

ANALISIS KINERJA ELEKTRODA KAWAT TERLAPIS POLIPIROL-ASPARTAT SEBAGAI SENSOR ASPARTAT SECARA POTENSIOMETRI

Abdul Karim, Abd. Wahid Wahab, Musfirah
Jurusan Kimia FMIPA UNHAS, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar 90245
Telp/fax: 586498, HP: 08124249940

karimkimia@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian tentang analisis kinerja elektroda kawat berlapis polipirol-aspartat (ESI-Aspartat) sebagai sensor aspartat secara potensiometri telah dilakukan. ESI-Aspartat dibuat dengan melapiskan polipirol-aspartat pada permukaan elektroda kawat platina dengan metode elektropolimerisasi pada larutan polipirol dalam air yang mengandung asam aspartat dan ion ClO_4^- . Analisis kinerja elektroda dilakukan dengan memperhatikan faktor Nernst, limit deteksi, waktu respon, pH larutan dan koefisien selektivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ESI-Aspartat memberikan respon terbaik dengan faktor Nernst 50,19 mV/dekade pada daerah linier 10^{-8} M – 10^{-1} M, limit deteksi $2,19 \times 10^{-8}$ M (0,0029 ppm) aspartat, waktu respon 15-91 detik pada pH 3. Selektivitas ESI-Aspartat pada konsentrasi asam aspartat 0,1 M tidak terpengaruh oleh adanya ion-ion asing dari asam amino lainnya seperti arginin, alanin dan asparagin yang ditunjukkan oleh koefisien selektivitas < 1 .

Kata kunci : ESI-Aspartat, polipirol, faktor Nernst, selektivitas

PENDAHULUAN

Analisis dengan suatu sensor potensiometrik dapat menentukan aktivitas ion-ion dalam larutan melalui potensial yang ditimbulkan. Elektroda Selektif Ion (ESI) adalah komponen utama dari sensor ion potensiometrik, yang menentukan pilihan dengan respon sensor terhadap analit dengan adanya sejumlah ion-ion pengganggu dari sampel (Wroblewski, 2005). Secara umum, sensor ini digunakan hanya jika tidak ada ion-ion pengganggu, atau ketika konsentrasi (aktivitas) analit amat besar sehingga ion-ion pengganggu dapat diabaikan (Beebe, dkk., 1988).

ESI memiliki beberapa tipe, salah satunya yaitu ESI tipe kawat berlapis dimana menggunakan bahan polimer konduktif yang didepositkan pada permukaan elektroda. Polimer konduktif yang paling cocok dan sering digunakan untuk aplikasi tersebut adalah polipirol dan polianilin karena mudah disintesis dan kestabilan sifat-sifatnya (Colin dan Petit, 2002). Oleh karena itu, dalam penelitian ini secara khusus digunakan polipirol sebagai polimer konduktif. Kinerja dari ESI khususnya ESI-Aspartat tipe kawat berlapis berbasis polipirol dapat dilihat dari harga faktor Nernst, konsentrasi pengukuran yang mengikuti persamaan Nernst (kisaran pengukuran), limit deteksi, waktu respon, pengaruh pH, dan harga koefisien selektivitasnya terhadap asam amino lain (pengganggu).

Penelitian tentang elektroda kawat berlapis Polipirol-Aspartat dan koefisien selektivitas terhadap asam amino histidin, isoleusin dan glutamat telah dilakukan sebelumnya oleh Megawati (2008). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa asam amino

histidin, glutamat, dan isoleusin ternyata tidak mengganggu kinerja elektroda kawat terlapis Polipirol-Aspartat dengan nilai K berturut-turut, yaitu : $4,42 \times 10^{-13}$, $8,35 \times 10^{-7}$ dan $1,80 \times 10^{-12}$.

Jadi, untuk mengembangkan penelitian tersebut, akan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis kinerja elektroda kawat terlapis Polipirol-Aspartat secara potensiometri dengan adanya asam amino pengganggu, seperti: arginin (Arg), alanin (Ala) dan asparagin (Asn).

