

## THE EFFECT OF PVC-BASED MEMBRANE COMPOSITION AND Zn(II), Cd(II) AND Pb(II) INTERFERING IONS TO Hg(II) ION SELECTIVE ELECTRODE (ISE) PERFORMANCE BY USING DBA<sub>2</sub>18C6 IONOPHORE

### *Pengaruh Komposisi Membran Berbasis PVC dan Ion Pengganggu Zn(II), Cd(II) dan Pb(II) Terhadap Kinerja Elektroda Selektif Ion (ESI)-Hg(II) Menggunakan Ionofor DBA<sub>2</sub>18C6*

Abd. Wahid Wahab \*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,  
Hasanuddin University, Makassar

Received 9 February 2006; Accepted 23 February 2006

#### ABSTRACT

The effect of PVC (Polyvinylchloride)-Based Membrane Composition to Ion Selective Electrode (ISE)-Hg(II) Performance using Ionophore DBA<sub>2</sub>18C6 (N,N'-Dibenzyl-1,4,10,13-tetraoxa-7,16-diazacyclo octadecane), Plasticizer NPOE (Nitrophenyl Octhyl Ether), Anionic Site KTCPB (Potassium Tetrakis (4-chloro phenyl) borate) have been performed. Membrane compositions used were:(a) PVC (30 mg), NPOE (60 mg), DBA<sub>2</sub>18C6(6 mg) and KTCPB (4 mg); (b) PVC(30 mg), NPOE (60 mg), DBA<sub>2</sub>18C6(7 mg) and KTCPB (3 mg); (c) PVC (30 mg), NPOE (59 mg), DBA<sub>2</sub>18C6 (8 mg) and KTCPB ( 3 mg). The concentration range of interference ions Zn(II), Cd(II) and Pb(II) were  $1.0 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-1}$  M. ISE-Hg(II) performance for membrane composition of 30 : 60 : 6 : 4 was 26.34 mV per decade (Nernstian Slope value) on Hg(II) concentration range of  $1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-1}$  M , membrane composition of 30 : 60 : 7 : 3 was 27.71 mV per decade on Hg(II) concentration range of  $1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-1}$  M, and membrane composition of 30 : 59 : 8 : 3 was 28.52 mV per decade on Hg(II) concentration range of  $1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-1}$  M with activity between pH 1.0-3.0. The concentration of interference ions : Zn(II), Cd(II) and Pb(II) in the range of  $1.0 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-1}$  M with the ratio of the primary ion to interference ions of 4 : 1 gave real effect. As results, selectivities and sensitivities between ISE-Hg(II) and Ionophore DBA<sub>2</sub>18C6 could be determined by PVC-Based Membrane Composition and the effect of Zn(II), Cd(II) and Pb(II) interference ions was observed in the concentration of  $1.0 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-1}$  M.

**Keywords:** membrane composition effect, ionophore DBA<sub>2</sub>18C6, ISE-Hg(II)

#### PENDAHULUAN

Sensor sebagai piranti analitik berfungsi sebagai pengesan keberadaan dan kuantitas suatu bahan tertentu, telah berkembang pesat lebih dari dua dekade [1]. Elektroda Selektif Ion (ESI) merupakan suatu sensor elektrokimia potensiometrik yang banyak digunakan karena memiliki selektivitas, sensitivitas, keakuratan dan ketepatan yang relatif tinggi serta batas deteksinya cukup rendah [2]. Perkembangan ESI yang menggunakan membran termasuk cukup pesat karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya. Elektroda selektif ion terdiri atas membran yang memberikan respon secara selektif terhadap spesi ion tertentu dan bagian luarnya mengadakan kontak dengan ion yang akan ditentukan. Membran yang digunakan berupa polimer dan suatu zat aktif yang bersifat sebagai pengekstraksi melalui mekanisme khelat atau pertukaran ion. Jika membran cair itu memisahkan dua larutan, selektifitas ion tercapai dengan ekstraksi selektif ion tertentu melalui fasa membran dan juga melalui perbedaan mobilitas ion dalam membran [3,4].

