPIRAN | 33 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 1. Faktor Nernst dan trayek pengukuran | 21 |
| 2. Waktu tanggap ESI fosfat untuk berbagai konsentrasi | 24 |
| 3. Faktor Nernst dengan variasi pH | 26 |
| 4. Nilai koefisien selektivitas ESI fosfat | 27 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 1. Antar muka elektroda-elektrolit | 8 |
| 2. Konstruksi ESI tipe kawat terlapis | 16 |
| 3. Kurva potensial elektroda terhadap $-\log [\text{H}_2\text{PO}_4^-]$ untuk penentuan faktor Nernst dan trayek pengukuran | 22 |
| 4. Penentuan limit deteksi | 23 |
| 5. Kurva pengukuran waktu tanggap pada konsentrasi 10^{-12} M – 10^{-1} M | 25 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|---|---------|
| 1. Data pengaruh pH terhadap faktor Nernst | 33 |
| 2. Contoh perhitungan koefisien selektifitas dengan metode larutan tercampur | 37 |
| 3. Koefisien selektifitas ESI fosfat terhadap ion sulfit (SO_3^{2-}) | 39 |
| 4. ESI fosfat tipe kawat terlapis dan perangkat pengukuran | 40 |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sensor sebagai piranti analitik berfungsi sebagai pengesan keberadaan dan kuantitas suatu bahan tertentu, dengan mengubah sinyal non listrik menjadi sinyal listrik. Sensor telah berkembang pesat lebih dari dua dekade^{1,2}.

Elektroda Selektif Ion (ESI) merupakan suatu sensor elektrokimia potensiometrik yang banyak digunakan karena memiliki selektivitas, sensitivitas, keakuratan dan ketepatan yang relatif cukup tinggi^{1,3}.

Fosfat merupakan salah satu parameter pendeteksian pencemaran air⁴. Sumber utama fosfat di sistem perairan adalah limbah pertanian dan perkotaan. Kadar fosfat yang tinggi di sistem perairan dapat menyebabkan kematian ikan – ikan dan masalah – masalah lain seperti ledakan alga beracun dan berkurangnya keanekaragaman hayati⁵.

Penentuan anion fosfat dalam suatu sampel dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu di antaranya metode elektrokimia yaitu menggunakan Elektroda Selektif Ion Fosfat.

1.2 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini dibuat elektroda kawat berlapis yang merupakan elektroda membran yang selektif terhadap ion fosfat. Elektroda dibuat dengan melapisi kawat platina dengan pasangan ionik aliquat H_2PO_4^- yang digabungkan dengan DOP sebagai *plastizer*, PVC sebagai pendukung membran, dan THF sebagai pelarut. Uji kualitas elektroda meliputi faktor Nernst dan trayek pengukuran, limit deteksi, waktu tanggap, pengaruh pH, dan koefisien selektivitas dengan metoda larutan tercampur.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Membuat ESI fosfat tipe kawat berlapis.
2. Menentukan faktor Nernst dan trayek pengukuran, limit deteksi, waktu tanggap, dan pengaruh pH.
3. Menghitung koefisien selektivitas elektroda kawat berlapis terhadap ion sulfid.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Potensiometri

Potensiometri merupakan salah satu cara pemeriksaan fisikokimia yang menggunakan peralatan listrik untuk mengukur potensial elektroda indikator. Besarnya potensial elektroda indikator ini bergantung pada kepekatan ion-ion tertentu dalam larutan⁶. Beberapa kelebihan dari metode potensiometri yaitu cepat, tidak terlalu mahal, mudah diautomasikan, dan tidak merusak sampel⁷.

Peralatan yang dibutuhkan untuk metoda ini terdiri atas: larutan elektrolit; alat ukur tegangan; dan elektroda yang menghubungkan larutan dengan alat ukur tegangan. Elektroda digolongkan atas elektroda kerja (indikator) dan elektroda pembanding⁸.

Suatu sel dalam mana reaksi kimia berlangsung spontan sambil membebaskan energi listrik disebut sel *galvani*. Daya gerak listrik (emf) diukur dengan satuan volt dan dirujuk sebagai potensial sel. Satu volt adalah emf yang diperlukan untuk memberikan satu joule (J) energi kepada muatan listrik sebesar satu coulomb (C)⁷:

$$V = 1 \text{ J/C} \dots\dots\dots (2.1)$$

II.2 Elektroda Pembanding

Di dalam beberapa penggunaan analisis elektrokimia, diperlukan suatu elektroda dengan harga potensial setengah sel yang diketahui, konstan dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang sedang diselidiki. Suatu elektroda yang memenuhi persyaratan di atas disebut elektroda pembanding (*reference electrode*)⁹.

Beberapa contoh elektroda pembanding adalah sebagai berikut :

1. Elektroda kalomel

Elektroda kalomel paling luas penggunaannya dalam pengukuran elektrokimia dan banyak tersedia di pasaran. Elektroda ini terdiri atas merkuri, merkuri klorida (kalomel), dan ion klorida. Jenis yang paling sering digunakan adalah elektroda kalomel yang dijenuhkan dengan KCl, yang harga potensialnya 0,2444 V pada suhu 25^o C.

2. Elektroda perak / perak klorida

Elektroda perak / perak klorida dibuat dengan melapisi kawat perak dengan perak klorida dan dicelup pada larutan klorida (biasanya KCl) yang diketahui konsentrasinya. Elektroda jenis ini mempunyai harga potensial 0,1989 V pada suhu 25^o C⁸.

II.3 Elektroda Indikator

Elektroda indikator merupakan elektroda yang harga potensialnya bergantung pada aktivitas ion yang akan ditetapkan⁷. Elektroda indikator dibagi menjadi dua

kategori, elektroda logam dan elektroda membran⁹.