METODE PENELITIAN

Desain ESI Polipirol-Aspartat tipe kawat terlapis

Badan elektroda yang terdiri atas tabung tip berdiameter 2 mm, panjang 7cm dan kawat platina sepanjang 2,5 cm dengan diameter 0,2 mm disambungkan dengan kawat tembaga (Cu) yang terdapat dalam tabung tip yang setiap ujungnya dibungkus dengan parafilm/polietilen. Bagian bawah kawat platina dibiarkan terbuka sebagai tempat menempelnya membran. Setelah itu, kawat dicelupkan ke dalam larutan membran beberapa saat, kemudian dielektropolimerisasi hingga diperoleh membran berwarna hitam keabu-abuan yang menempel pada kawat secara merata dan tipis. ESI yang telah jadi diprakondisikan dengan merendamnya ke dalam larutan aspartat selama 24 jam.

ANALISIS KINERJA ESI POLIPIROL-ASPARTAT

1. Faktor Nernst dan Kisaran Pengukuran

Elektroda hasil elektropolimerisasi digunakan sebagai elektroda kerja untuk mengukur potensial elektroda sederetan larutan asam aspartat dengan kisaran konsentrasi bervariasi dari 10^{-9} – 10^{-1} M. Potensial diukur berturut-turut dari larutan yang paling encer ke larutan yang lebih pekat konsentrasinya. Pengamatan dilakukan sambil diaduk dengan magnetik stirrer. Pembacaan dilakukan pada saat alat menunjukkan potensial tetap. Dari hasil pengukuran dibuat grafik antara potensial (mV) terhadap nilai $-\log$ [aspartat]. Pada selang konsentrasi tertentu akan diperoleh garis lurus dengan kemiringan kurva secara teoritis sebesar $2,303RT/nF$ ($S= 59,16\text{mV/dekade}$) yang merupakan harga faktor Nernst. Sedangkan untuk kisaran pengukuran diperoleh dengan melihat hubungan $-\log$ [aspartat] dengan potensial yang memberikan pengukuran linier, dan data kisaran pengukuran ini yang akan digunakan selanjutnya untuk uji kinerja ESI Polipirol-Aspartat.

2. Limit Deteksi

Limit deteksi diperoleh dengan garis singgung pada dua fungsi garis linier yang Nernstian dan non-Nernstian dari hubungan potensial (E) dengan $-\log [\text{aspartat}]$ yang keduanya saling memotong. Jika titik potong kedua garis singgung tadi diekstrapolasikan ke absis maka akan diperoleh konstanta limit deteksi elektroda.

3. Waktu respon

Untuk mengetahui berapa waktu yang diperlukan oleh ESI sehingga diperoleh harga potensial yang konstan, maka potensial sel di dalam setiap larutan standar aspartat konsentrasi 10^{-8} M – 10^{-1} M diukur waktunya hingga alat ukur menunjukkan potensial sel yang terukur.

4. Pengaruh pH

Untuk mengetahui apakah pH larutan mempengaruhi respon ESI, maka sederetan larutan standar aspartat pada berbagai konsentrasi linear (kisaran pengukuran 10^{-8} M – 10^{-1} M) dengan variasi pH 2-8, dan hasilnya dimasukkan ke dalam kurva kalibrasi. Pengaturan pH larutan diatur dengan penambahan larutan NaOH 0,1 N dan HCl 0,1 N untuk mencapai pH yang diinginkan.