Pada saat ini telah dikembangkan penelitian sensor elektrokimia untuk logam berat seperti ESI-Cd(II) dengan ionofor 3-metil-1-(4-nitrofenil)-4-(4-oktilbenzoi)pirazol-5-on dan kisaran konsentrasi pengukuran Cd(II) :  $10^{-5}$ -1,0 M dengan slope Nernstian 32 mv/dekade [5]. Kemudian ESI-Cd(II) dengan ionofor tetra aza sikloheksadekana diperoleh kisaran konsentrasi Cd(II)  $1,6 \times 10^{-6} - 10^{-1}$  M dengan slope Nernstian 29,5 mv/dekade [6]. ESI-Co(II) dengan ionofor D2EHPA diperoleh kisaran konsentrasi Co(II)  $10^{-4}$ - $10^{-1}$ M dengan slope Nernstian  $28,6 \pm 1,1$  mv/dekade [7]. ESI-Hg(II) dengan ionofor HT18C6TO (4,7,10,13, 16-heksathiosiklo oktadekana-2,3,11,12-tetraona) diperoleh kisaran konsentrasi pengukuran antara :  $1,0 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-6}$  M dengan slope Nernstian 29,0 mv/dekade [8]. Penggunaan biosensor serat optik berbasis immobilisasi enzim untuk pemantauan Hg(II) mempunyai respons linear  $1.0 \times 10^{-9} - 10^{-5}$  M [9].

Khusus dengan ionofor DBA<sub>2</sub>18C6 ( N,N'-dibenzil-1,4,10,13-tetra oksa-7,16-diazasikloheksadekana) untuk ESI-Hg(II) menggunakan metode potensiometrik dengan melihat pengaruh komposisi membran berbasis PVC dengan ion pengganggu

\* Email address : kimiauh@indosat.net.id (A.W. Wahab)

Zn(II), Cd(II) dan Pb(II) belum dipublikasikan, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan mendesain ESI-Hg(II) tipe kawat terlapis. Hasil desain ESI-Hg(II) diharapkan dapat diaplikasikan untuk analisis logam berat Hg(II) dalam air, sedimen maupun biota laut mengingat akhir-akhir ini semakin marak pemberitaan pencemaran lingkungan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Semua reagen dan zat kimia yang digunakan merupakan kelas analitik.  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  digunakan sebagai garam untuk mempelajari kinerja sensor membran ESI-Hg(II).  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  digunakan sebagai garam untuk mempelajari ion-ion pengganggu. Massa molekul PVC yang tinggi diperoleh dari Aldrich (USA), Kalium tetrakis(4-klorofenil)borat dari Fluka,  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (N,N'-dibenzil-1,4,10,13-tetraoksa-7,16-diazasiklooktadekana) dari Fluka, NPOE (Nitrophenyl octyl ether) dari Fluka, dan THF (Tetrahydro-furan) dari Merck.

### Alat

Potensiometer/ pH-meter merk ORION 710A.

### Prosedur Kerja

#### Prosedur Pembuatan Elektroda Kawat Terlapis

Kawat tembaga terlapis dengan plastik ukuran panjang 5 cm, diameter 1,5 mm disambungkan kawat Pt ukuran panjang 2,5 cm, diameter 0,4 mm dengan cara pateri menggunakan kawat timah. Tip Biru ukuran 1 mL digunakan untuk badan elektroda.

Membran dipersiapkan dengan 3 macam komposisi yaitu : melarutkan (a) PVC (30 mg), NPOE (60 mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (6 mg), dan KTCPB (4 mg), (b) PVC(30 mg), NPOE(60 mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (7 mg) dan KTCPB (3 mg) dan (c) PVC(30 mg), NPOE(59 mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$ (8 mg) dan KTCPB(3 mg). dengan pelarut THF (5-10 ml). Larutan homogen membran yang dihasilkan dicelupkan Elektroda Kawat Platina ke dalamnya hingga merata. Masing-masing EKT yang telah dibuat direndam ke dalam larutan  $\text{Hg}(\text{II})$   $1,0 \times 10^{-1}$  M selama 3 x 24 jam.

#### Pengukuran Potensial (E,mv).

Pengukuran potensial dikerjakan pada suhu 25 – 28 °C. Membran disetimbangkan selama 2 – 3 hari dalam larutan  $\text{Hg}(\text{II})$  0,1 M. Potensial Hg(II) diukur

dengan potensiometer menggunakan membran berbasis PVC yang berhubungan dengan elektroda Ag/AgCl sebagai referensi. Potensial diukur dengan berbagai konsentrasi dari larutan uji pada kisaran  $1,0 \times 10^{-7}$  –  $1,0 \times 10^{-1}$  M dengan penambahan ion pengganggu sebanyak 20% (4:1).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