1. Elektroda logam

Elektroda logam dapat dikelompokkan ke dalam elektroda jenis pertama (*first kind*), jenis kedua (*second kind*), jenis ketiga (*third kind*), dan elektroda redoks⁹.

a. Elektroda jenis pertama

Elektroda jenis pertama adalah elektroda yang langsung berkesetimbangan dengan kation yang berasal dari elektroda logam tersebut. Contoh elektroda ini adalah elektroda tembaga.

b. Elektroda jenis kedua

Elektroda jenis kedua adalah elektroda yang harga potensialnya bergantung pada konsentrasi suatu anion yang dengan ion yang berasal dari elektroda membentuk endapan atau ion kompleks yang stabil. Contoh elektroda jenis kedua adalah elektroda perak atau halida.

c. Elektroda jenis ketiga

Elektroda jenis ketiga adalah elektroda logam yang harga potensialnya bergantung pada konsentrasi ion logam lain. Contohnya elektroda Hg dapat dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi Ca^{2+} , Zn^{2+} , atau Cd^{2+} yang terdapat dalam larutan.

d. Elektroda redoks

Logam-logam mulia seperti platina, emas, dan palladium bertindak sebagai elektroda indikator pada reaksi redoks.

2. Elektroda membran

Elektroda membran seringkali disebut elektroda selektif ion karena elektroda ini memiliki selektivitas yang lebih besar terhadap ion tertentu dibandingkan ion lainnya. Elektroda membran juga dikenal sebagai elektroda pIon karena hasil pengukurannya dicatat sebagai suatu fungsi-p, seperti pH, pCa, atau pNO₃¹⁰.

Membran yang digunakan diklasifikasikan atas elektroda membran kristal dan elektroda membran non kristalin. Membran kristal terbagi menjadi kristal tunggal dan polikristalin atau kristal campuran. Contoh kristal tunggal adalah LiF₃ untuk F⁻, dan contoh polikristalin adalah Ag₂S untuk S²⁻ dan Ag⁺.

Membran non kristalin terbagi menjadi gelas, cairan, dan cairan polimer. Contoh membran gelas adalah gelas silikat untuk Na⁺ dan H⁺. Contoh membran cairan adalah cairan penukar ion untuk Ca²⁺ dan pembawa netral untuk K⁺. Contoh membran cair polimer adalah polyvinil chloride untuk Ca²⁺ dan NO⁻ ⁹.

II.4 Sifat Membran Selektif Ion

Semua membran selektif ion memiliki sifat yang umum yang tertuju kepada sensitivitas dan selektivitas elektroda membran terhadap kation dan anion tertentu¹⁰. Sifat-sifat tersebut di antaranya adalah sebagai berikut :

1. Kelarutan minimum

Sifat yang penting dari suatu medium selektif ion adalah kelarutannya dalam larutan analit mendekati nol.

2. Konduktivitas listrik

Suatu membran harus menunjukkan konduktivitas listrik, walaupun kecil. Secara keseluruhan, konduksi ini dalam bentuk migrasi dari ion bermuatan tunggal melalui membran.

3. Reaktivitas selektif dengan analit

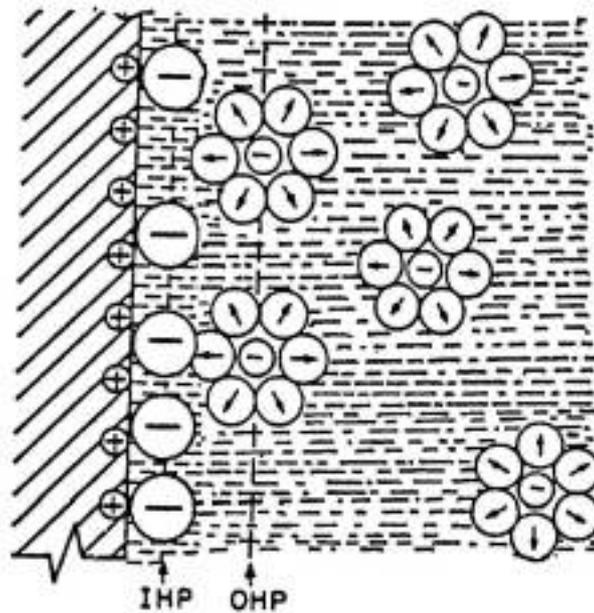
Suatu membran atau beberapa spesi yang terkandung dalam matriks membran harus bisa mengikat secara selektif ion analit. Tiga tipe dari pengikatan adalah penukar-ion, kristalisasi, dan kompleksasi. Pengikatan dengan tipe penukar-ion dan kristalisasi lebih umum terjadi.

11.5 Prinsip Timbulnya Potensial

Pada penelitian ini jenis elektroda selektif ion yang dibuat adalah elektroda kawat terlapis yang merupakan elektroda membran. Potensial timbul pada elektroda membran akibat selektivitas membran terhadap ion tertentu¹⁰.

Prinsip timbulnya potensial pada elektroda membran secara sederhana adalah sebagai berikut: ketika elektroda membran dimasukkan ke dalam larutan elektrolit, di sekitar permukaan elektroda yang bersentuhan dengan elektrolit akan terbentuk lapisan Helmholtz. Pada lapisan ini terdapat muatan yaitu ion-ion dari

elektrolit yang menempel pada permukaan elektroda yang bermuatan berlawanan⁴.



Gambar 1 : Antar muka elektroda-elektrolit

(Sumber : Joseph Wang, Analytical Electrochemistry, 2000)

Lapisan yang terdekat dengan permukaan elektroda disebut IHP (*inner Helmholtz plane*). Lapisan berikutnya disebut OHP (*outer Helmholtz plane*). IHP dan OHP merupakan lapisan kompak (*compact layer*). Lapisan selanjutnya (di luar lapisan kompak) disebut lapisan sebaran (*diffuse layer*)¹¹.

II.6 Karakteristik Elektroda Selektif Ion

Kualitas ESI ditentukan oleh besaran-besaran karakteristik yang meliputi faktor Nernst dan trayek pengukuran, limit deteksi, waktu tanggap, serta koefisien selektivitas. Besaran-besaran tersebut perlu ditentukan untuk setiap elektroda karena menentukan kelayakan suatu elektroda bermembran¹⁰.

1. Faktor Nernst

Faktor Nernst atau lereng suatu ESI dapat diperoleh dengan cara mengalurkan potensial E (mV) hasil pengukuran terhadap $-\log C$ (konsentrasi). Hubungan antara potensial elektroda yang terukur dengan keaktifan ion dalam larutan dinyatakan dengan persamaan Nernst sebagai berikut^{10,12}:

$$E = K - S \log a \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

K = tetapan

S = faktor Nernst yang setara dengan $\frac{2,303RT}{nF}$

a = aktifitas ion

2. Waktu tanggap

Waktu tanggap (*response time*) adalah waktu yang diperlukan suatu ESI untuk memberikan respon potensial yang konstan. Makin cepat elektroda memberi respon potensial yang konstan, makin baik elektroda tersebut. Waktu tanggap dipengaruhi oleh konsentrasi analit dan pengadukan yang berfungsi untuk mempercepat proses kesetimbangan¹².