5. Koefisien Selektivitas

Diukur sederetan larutan standar Asam Aspartat (ion utama) pada konsentrasi linear (kisaran pengukuran) dengan menggunakan ESI Polipirol-Aspartat Dengan cara yang sama diukur sederetan larutan standar asam amino pengganggu (Arginin, Alanin, dan Asparagin). Koefisien selektivitas dari ESI Polipirol-Aspartat ditentukan melalui pengamatan potensial E (mV) terhadap berbagai larutan standar ion-ion utama asam amino Aspartat dan larutan standar ion-ion asam amino pengganggu (Arginin, Alanin, dan Asparagin). Nilai tetapan koefisien selektifitas elektroda dihitung dengan metode MPM dengan menghitung persamaan garis regresi ion utama terlebih dahulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Faktor Nernst dan Kisaran Pengukuran

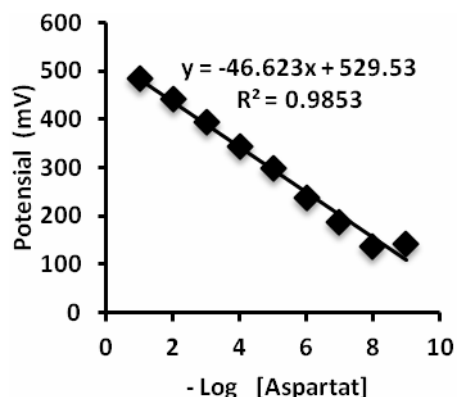
Penentuan faktor Nernst dan kisaran konsentrasi pengukuran diperoleh dengan cara mengalurkan potensial E (mV) terhadap $-\log [\text{aspartat}]$. Penelitian ini diharapkan kemiringan kurva mendekati faktor Nernst teoritis, yaitu 59,16 mV/dekade. Data hasil penelitian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2, serta Gambar 1 dan 2.

ESI-Aspartat tipe kawat terlapis polipirol yang didesain dengan perbandingan komposisi membran terdiri dari 10 mL pirol 0,1 M, 10 mL asam aspartat 0,1 M, dan 10 mL HClO_4^- 0,1 M, dimana mempunyai nilai faktor Nernst sebesar 50,188 mV/dekade, dan koefisien korelasi (R) 0,9984. Pada kisaran konsentrasi ini, pengukuran ESI-Aspartat tipe kawat terlapis polipirol dianggap paling baik karena nilai faktor Nernst yang diperoleh mendekati nilai faktor Nernst teoritis yaitu 59,16 mV/dekade.

Pengukuran faktor Nernst dilakukan dengan membuat grafik antara $-\log [\text{aspartat}]$ dengan potensial (mV) yang terukur. Grafik yang diperoleh merupakan garis lurus pada selang konsentrasi tertentu (trayek pengukuran) dengan kemiringan $2,303 \text{ RT/zF}$ ($S = 59,16 \text{ mV/dekade}$). Tabel data dan grafik pada penentuan faktor Nernst dan kisaran pengukurang dapat disajikan berikut ini.

Tabel 1. Faktor Nernst dan Kisaran Pengukuran ESI-Aspartat $10^{-9} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$.

No	[Asp] (M)	$-\log [\text{Asp}]$ (M)	E (mV)
	10^{-9}	9	143,2
2	10^{-8}	8	136,5
3	10^{-7}	7	188,2
4	10^{-6}	6	237,7
5	10^{-5}	5	298,3
6	10^{-4}	4	342,9
7	10^{-3}	3	395,8
8	10^{-2}	2	441,5
9	10^{-1}	1	483,7
Faktor Nernst		46,623	
R		0,9853	
E ° (K)		529,53	
Kisaran Pengukuran		$10^{-9} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$	

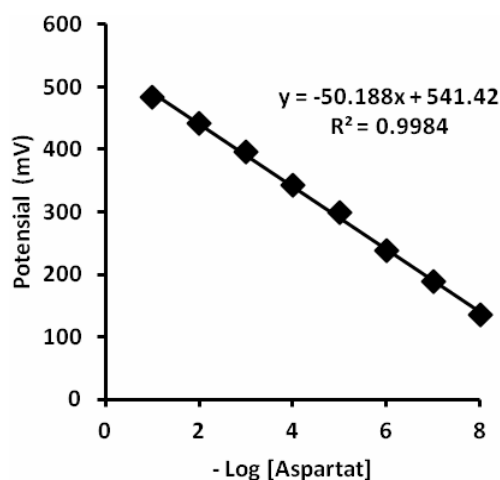


Gambar 1. Grafik Pengukuran Potensial ESI-Aspartat pada kisaran pengukuran $10^{-9} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$