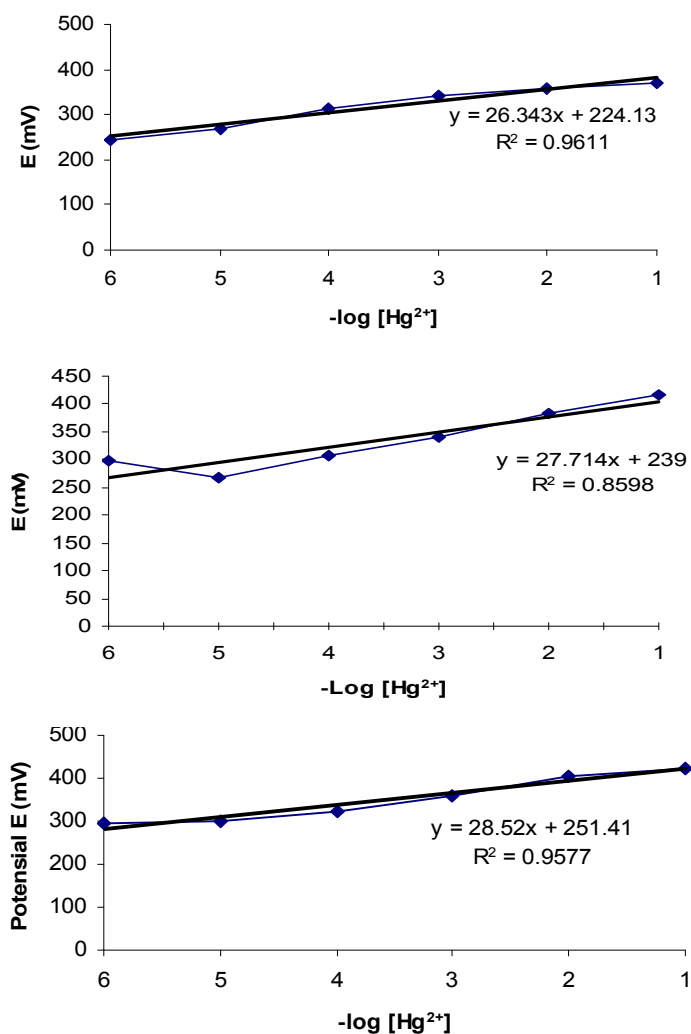
Elektroda selektif ion Hg(II) dengan performa terbaik, berdasarkan membran ligan makrosiklik yang digunakan telah diteliti sebagai pendahuluan untuk karakterisasi berbagai parameter. Digunakan 3 macam komposisi membran makrosiklik  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (N,N'-dibenzil-1,4,10,13-tetraoksa-7,16-diazasiklooktadekana) berbasis PVC (Polivinil klorida), pemplastis NPOE (Nitrofenil oktil eter), *anionic site* KTCPB (Kalium Tetrakis (4-klorofenil) borat) dengan perbandingan berat (mg) disusun sebagaimana terlihat dalam Tabel 1.

Hasil optimum nilai slope (mg) / dekade pada komposisi membran di atas dengan merujuk prosedur Fakhari [8] dan Nurdin [5] dan beberapa penelitian sebelumnya, sehingga dapat menghasilkan membran yang menunjukkan hasil yang memuaskan berkenaan dengan kisaran konsentrasi yang dikerjakan, slope dan waktu respon. Ditemukan bahwa selektivitas dan sensitivitas ESI-Hg(II) ada ketergantungan komposisi membran yang digunakan. Komposisi membran optimal dengan perbandingan PVC (30 mg), NPOE (59 mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (8 mg) dan KTCPB (3 mg) kenyataannya hasil yang diperoleh sedikit dibawah nilai teoritis (28,37 mv/dekade) seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Kelinearan diperoleh pada kisaran konsentrasi  $1,0 \times 10^{-6}$  –  $1,0 \times 10^{-1}$  M dengan slope Nerstian 28,37.

Kenyataan bahwa pengaruh perbandingan komposisi membran terhadap faktor Nernst sangat jelas karena dengan sedikit saja komposisi material bahan membran diubah akan diperoleh nilai slope Nerstian yang berbeda. Dari ketiga macam komposisi membran yang diteliti ternyata komposisi yang paling mendekati nilai teoritis adalah komposisi membran 3 : PVC (30 mg), NPOE (59mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$ (8 mg) dan KTCPB (3 mg). Faktor lain yang dapat mempengaruhi sensitivitas adalah nilai koefisien selektivitas ( $K_{i,j}$ ) > 1, hal ini dapat diamati pada 3 macam ion pengganggu : Zn(II), Cd(II) dan Pb(II).