3. Koefisien selektivitas

Tidak ada ESI yang hanya merespon ion utama yang ditentukan saja, namun dapat merespon ion-ion lain yang terdapat dalam cuplikan. Meskipun ESI telah dirancang sedemikian rupa sehingga diharapkan memberikan respon hanya pada ion yang ditentukan saja. Sifat permiselektif dari membran menyebabkan ESI akan merespon terhadap ion utama dan ion asing yang terdapat dalam larutan cuplikan^{10,12}.

Derajat selektivitas ESI terhadap ion utama i dengan ion pengganggu j dinyatakan dengan koefisien selektivitas. Hubungan antara potensial yang diukur dengan selektivitas elektroda diberikan oleh persamaan berikut^{10,12}:

$$E = E_0 \pm \frac{2,303RT}{z_i F} \log \left\{ a_i + \sum K_{ij} (a_j)^{z_i/z_j} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

a_i = keaktifan ion utama

a_j = keaktifan ion pengganggu

z_i = muatan ion utama

z_j = muatan ion asing

K_{ij} = koefisien selektivitas ion i terhadap ion j

Bila $a_i > K_{ij} (a_j)^{z_i/z_j}$ dan $K_{ij} = 0$, maka ion asing tersebut tidak mengganggu.

Jika elektroda sangat selektif terhadap i daripada ion j, maka $K_{ij} < 1$.

Sebaliknya jika elektroda sangat selektif terhadap ion j daripada ion i, maka

$K_{ij} > 1$. Harga K_{ij} tidak pernah konstan untuk aktivitas ion i dan j . Variasi harga K_{ij} tergantung pada respon elektroda dan lingkungan ion dalam larutan¹².

Dua cara yang dapat digunakan untuk menentukan harga koefisien selektivitas yaitu metoda larutan terpisah dan metoda larutan tercampur. Pada metode larutan terpisah, potensial elektroda diukur dalam larutan yang mengandung ion utama i tanpa adanya ion pengganggu j . Kemudian dalam larutan yang mengandung ion pengganggu j tanpa adanya ion utama i . Metode ini sederhana, tetapi kurang baik karena penentuan potensial E (mV) dilakukan pada kondisi berbeda. Karenanya harga K_{ij} yang diperoleh tidak mempunyai tingkat kedapatulangan yang baik (tidak reproduibel)^{10,12}.

Pada metode larutan tercampur, potensial elektroda diukur dalam larutan yang hanya mengandung ion utama, yaitu E_i , kemudian diukur dalam larutan yang mengandung ion utama serta ion pengganggu, yaitu E_j . pada masing-masing pengukuran diperoleh persamaan sebagai berikut^{10,12}:

$$E_i = E_0 + \frac{2,303RT}{z_i F} \log a_i \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$E_j = E_0 + \frac{2,303RT}{z_j F} \log \left\{ a_j + K_{ij} (a_i)^{z_j/z_i} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan mengurangkan persamaan (2.5) ke (2.4) diperoleh persamaan (2.6):

$$E_j - E_i = \frac{2,303RT}{z_j F} \log \left\{ \frac{a_j + K_{ij} (a_i)^{z_j/z_i}}{a_i} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan memasukkan harga R (tetapan gas ideal) = 8,314 joule / mol K, F (tetapan Faraday) = 96500 coulomb / ekuivalen, dan T = 298 K, maka diperoleh hubungan berikut :

$$K_{ij} = \frac{a_j (10^{\Delta E / -0,059} - 1)}{a_j^{z_j / z_i}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana : $\Delta E = E_j - E_i$

Persamaan ini memberikan hubungan antara aktivitas ion utama, ion pengganggu dan koefisien selektivitas sehingga dapat digunakan untuk menentukan koefisien selektivitas¹⁰.

II.7 Fosfat

Fosfat (PO_4^{3-}), bobot molekular 95; campuran dari fosfor (P)-berat atom 31. Fosfor ditemukan dalam banyak mineral yang umum seperti apatit, dalam wujud fosfat⁴.

Air biasanya mengandung fosfat anorganik terlarut. Fosfat yang terdapat di air sebagai HPO_4^{2-} , H_3PO_4 , dan H_2PO_4^- ^{4,13,14}. Fosfat yang larut, seperti Na_3PO_4 terhidrolisis dalam air membuat larutan yang bersifat basa sehingga merendahkan permukaan air dan terasa seperti sabun. Natrium fosfat digunakan sebagai zat tambahan dalam banyak sabun dan detergen. Akibat dari hal ini adalah meningkatnya pencemaran ion fosfat di danau-danau dan sungai-sungai. Fosfat dalam jumlah yang sangat besar digunakan dalam pupuk¹⁵.

Fosfat dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan ganggang di waduk. Bila kadar fosfat sangat rendah lebih kecil dari 0,001 mg/l, pertumbuhan tanaman dan ganggang akan terhalang, disebut oligotrop⁴. Bila kadar fosfat tinggi, tanaman air terpupuk berlebihan, pertumbuhannya tidak terbatas, sehingga dapat menghabiskan oksigen di dalam air waduk. Hal ini tidak memungkinkan bagi kehidupan binatang air^{4,15}. Konsentrasi limbah domestik fosfat berkisar antara 15 sampai dengan 30 mg/l (sekitar 5 sampai 10 mg/l P)⁴.

II.8 Sulfit

Sulfit (SO_3^{2-}), merupakan hasil utama dari SO_2 ¹⁶. Pembakaran bahan bakar minyak di antaranya menghasilkan sulfur dioksida yang kemudian melarut pada air hujan menjadi hidrosulfit dan sulfit. Pada industri makanan sulfit digunakan sebagai bahan tambahan pada anggur, bumbu makanan, jus buah, dan sayuran.