Dari Tabel 1 di atas, diperoleh Gambar 1 yang menunjukkan garis linier pada $-\log [\text{aspartat}]$ dengan kisaran konsentrasi pengukuran $10^{-9} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ yang mempunyai harga Nernst sebesar 46,623, mV/dekade dengan korelasi R (0,9853). Hasil yang diperoleh ini sangat jauh berbeda dengan nilai Nernst teoritis (59,16 mV/dekade) sehingga diambil kisaran pengukuran $10^{-8} \text{ M} - 10^{-1} \text{ M}$ yang ditunjukkan pada Gambar 2, dan diperoleh hasil pengukuran yang memberikan nilai faktor Nernst sebesar 50,188 mV/dekade.

Tabel 2. Faktor Nernst dan Kisaran Pengukuran ESI Aspartat 10^{-8} M – 10^{-1} M

No	[Aspartat] (M)	- Log [Aspartat]	Potensial (mV)
1	10^{-8}	8	136,5
2	10^{-7}	7	188,2
3	10^{-6}	6	237,7
4	10^{-5}	5	298,3
5	10^{-4}	4	342,9
6	10^{-3}	3	395,8
7	10^{-2}	2	441,5
8	10^{-1}	1	483,7
Faktor Nernst		50,188	
R		0,9984	
E ° (K)		541,42	
Kisaran Pengukuran		10^{-8} M – 10^{-1} M	



Gambar 2. Grafik Pengukuran Potensial ESI- Aspartat pada kisaran pengukuran 10^{-8} M – 10^{-1} M

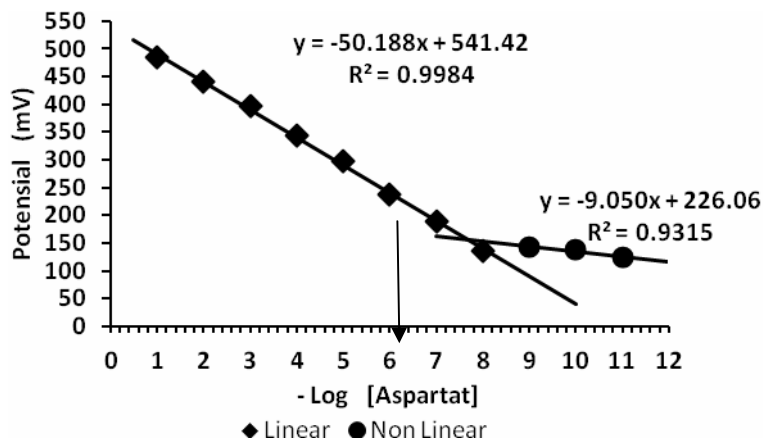
Nilai ini masih jauh menyimpang dari nilai Nernst teoritis atau memiliki fungsi linier yang non nernstian tapi memberikan korelasi (R) atau linearitas yang tinggi (mendekati 1) dengan nilai sebesar 0,9984. Ini menunjukkan bahwa pada kisaran konsentrasi 10^{-8} M - 10^{-1} M dianggap paling baik untuk pengukuran aspartat. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai potensial E (mV) yang terukur pada daerah linear mengalami kenaikan sesuai dengan bertambahnya konsentrasi asam amino Aspartat.

Adanya perbedaan faktor Nernst pada setiap daerah trayek pengukuran disebabkan oleh adanya faktor limit deteksi setiap ESI. Setiap konsentrasi yang terukur harus sesuai batas limit deteksinya. Selain itu adanya perbedaan harga faktor Nernst disebabkan oleh respon aspartat dalam larutan. Jika aspartat tidak mampu lagi merespon pada konsentrasi tertentu, maka aspartat tidak sensitif lagi pada konsentrasi tersebut. Sehingga nilai potensial yang terukur pada tiap konsentrasi berbeda-beda. Pengukuran potensial konsentrasi diharapkan linear dan memenuhi persamaan Nernstian.