**Tabel 1.** Perbandingan berat (mg) komposisi membran terhadap nilai slope/dekade ESI-Hg(II)

| Membran | PVC (mg) | NPOE(mg) | $\text{DBA}_218\text{C6}$ (mg) | KTCPB(mg) | Slope/dekade |
|---------|----------|----------|--------------------------------|-----------|--------------|
| 1       | 30       | 60       | 6                              | 4         | 26,34        |
| 2       | 30       | 60       | 7                              | 3         | 27.71        |
| 3       | 30       | 59       | 8                              | 3         | 28,37        |



**Gambar 3** Kurva hubungan potensial E(mV) vs  $-\log$  Hg(II) untuk (a) membran 1, (b) membran 2 dan (c) membran 3

Kenyataan bahwa pengaruh perbandingan komposisi membran terhadap faktor Nernst sangat jelas karena dengan sedikit saja komposisi material bahan membran diubah akan Diperoleh pada perbandingan ion utama dan ion pengganggu 4: 1 dapat mengganggu pada kisaran konsentrasi  $1.0 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-1}$  M (Lampiran 1, 2 dan 3) dengan menggunakan persamaan Nicolsky-Eisenman :

$$K_{i,j} = \frac{a_i \left( 10^{\frac{E_2 - E_1}{S}} \right) - 1}{a_j}$$

Dimana :

$K_{i,j}$  = Koefisien selektivitas

$a_i$  = Konsentrasi ion utama ( $\text{Hg}^{2+}$ )

$a_j$  = Konsentrasi ion pengganggu ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , dan  $\text{Pb}^{2+}$ )

E = Potensial sel (mV)

S = Slope

**Tabel 2** Waktu respon elektroda  $\text{Hg}^{2+}$

| Percobaan | Konsentrasi $\text{Hg}^{2+}$ (M) | Waktu respon (detik) |
|-----------|----------------------------------|----------------------|
| 1         | $1 \times 10^{-7}$               | 20                   |
| 2         | $1 \times 10^{-6}$               | 26                   |
| 3         | $1 \times 10^{-5}$               | 30                   |
| 4         | $1 \times 10^{-4}$               | 25                   |
| 5         | $1 \times 10^{-3}$               | 23                   |
| 6         | $1 \times 10^{-2}$               | 15                   |
| 7         | $1 \times 10^{-1}$               | 17                   |

Faktor lain yang mempengaruhi kinerja ESI-Hg(II) adalah ketebalan membran, diameter kawat, panjang kawat yang kontak dengan membran dan waktu respon.

Makin cepat elektroda memberi respon potensial yang konstan, makin baik elektroda tersebut, dalam penelitian ini waktu respon kisaran 15-30 detik.

Keuntungan yang diperoleh karena interferensi matriks yang rendah, analisis cepat membuat sensor potensiometrik menjadi pilihan yang ideal untuk pengukuran klinik, industri dan lingkungan [10,11,12].

## KESIMPULAN

Desain ESI : Hg(II) tipe Elektroda Kawat Terlapis dengan membran berbasis PVC dan ionofor  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (N,N'-dibenzil-1,4,10,13- tetraoksa-7,16 - diaza siklootaddekana ), pemplastis NPOE, *anionic site* (KTCPB) cukup selektif dan sensitif untuk analisis ion logam Hg(II). Komposisi membran optimum diperoleh pada perbandingan berat : PVC( 30 mg), NPOE(59 mg),  $\text{DBA}_218\text{C6}$  (8 mg) dan KTCPB (3 mg).

Gangguan ion  $\text{Zn(II)}$ ,  $\text{Cd(II)}$  dan  $\text{Pb(II)}$  berpengaruh pada konsentrasi  $1,0 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-1}$  M pada perbandingan ion utama dan ion pengganggu 4 : 1.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Janata, J., Josowiwicz., V. and De Vaney, D.M., 1998, *Anal. Chem.* 70, 179R-208R.
2. Atikah, 1994. *Pembuatan dan Karakterisasi ESI Nitrat Tipe Kawat Terlapis*. Tesis Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
3. Lakshminarayanaiah, N., 1976, *Membrane Electrodes*. Academic Press, New York.
4. Bailey, P.L., 1976, *Analysis with Ion Selective Electrodes*. Heyden & Son Ltd, London
5. Nurdin, E., 2002, *Studi Kinerja ESI Kadmium dengan Ionofor Ligan 3-Metil-1-(4-Nitrofenil)-4-(4-Oktilbenzoiil) Pirazol-5-on*. Disertasi, FMIPA- Universitas Padjajaran, Bandung.
6. Singh, A.K., Saxena, P., and Singh, R., 2005, *Anal. Sciences*, 21.179-181.