Sulfit pada air juga berasal dari buangan industri kertas, dimana pada industri ini sulfit digunakan untuk membuat selulosa sulfit. Air limbah sulfit berbahaya bagi lingkungan karena sebagai pereduksi sulfit sangat mempengaruhi konsentrasi oksigen pada air¹⁷.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Alat dan Bahan

III.1.1 Alat

- a. mV/pH meter Orion 720 A untuk mengukur potensial dan pH larutan.
- b. Elektroda kaca sebagai elektroda kerja untuk mengukur pH larutan.
- c. Elektroda perak / perak klorida (Ag/AgCl) sebagai elektroda pembanding.
- d. Neraca digital untuk menimbang bahan-bahan kimia.
- e. Pengaduk magnetik.
- f. Stopwatch untuk menentukan waktu tanggap ESI.
- g. Peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium.

III.1.2 Bahan

- a. Tip biru sebagai badan elektroda.
- b. Kawat platina untuk pembuatan elektroda pembanding dalam.
- c. Kawat tembaga sebagai konduktor.
- d. Kabel koaksial sebagai penghubung elektroda kerja dengan mV/pH meter Orion 720 A.
- e. KH_2PO_4 sebagai bahan pembuatan larutan induk.
- f. Aliquat 336 H_2PO_4^- untuk pembuatan membran.
- g. Polivinyll chloride (PVC) sebagai pengikat dalam pembuatan membran.

- h. Dioctyl phthalate (DOP) untuk meningkatkan kekuatan dan fleksibilitas membran.
- i. Tetrahydrofuran (THF) untuk melarutkan PVC pada pembuatan membran.
- j. Na_2SO_3 untuk pembuatan larutan asing SO_3^{2-} .
- k. HNO_3 dan NaOH untuk mengatur pH larutan.
- l. Aquades sebagai pelarut.

III.2 Prosedur Kerja

III.2.1 Pembuatan larutan

III.2.1.1 Larutan Induk

Larutan induk yang digunakan sebagai standar adalah larutan KH_2PO_4 dengan konsentrasi 0,1 M dan dilakukan pengenceran sampai konsentrasi 10^{-12} M untuk pengukuran tegangan tiap konsentrasi.

III.2.1.2 Larutan aliquat 336 fosfat

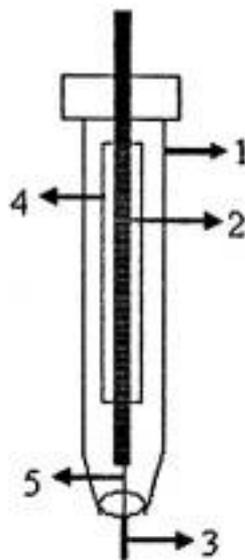
Sebanyak 15 ml aliquat 336 dimasukkan ke dalam corong pemisah. 10 ml larutan KH_2PO_4 1,5 M dimasukkan ke dalam corong pemisah, kemudian diekstraksi sampai terjadi pertukaran anion Cl^- dari gugus aliquat dengan H_2PO_4^- . Ekstraksi dilakukan hingga tercapai penukaran anion secara sempurna dan terbentuk aliquat H_2PO_4^- .

III.2.1.3 Larutan asing (SO_3^{2-})

Larutan yang digunakan dalam pembuatan larutan asing SO_3^{2-} adalah Na_2SO_3 dengan konsentrasi 10^{-1} M. Kemudian dilakukan pengenceran hingga konsentrasi 10^{-5} M.

III.2.2 Pembuatan elektroda

Badan elektroda dibuat dari tabung tip biru sepanjang 7 cm dan kawat platina sepanjang 2,5 cm dengan diameter 0,2 mm disambung dengan kawat Cu yang terdapat dalam tabung tip biru. Bagian bawah kawat Pt dibiarkan terbuka untuk tempat menempelnya membran. Konstruksi elektroda adalah sebagai berikut :



Keterangan :

1. Tabung tip biru
2. Kawat Cu
3. Membran
4. Polietilen
5. Kawat Platina

Gambar 2 : Bagan konstruksi ESI tipe kawat terlapis

Pembuatan membran dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Aliquat 336 H_2PO_4^- , DOP, dan PVC dilarutkan dalam THF sampai diperoleh larutan yang mempunyai viskositas tertentu untuk dibuat membran. Larutan membran diaduk sampai diperoleh larutan yang homogen.
- b. Kawat Pt dengan ujung bawah terbuka sepanjang 2 cm yang telah dibersihkan dicelup ke dalam larutan membran beberapa saat sampai diperoleh membran yang menempel pada kawat secara merata dan tipis.
- c. Elektroda diprekondisikan dengan merendamnya dalam larutan H_2PO_4^- 0,1 M selama 2 hari.

III.3 Karakterisasi ESI Fosfat

III.3.1 Faktor Nernst dan Trayek Pengukuran

Penentuan harga faktor Nernst dari suatu ESI dilakukan untuk mengetahui apakah suatu ESI mengikuti persamaan Nernst. Cara penentuannya adalah sebagai berikut

- a. Menyiapkan suatu seri larutan H_2PO_4^- dengan konsentrasi mulai dari 10^{-1} M sampai 10^{-12} M.
- b. Mengukur potensial sel dalam larutan ini berturut-turut dari larutan yang konsentrasinya paling encer ke larutan yang konsentrasinya lebih pekat.
- c. Pembacaan dilakukan pada saat mV meter menunjukkan potensial yang tetap.
- d. Dari hasil pengukuran yang diperoleh, dibuat grafik hubungan antara E (mV) terhadap $-\log$ aritma konsentrasi H_2PO_4^- .

- e. Pada selang konsentrasi tertentu diperoleh garis lurus dengan kemiringan sebesar $2,303RT/zF$ yang merupakan harga faktor Nernst teoritis. Kurva yang berupa garis lurus menunjukkan daerah trayek pengukuran dari ESI.

III.3.2 Limit Deteksi

Limit deteksi ditentukan dengan membuat garis singgung pada fungsi yang Nernstian dan non Nernstian. Titik potong kedua garis diekstrapolasikan ke sumbu x sehingga diperoleh konsentrasi limit deteksi.

III.3.3 Waktu Tanggap

Untuk mengetahui berapa waktu yang diperlukan oleh ESI sehingga diperoleh harga potensial yang tetap terhadap waktu. Makin cepat waktu yang diperlukan untuk mencapai harga potensial yang tetap menunjukkan semakin cepat kesetimbangan tercapai. Potensial sel dalam setiap larutan diukur pada saat ESI dicelupkan sampai potensialnya konstan adalah waktu tanggap dari ESI tersebut.