Beberapa peneliti akhir-akhir ini tidak hanya melihat faktor Nernst (nilai slope) sebagai kriteria satu-satunya yang menjadi acuan kepekaan suatu ESI, tetapi juga yang dapat menjadi acuan adalah korelasi (R) yang tinggi (mendekati satu), artinya non Nernstian tetapi linearitas $R \sim 1$ (Padjali, 2008).

2. Limit Deteksi

Limit deteksi adalah konsentrasi terendah dari suatu analit yang dapat dideteksi oleh suatu prosedur analisis. Penentuan limit deteksi diperoleh dengan cara membuat garis singgung pada fungsi kurva linier dan non linier yang saling memotong. Jika titik potong kedua garis singgung tersebut diekstrapolasikan ke sumbu x maka akan diperoleh konsentrasi limit deteksi. Hasil penentuan limit deteksi dari ESI-Aspartat tipe kawat terlapis berbasis polipirol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik penentuan limit deteksi ESI-Aspartat tipe EKT.

Gambar 3 di atas memperlihatkan bahwa limit deteksi diperoleh pada titik 7,66 atau setara dengan $2,19 \times 10^{-8}$ M (0,0029 ppm) asam aspartat.

3. Waktu Respon

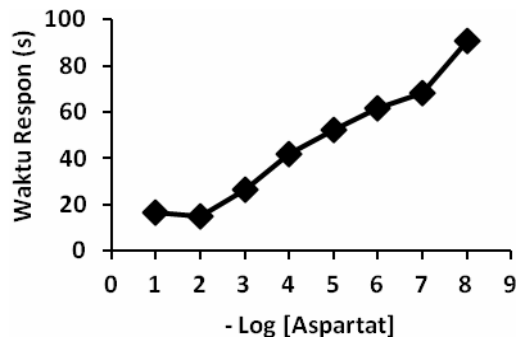
Waktu respon adalah waktu yang diperlukan oleh suatu ESI untuk memberikan respon potensial yang konstan yang disebabkan karena terjadinya kesetimbangan reaksi pada ESI. Semakin cepat waktu respon potensialnya maka semakin sensitive ESI tersebut. Proses pengadukan selama pengukuran potensial larutan standar asam amino utama (Asam Aspartat) akan mempercepat waktu respon. Waktu respon ESI-Aspartat yang didesain pada berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa waktu respon ESI-Aspartat rata-rata dimulai dari 15 detik hingga 91 detik. Dari hasil yang diperoleh ternyata semakin

besar konsentrasi asam aspartat dalam larutan, maka waktu yang diperlukan ion asam aspartat untuk mencapai kesetimbangan pada permukaan membran semakin kecil karena mobilitas ion-ion menjadi lebih cepat sehingga kesetimbangan cepat tercapai.

Tabel 3. Waktu Respon ESI-Aspartat tipe EKT untuk Kisaran Pengukuran 10^{-8} M – 10^{-1} M

No	[Aspartat] (M)	- Log [Aspartat]	Waktu Respon (detik)
1	10^{-8}	8	91
2	10^{-7}	7	68,3
3	10^{-6}	6	61,64
4	10^{-5}	5	52,13
5	10^{-4}	4	41,69
6	10^{-3}	3	26,44
7	10^{-2}	2	15,06
8	10^{-1}	1	16,77



Gambar 4. Grafik waktu respon ESI-Aspartat tipe EKT pada konsentrasi 10^{-8} M – 10^{-1} M

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi waktu respon. Faktor yang memperlambat waktu tanggap antara lain adanya ion pengganggu dalam larutan, dan melarutnya bahan elektroaktif ke dalam fasa cair larutan. Sedangkan faktor yang mempercepat waktu respon yaitu kehomogenitas larutan dan kecepatan pengadukan. Selain itu waktu respon juga dipengaruhi oleh komposisi membran elektroda selektif ion.