7. Rahmat, M., 2002, *Pembuatan dan Studi Kinerja Elektroda Selektif Ion Kobal(II) dengan Bahan Aktif Di(2-Ethylhexyl) Phosphoric Acid (D2EHPA)*. Program Studi Kimia, Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung.
8. Fakhari, A.R., Ganjali, M.R., and Shamsipur, M., 1997, *J. Anal. Chem.*, 69, 3693 – 3696.
9. Kuswandi, B., 2003, *Jurnal Ilmu Dasar*, 4, 2, 88-98.
10. Gennet, T., and Purdy, W.C, 1991, *Am. Lab.* 23(6) 60.
11. Wang, J., Tian, B., Rogers, K.R., 1998, *Anal. Chem.* 70.1682
12. Janata, J. 2001, *Anal. Chem.*, 73. 150A.

**Lampiran 1** Koefisien selektivitas  $Hg^{2+}$  dengan ion pengganggu  $Zn^{2+}$

| $[Hg^{2+}]$        | $[Zn^{2+}]$        | $E_{rata-rata}$<br>(mV) | dE<br>(mV) | $a_i$                | $a_j$              | dE/s    | $K_{ij}$              |
|--------------------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| $1 \times 10^{-6}$ | 0                  | 295,6                   | 0,0        | $1 \times 10^{-6}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 329,0                   | 33,4       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 1,1711  | $1,4 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 322,6                   | 27         | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 0,9467  | $7,8 \times 10^{-4}$  |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 331,8                   | 36,2       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 1,2692  | $1,7 \times 10^{-4}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | 0                  | 298,3                   | 0,0        | $1 \times 10^{-5}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 330,5                   | 32,2       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 1,1290  | $1,2 \times 10^{-1}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 329,7                   | 31,4       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 1,1009  | $1,2 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 325,9                   | 27,6       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,9677  | $8,3 \times 10^{-4}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | 0                  | 324,5                   | 0,0        | $1 \times 10^{-4}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 331,5                   | 7,0        | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 0,2454  | $7,6 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 330,6                   | 6,1        | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 0,2138  | $6,4 \times 10^{-3}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 331,1                   | 6,6        | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,2314  | $7,0 \times 10^{-4}$  |
| $1 \times 10^{-3}$ | 0                  | 360,5                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-4}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 350,3                   | -10,2      | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | -0,3576 | $-5,5 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 346,3                   | -14,2      | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | -0,4978 | $-6,8 \times 10^{-2}$ |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 323,4                   | -37,1      | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -1,3008 | $-9,4 \times 10^{-3}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | 0                  | 403,7                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-3}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 389,2                   | -14,5      | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | -0,5084 | $-6,8 \times 10^0$    |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 383,3                   | -20,4      | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | -0,7152 | $-7,9 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 372,4                   | -31,3      | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -1,0974 | $-9,1 \times 10^{-2}$ |
| $1 \times 10^{-1}$ | 0                  | 424,8                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-2}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 426,4                   | 1,6        | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 0,0561  | $1,4 \times 10^1$     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 426,3                   | 1,5        | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 0,0525  | $1,3 \times 10^0$     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 416,2                   | -8,2       | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,2875 | $-4,8 \times 10^{-1}$ |