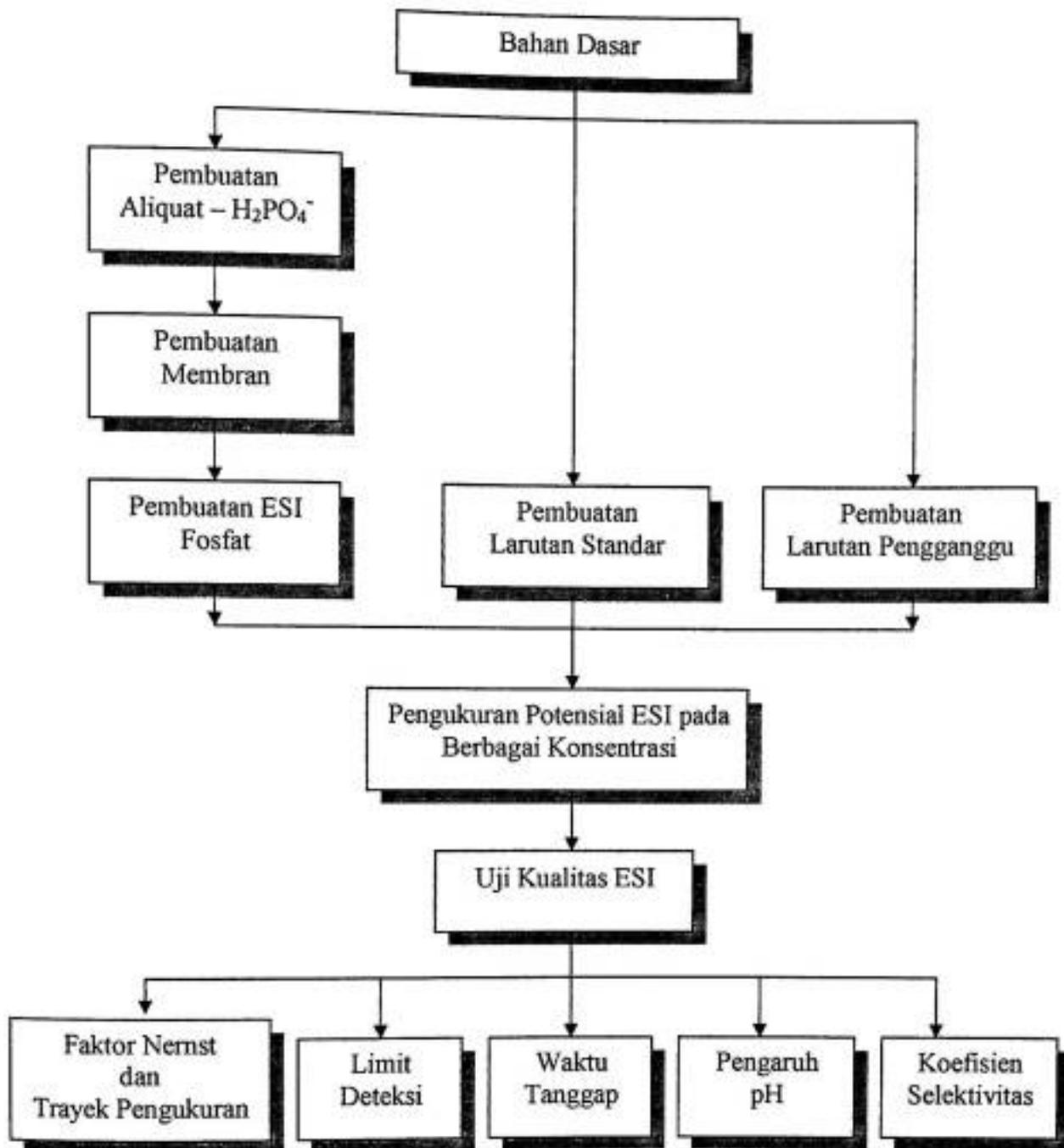
III.3.4 Pengaruh pH

Untuk mengetahui apakah pH larutan mempengaruhi ESI, maka dibuat suatu seri konsentrasi larutan dengan masing-masing konsentrasi dibuat pH 3, 4, 5, dan 6.

III.3.5 Koefisien Selektivitas

Untuk menentukan sejauh mana ion asing sulfid mengganggu pengukuran ion utama maka ditentukan koefisien selektivitas dengan metoda larutan tercampur.

III.4 Bagan Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Komposisi Optimum Membran

Penentuan komposisi optimum membran dimaksudkan untuk mencari komposisi membran yang terdiri dari bahan elektroaktif alquat 336-fosfat, PVC, dan THF yang menghasilkan elektroda dengan kinerja yang optimum. Penentuan komposisi optimum didasarkan pada kemiringan (*slope*) garis linear pada kurva antara potensial elektroda (E) dan $-\log$ konsentrasi fosfat. Diharapkan kemiringan kurva mendekati faktor Nernst teoritis, yaitu 59 mV/unit konsentrasi.

Komposisi membran yang digunakan terdiri dari 0,088 gr alquat-fosfat; 0,440 gr PVC; 0,725 gr DOP; 4 ml THF.

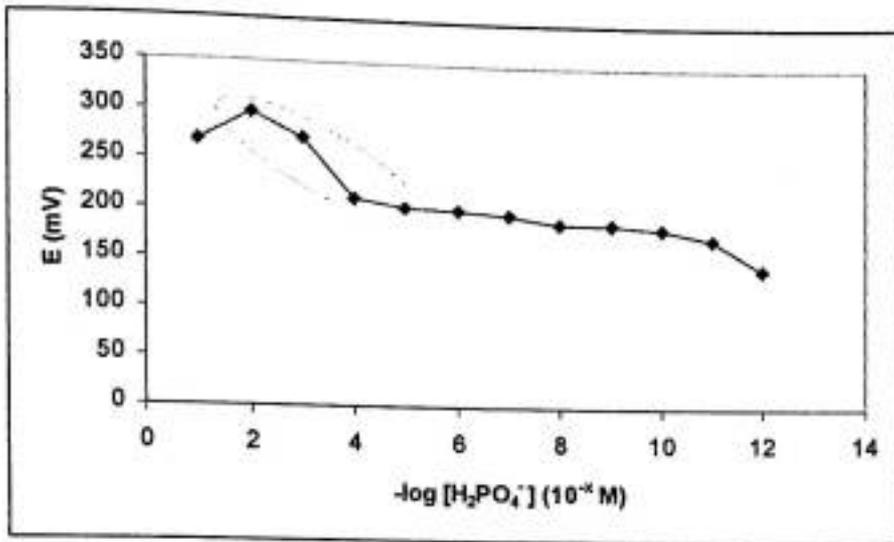
IV.2 Faktor Nernst dan Trayek Pengukuran

Hasil penelitian untuk mempelajari faktor Nernst dan trayek pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Gambar 3.