4. Pengaruh pH

Salah satu faktor yang sangat penting dalam dalam analisis kinerja ESI-Aspartat adalah bagaimana pengaruh ESI ini terhadap berbagai keadaan pH. Hasil pengukuran pengaruh pH terhadap kinerja ESI-Aspartat dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada penelitian ini, kinerja ESI-Aspartat tipe EKT diuji dalam larutan asam aspartat 10^{-8} M – 10^{-1} M yang diatur pH-nya dari pH 2-8 dengan menggunakan larutan HCl dan NaOH sebagai larutan pengatur pH, sebagaimana telah dipaparkan dalam penelitian sebelumnya oleh Megawati (2008) bahwa ESI-Aspartat yang didesain akan bekerja cukup baik pada pH 2-8. Hal ini disebabkan karena ion-ion H^+ mempengaruhi kesetimbangan kompleks polipirol dengan ion Aspartat. pH optimum untuk ESI-Aspartat

adalah pada pH 3 karena menunjukkan nilai faktor Nernst yang paling mendekati faktor Nernst teoritis yaitu 59,16 mV/dekade.

Tabel 4. Faktor Nernst dari ESI-Aspartat sebagai fungsi pH

pH	Faktor Nernst (mV/dekade)	K (mV)	R
2	48,432	560,45	0,9808
3	49,254	540,97	0,9957
4	46,484	505,89	0,9906
5	44,117	474,84	0,9939
6	41,870	450,17	0,9933
7	42,481	435,53	0,9849
8	40,290	409,25	0,9761

Tabel 4 menunjukkan bahwa pH mempengaruhi kinerja ESI-Aspartat. Pada semua variasi pH menunjukkan nilai faktor Nernst yang jauh menyimpang dari nilai teoritis (59,16 mV/dekade). Pada pH 6, 7, dan 8 itu selain memiliki nilai faktor Nernst yang sangat jauh menyimpang, juga diperoleh korelasi (R) atau linearitas yang rendah. Pada pH 2, 4, dan 5 diperoleh korelasi (R) atau linearitas yang mendekati 1, dan pada pH 3 diperoleh faktor Nernst 49,254 mV/dekade yang paling mendekati nilai Nernst secara teoritis dan korelasi (R) atau linearitas yang sangat bagus yaitu 0,9957. Tabel di atas menunjukkan bahwa pH mempengaruhi kinerja ESI-Aspartat.

Penurunan nilai slope ini kemungkinan dipengaruhi oleh penambahan larutan HCl dan NaOH. Dengan adanya penambahan basa dan asam pada larutan Aspartat, maka untuk penambahan asam akan terjadi penambahan hidrogen (H^+), ion Aspartat akan diikat oleh H^+ yang ada pada larutan, akibatnya sejumlah ion berdifusi ke membran sehingga selektivitas membran menjadi kurang. Penurunan nilai slope pada keadaan yang terlalu basa adalah karena adanya gugus OH^- mengakibatkan terjadi hidrolisis. ESI Aspartat tidak dapat bekerja dengan baik pada pH yang terlalu tinggi dan juga pH yang terlalu rendah.

Dari data di atas pun terlihat bahwa keefektifan ESI-Aspartat terjadi pada pH alami. Dimana dapat memberikan nilai Nernstian yang paling tinggi dan nilai korelasi (R) atau linearitas mendekati satu ($R \sim 1$).

5. Koefisien Selektivitas

Uji koefisien selektivitas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Matched Potential Method (MPM) yang direkomendasikan oleh IUPAC tahun 1995. Selektivitas elektroda dihitung dengan membandingkan nilai potensial dari ion utama (asam aspartat) dan nilai potensial dari adanya ion-ion asam amino pengganggu (arginin, alanin, dan asparagin). Asam amino tersebut diukur potensialnya dengan konsentrasi yang sama yakni 10^{-8} M – 10^{-1} M. Sebelum dilakukan pengukuran terhadap ion-ion asam amino pengganggu, diukur potensial larutan uji asam aspartat dan diperoleh slope pengukuran sebesar 50,188 mV/dekade. Hasil perhitungan koefisien selektivitas dengan metode MPM dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien selektivitas terhadap ion asam amino pengganggu arginin, alanin, dan asparagin