Lampiran 2 Koefisien selektivitas  $Hg^{2+}$  dengan ion pengganggu  $Cd^{2+}$ 

| $[Hg^{2+}]$        | $[Cd^{2+}]$        | $E_{rata-rata}$<br>(mV) | dE<br>(mV) | $a_i$                | $a_j$              | dE/s    | $K_{ij}$              |
|--------------------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| $1 \times 10^{-6}$ | 0                  | 295,6                   | 0,0        | $1 \times 10^{-6}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 318,6                   | 23         | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 0,8064  | $5,4 \times 10^{-3}$  |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 363,7                   | 68,1       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 2,3877  | $2,4 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 316,2                   | 20,6       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,7223  | $4,2 \times 10^{-5}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | 0                  | 298,2                   | 0,0        | $1 \times 10^{-5}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 314,8                   | 16,5       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 0,5785  | $2,7 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 362,2                   | 63,9       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 2,2405  | $1,7 \times 10^{-1}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 321,3                   | 23,0       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,8064  | $5,4 \times 10^{-4}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | 0                  | 324,5                   | 0,0        | $1 \times 10^{-4}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 330,0                   | 5,5        | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-3}$ | 0,1928  | $5,5 \times 10^{-2}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 367,5                   | 43         | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-2}$ | 1,5077  | $3,1 \times 10^{-1}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 337,3                   | 12,8       | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,4488  | $1,8 \times 10^{-3}$  |
| $1 \times 10^{-3}$ | 0                  | 360,5                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-4}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 354,3                   | -6,2       | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | -0,2173 | $-3,8 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 381,5                   | 21         | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 0,7363  | $4,4 \times 10^{-1}$  |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 351,5                   | -9         | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,3155 | $-5,1 \times 10^{-3}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | 0                  | 403,7                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-3}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 404,6                   | 0,9        | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 0,0315  | $7,4 \times 10^{-1}$  |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 399,6                   | -4,1       | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | -0,1437 | $-2,7 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 402,1                   | -1,6       | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,0561 | $-1,1 \times 10^{-2}$ |
| $1 \times 10^{-1}$ | 0                  | 424,8                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-2}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 437,1                   | 12,3       | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 0,4312  | $1,6 \times 10^2$     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 433,5                   | 8,7        | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 0,3050  | $1 \times 10^1$       |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 435,6                   | 10,8       | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 0,3786  | $1,3 \times 10^0$     |

Lampiran 3 Koefisien selektivitas  $Hg^{2+}$  dengan ion pengganggu  $Pb^{2+}$ 

| $[Hg^{2+}]$        | $[Pb^{2+}]$        | $E_{rata-rata}$<br>(mV) | dE<br>(mV) | $a_i$                | $a_j$              | dE/s    | $K_{ij}$              |
|--------------------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| $1 \times 10^{-6}$ | 0                  | 295,6                   | 0,0        | $1 \times 10^{-6}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 289,4                   | -6,2       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-3}$ | -0,2173 | $-3,9 \times 10^{-4}$ |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 266,7                   | -28,9      | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-2}$ | -1,0133 | $-9,0 \times 10^{-5}$ |
| $1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 336,2                   | 40,6       | $1 \times 10^{-6}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 1,4235  | $2,5 \times 10^{-5}$  |
| $1 \times 10^{-5}$ | 0                  | 298,3                   | 0,0        | $1 \times 10^{-5}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 292,8                   | -5,5       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-3}$ | -0,1928 | $-3,5 \times 10^{-3}$ |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 293,4                   | -4,9       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-2}$ | -0,1718 | $-3,3 \times 10^{-4}$ |
| $1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 343,7                   | 45,4       | $1 \times 10^{-5}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 1,5918  | $3,8 \times 10^{-3}$  |
| $1 \times 10^{-4}$ | 0                  | 324,5                   | 0,0        | $1 \times 10^{-4}$   | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 318,1                   | -6,4       | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-3}$ | -0,2244 | $-4,0 \times 10^{-2}$ |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 318,3                   | -6,2       | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-2}$ | -0,2173 | $-3,9 \times 10^{-3}$ |
| $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 335,2                   | 10,7       | $1 \times 10^{-4}$   | $1 \times 10^{-1}$ | 0,3751  | $1,4 \times 10^{-3}$  |
| $1 \times 10^{-3}$ | 0                  | 360,5                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-4}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 354,8                   | -5,7       | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ | -0,1998 | $-3,6 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 353,2                   | -7,3       | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-2}$ | -0,2559 | $-4,4 \times 10^2$    |
| $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 358,1                   | -2,4       | $9,9 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,0841 | $-1,7 \times 10^{-3}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | 0                  | 403,7                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-3}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 397,9                   | -5,8       | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 0,2033  | $5,9 \times 10^0$     |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 400,4                   | -3,3       | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-2}$ | -0,1157 | $-2,3 \times 10^{-1}$ |
| $1 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 392,3                   | -11,4      | $9,9 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,3997 | $-5,9 \times 10^{-2}$ |
| $1 \times 10^{-1}$ | 0                  | 424,8                   | 0,0        | $9,9 \times 10^{-2}$ | 0                  | 0       | -                     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-3}$ | 422,2                   | -2,6       | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$ | -0,0911 | $-1,9 \times 10^1$    |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 436,4                   | 11,6       | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-2}$ | 0,4067  | $1,5 \times 10^1$     |
| $1 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^{-1}$ | 413,6                   | -11,2      | $9,9 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-1}$ | -0,3927 | $-5,9 \times 10^{-1}$ |