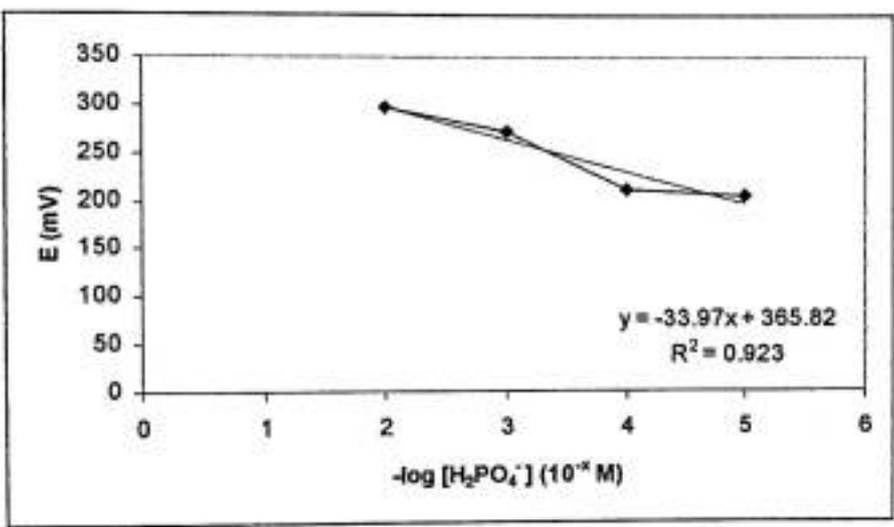
Tabel 1. Faktor Nernst dan trayek pengukuran

| $-\log [\text{H}_2\text{PO}_4]$ (10^{-x} Molar) | Potensial elektroda E (mV) |
|---|-------------------------------|
| 12 | 144,2 |
| 11 | 174,4 |
| 10 | 184,4 |
| 9 | 190,2 |
| 8 | 189,2 |
| 7 | 197,7 |
| 6 | 201,4 |
| 5 | 204,6 |
| 4 | 212,2 |
| 3 | 273,5 |
| 2 | 297,4 |
| 1 | 269,3 |
| <i>Slope</i> | 33,9 |
| R | -0,9607 |
| Trayek pengukuran | 10^{-5} M – 10^{-2} M |

Penentuan faktor Nernst dan trayek pengukuran diperoleh dengan cara mengalurkan potensial E (mV) terhadap $-\log [\text{Fosfat}]$. Grafik yang diperoleh merupakan garis lurus pada selang konsentrasi tertentu (trayek pengukuran) dengan kemiringan $2,303 RT/zF$ yang merupakan harga faktor Nernst. Trayek pengukuran dari ESI fosfat yang dibuat dapat dilihat dalam Gambar 3.



(i)



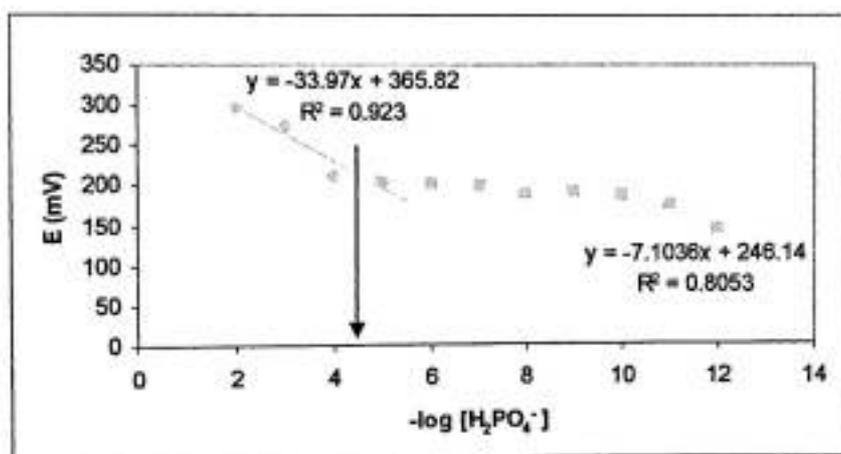
(ii)

Gambar 3. Kurva potensial elektroda terhadap $-\log [H_2PO_4^-]$ untuk penentuan faktor Nernst dan trayek pengukuran.

Dari Gambar 3 terlihat kurva menunjukkan garis lurus dengan kemiringan sebesar 33,9 mV/unit konsentrasi pada $10^{-5} \text{ M} - 10^{-2} \text{ M}$. Dengan demikian diketahui bahwa kisaran pengukuran ESI fosfat berada pada rentang $10^{-5} \text{ M} - 10^{-2} \text{ M}$.

IV.3 Limit Deteksi

Limit deteksi adalah konsentrasi terendah dari suatu analit yang dapat dideteksi oleh suatu prosedur analisis. Limit deteksi ESI fosfat diperoleh dengan membuat garis singgung pada fungsi kurva Nernstian dan non Nernstian yang saling memotong. Jika garis singgung tersebut diekstrapolasikan ke sumbu x akan diperoleh limit deteksi. Hasil penentuan limit deteksi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penentuan limit deteksi

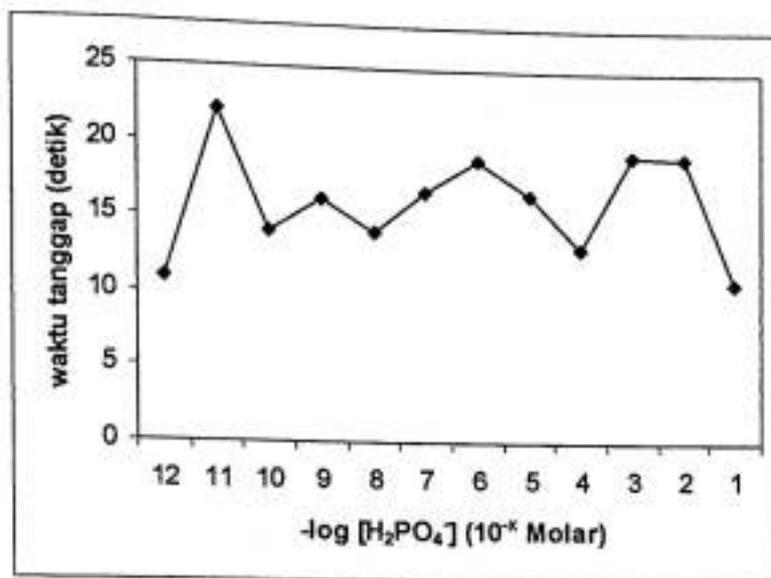
Setelah diekstrapolasikan sumbu x ($-\log [H_2PO_4^-]$) diperoleh limit deteksi 4,4 atau setara dengan $3,9 \times 10^{-5} \text{ M}$.

IV.4 Waktu Tanggap

Waktu tanggap adalah waktu yang diperlukan elektroda untuk mencapai potensial yang konstan akibat terjadinya kesetimbangan reaksi pada elektroda. Waktu tanggap dari elektroda yang dibuat ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 5.

Tabel 2. Waktu tanggap ESI fosfat untuk berbagai konsentrasi.

| Konsentrasi ion fosfat (Molar) | Waktu tanggap (detik) |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 10^{-12} | 10,88 |
| 10^{-11} | 22,12 |
| 10^{-10} | 14,12 |
| 10^{-9} | 16,21 |
| 10^{-8} | 14,11 |
| 10^{-7} | 16,81 |
| 10^{-6} | 18,97 |
| 10^{-5} | 16,72 |
| 10^{-4} | 13,07 |
| 10^{-3} | 19,36 |
| 10^{-2} | 19,25 |
| 10^{-1} | 10,83 |



Gambar 5. Kurva pengukuran waktu tanggap pada konsentrasi $10^{-12} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$

Dari Gambar 5 terlihat bahwa waktu tanggap dari elektroda ini dimulai dari 10 detik hingga 22 detik. Waktu tanggap dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya adanya ion pengganggu dalam larutan dan melarutnya bahan aktif ke dalam fasa air akan memperlambat waktu jawab. Pengadukan akan mempercepat waktu jawab, selain itu waktu jawab juga dipengaruhi oleh struktur ESI seperti komposisi membran, ketebalan membran, dan usia pemakaian elektroda.

IV.5 Pengaruh pH

Untuk mengetahui apakah respon ESI yang dibuat dipengaruhi oleh pH, maka potensial larutan diukur pada konsentrasi $10^{-12} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ dengan variasi pH 3, 4, 5, dan 6. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3. Data selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A.

Tabel 3. Faktor Nernst dengan variasi pH.

| pH | Faktor Nernst | Trayek Pengukuran | R |
|----|---------------|---|---------|
| 3 | 22,7 | $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ | -0,9905 |
| 4 | 40,9 | $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ | -0,9920 |
| 5 | 23,5 | $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ | -0,9534 |
| 6 | 34,7 | $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ | -0,9956 |

Dari Tabel 3 terlihat bahwa pH mempengaruhi respon ESI fosfat yang dibuat. Nilai faktor Nernst yang paling mendekati nilai faktor Nernst teoritis adalah pada pengukuran dengan pH 4. Pada pH 3, 5, dan 6 nilai faktor Nernst menyimpang cukup besar dari nilai faktor Nernst teoritis ESI fosfat. Kisaran konsentrasi pengukuran adalah pada $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$, karena pada daerah ini potensial E mengalami kenaikan secara linear sesuai dengan bertambahnya konsentrasi H_2PO_4^- .

Dari data ini dapat disimpulkan bahwa pengukuran dengan ESI fosfat sebaiknya dilakukan dilakukan pada pH 4 karena pada kondisi ini harga faktor Nernst ESI fosfat paling mendekati nilai faktor Nernst teoritis .

IV.6 Koefisien Selektivitas

Koefisien selektivitas ditentukan dengan menggunakan metode larutan tercampur, dimana potensial elektroda diukur pada larutan ion fosfat $10^{-4} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ kemudian ditambahkan larutan ion sulfidat $10^{-5} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ pada setiap konsentrasi larutan ion fosfat.

Hasil penentuan koefisien selektivitas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai koefisien selektivitas ESI fosfat.

| [Ion Utama] (Molar) | [Ion Pengganggu] (Molar) | K_{ij} |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 10^{-4} | 10^{-5} | -0,03015 |
| | 10^{-4} | $-9,77290 \cdot 10^{-3}$ |
| | 10^{-3} | $-3,10505 \cdot 10^{-3}$ |
| | 10^{-2} | $-9,79207 \cdot 10^{-4}$ |
| | 10^{-1} | $-3,13543 \cdot 10^{-4}$ |
| 10^{-3} | 10^{-5} | -0,31124 |
| | 10^{-4} | -0,09986 |
| | 10^{-3} | -0,03140 |
| | 10^{-2} | $-9,88655 \cdot 10^{-3}$ |
| | 10^{-1} | $-3,12182 \cdot 10^{-3}$ |
| 10^{-2} | 10^{-5} | -3,10246 |
| | 10^{-4} | -0,96725 |
| | 10^{-3} | -0,31514 |
| | 10^{-2} | -0,09930 |
| | 10^{-1} | -0,02513 |
| 10^{-1} | 10^{-5} | -28,21163 |
| | 10^{-4} | 6,15102 |
| | 10^{-3} | 1,14497 |
| | 10^{-2} | 0,72028 |
| | 10^{-1} | 6,42543 |

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh (Tabel 4) dapat dilihat bahwa penambahan ion asing sulfat 10^{-5} M dan 10^{-2} M terhadap larutan ion fosfat 10^{-4} M – 10^{-1} M diperoleh nilai koefisien selektivitas yang lebih kecil dari 1 ($K_{ij} < 1$). Penambahan ion asing SO_3^{2-} 10^{-4} M, 10^{-3} M, dan 10^{-1} M pada larutan ion fosfat

10^{-4} M – 10^{-2} M juga diperoleh nilai koefisien selektivitas yang lebih kecil dari 1 ($K_{ij} < 1$).

Dari hasil ini diketahui bahwa adanya SO_3^{2-} pada konsentrasi 10^{-5} M dan 10^{-2} M tidak mengganggu penentuan fosfat dengan ESI. Ion asing SO_3^{2-} 10^{-4} M, 10^{-3} M, dan 10^{-1} M tidak mengganggu kinerja ESI pada konsentrasi ion utama 10^{-4} M – 10^{-2} M.

Adanya ion asing SO_3^{2-} dengan konsentrasi 10^{-4} M, 10^{-3} M, dan 10^{-1} M mengganggu kinerja ESI pada konsentrasi ion utama 10^{-1} M. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien selektivitas yang lebih besar dari 1 ($K_{ij} > 1$).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini telah dibuat elektroda selektif ion fosfat tipe kawat terlapis dengan menggunakan bahan aktif aliquat 336-fosfat, PVC, DOP, dan THF.
2. a. ESI fosfat yang dibuat dalam penelitian ini cukup sensitif untuk mendeteksi ion fosfat dengan faktor Nernst sebesar 40,9 mV/dekade dan trayek pengukuran 10^{-4} M – 10^{-1} M.
b. Limit deteksi ESI fosfat adalah $3,9 \times 10^{-5}$ M.
c. Waktu tanggap ESI fosfat berkisar antara 10 – 22 detik.
d. Elektroda selektif ion fosfat bekerja dengan baik pada pH 4. Elektroda ini tidak bekerja optimum pada pH 3, pH 5, dan pH 6.
3. Ion sulfit pada konsentrasi 10^{-5} M dan 10^{-2} M tidak mengganggu kinerja elektroda. Ion sulfit dengan konsentrasi 10^{-4} M, 10^{-3} M, dan 10^{-1} M tidak mengganggu kinerja ESI pada konsentrasi ion utama 10^{-4} M – 10^{-2} M akan tetapi mengganggu penentuan ion utama fosfat pada konsentrasi 10^{-1} M.

V.2 Saran

1. Di dalam usaha untuk memperoleh ESI dengan kinerja yang lebih baik maka perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan *ionofor* yang lain.
2. Untuk memperoleh kinerja ESI yang baik diperlukan pertukaran anion yang sempurna antara aliquat 336 dengan KH_2PO_4 .

3. Berbagai pengaruh ion-ion pengganggu lain terhadap kinerja ESI fosfat perlu diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wahab AW, Buchari, Upe A, Jalaluddin MN. Pengaruh komposisi membran berpendukung PVC terhadap kinerja Elektroda Selektif Ion (ESI)-Hg(II) menggunakan ionofor DBA₂18C6. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin; 2005. [http://www.ps.ui.ac.id/seminar2005/Data/J2C-06/24-26 November 2005](http://www.ps.ui.ac.id/seminar2005/Data/J2C-06/24-26%20November%202005). Diakses 13 Januari 2007.
2. Manting H. Karakterisasi koefisien selektif elektroda kawat terlapis (EKT) terhadap ion asing nitrat dan nitrit. Skripsi Fisika: Universitas Hasanuddin; 2006.
3. Ediologito W. Pengaruh pH terhadap kinerja elektroda selektif ion H₂PO₄⁻ menggunakan membran berpendukung PVC dengan aliat 336. FMIPA Universitas Hasanuddin; 2005. [http://www.ps.ui.ac.id/seminar2005/Data/J2C-07/24-26 November 2005](http://www.ps.ui.ac.id/seminar2005/Data/J2C-07/24-26%20November%202005). Diakses 13 Januari 2007.
4. Multazani . Pembuatan sensor potensiometrik "Elektroda Kawat Terlapis (EKT)" untuk deteksi H₂PO₄⁻ di Waduk Bili-Bili. Skripsi Fisika: Universitas Hasanuddin; 2005.
5. McLaughlin K, Kendall C, Silva SR, Young M, Paytan A. Phosphate oxygen isotopes ratios as a tracer for sources and cycling of phosphate in North San Fransisco Bay, California. *Journal of Geophysical Research* 2006;111. http://pangea.stanford.edu/research/paytanlab/projects/paper_PDF/2006_Articles/McLaughlin_Kendall_Silva_Young_Paytan_GeophysRes_111_2006_PO4isotopesSFBay.pdf. Diakses 6 November 2006.
6. Rivai H. Azas Pemeriksaan Kimia. Jakarta: UI-Press; 1995.
7. Day RA, Underwood AL. Analisis Kimia Kuantitatif. Edisi kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga; 1992.
8. Bauer HH, Christian GD, O'Reilly J. Instrumental Analysis. Boston/Massachusetts: Allyn and Bacon Inc.; 1978.
9. Hendayana S, Kadarohman A, Sumarna AA, Supriatna A. Kimia Analitik Instrumen. Semarang: IKIP Semarang Press; 1994.
10. Artha L. Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Benzoat Tipe Kawat Terlapis. Skripsi Kimia: ITB; 2001.

11. Wang J, *Analytical Electrochemistry*, Second Edition. 2000. <http://202.117.147.198/an/hxzy/ae/chapter1.pdf>. Diakses 6 November 2006.
12. Rahmat M. Pembuatan dan studi Kinerja Elektroda Selektif ion kobal (II) dengan bahan aktif DI (2-Ethylhexyl) phosphoric acid (D2EHPA). Tesis Magister Kimia: ITB; 2002.
13. Sugiharto. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: UI-Press; 1987.
14. Sastrawijaya AT. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta; 1991.
15. Keenan CW, Kleinfelter DC, Wood JH. *Ilmu Kimia untuk Universitas Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga; 1993.
16. Dursun S, Boddy L, Frankland JC, Ineson P. Oxidation rate of sulphite on decomposing leaf litter. *Journal of Engineering and environmental science* 1998;22. <http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-98-22-5/muh-22-5-1-96056.pdf>. Diakses 6 November 2006.
17. Kuratli M, Badertscher M, Rusterholz B, Simon W. Bisulfite addition reaction as the basis for a hydrogensulfite bulk optode. *Anal Chem* 1993;65. http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/ancham/1993/65/i23/f.pdf/f_ac00071a023.pdf?sessid=1603. Diakses 6 November 2006.