(M)	Koefisien Selektivitas ($K_{A,B}^{Pot}$)		
	(Arg)	(Ala)	(Asn)
10^{-8}	$8,0538 \times 10^{-3}$	$7,1995 \times 10^{-3}$	$2,3275 \times 10^{-2}$
10^{-7}	$4,9068 \times 10^{-4}$	$5,4639 \times 10^{-4}$	$1,8425 \times 10^{-3}$
10^{-6}	$4,3662 \times 10^{-5}$	$5,0223 \times 10^{-5}$	$1,4788 \times 10^{-4}$
10^{-5}	$4,1276 \times 10^{-6}$	$3,5876 \times 10^{-6}$	$1,1929 \times 10^{-5}$
10^{-4}	$6,9679 \times 10^{-7}$	$3,1031 \times 10^{-7}$	$1,0081 \times 10^{-6}$
10^{-3}	$4,5530 \times 10^{-8}$	$2,8399 \times 10^{-8}$	$8,3406 \times 10^{-8}$
10^{-2}	$3,5473 \times 10^{-9}$	$2,6971 \times 10^{-9}$	$5,8884 \times 10^{-9}$
10^{-1}	$3,4395 \times 10^{-10}$	$2,5984 \times 10^{-10}$	$4,5321 \times 10^{-10}$

Berdasarkan Tabel 5 di atas, ditunjukkan bahwa nilai koefisien selektivitas dari ion-ion asam amino pengganggu arginin, alanin, dan asparagin ternyata tidak mengganggu kinerja ESI-Aspartat, karena nilai $K_{A,B}^{Pot} < 1$ (ribuan kali lebih kecil dari respon terhadap ion asam aspartat). Jadi, ion-ion tersebut dianggap memiliki koefisien selektivitas yang lebih rendah sehingga elektroda ini selektif untuk ion asam amino aspartat daripada ion-ion asam amino pengganggu.

KESIMPULAN

Kinerja ESI-Aspartat tipe kawat berlapis Polipirol-Aspartat sebagai sensor aspartat secara potensiometri memiliki nilai faktor Nernst 50,188 mV/dekade, kisaran pengukuran 10^{-8} M – 10^{-1} M, limit deteksi $2,19 \times 10^{-8}$ M (0,0029 ppm), dan bekerja baik pada pH 3. Nilai koefisien selektivitas masing-masing ion lebih kecil dari satu ($K_{A,B}^{pot} < 1$), dimana hal ini menunjukkan bahwa ESI-Aspartat tidak dipengaruhi oleh adanya ion-ion asing dari asam amino arginin (Arg), alanin (Ala), dan asparagin (Asn) dalam larutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beebe, K., Uerz, D., James Sandifer, J., dan Kowalski, B., 1988, Sparingly Selective Ion-Selective Electrode Arrays for Multicomponent Analysis, *J. Anal. Chem.*, (Online), **60**, 66-71, (http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/ancham/1988/60/i01/fpdf/f_ac00152a017.pdf?sessid=600613, diakses 17 Januari 2009, 11:35:21).
- [2] Colin, C., M. A. Petit, 2002, *J. Electrochemical Society*, Vol.149, 394-401.
- [3] Megawati, 2008, *Pembuatan Elektroda Kawat Terlapis Polipirol- Aspartat dan Penggunaannya sebagai Sensor Aspartat pada Jagung Proten Tinggi*, Tesis Tidak Diterbitkan, Program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [4] Padjali, J., 2008, *Pemanfaatan ESI- $H_2PO_4^-$ Tipe Elektroda Kawat Terlapis sebagai Sensor Potensiometrik untuk Mendeteksi Anion $H_2PO_4^-$ Di Pelabuhan Tanjung Ringgit Kota Palopo*, Skripsi tidak diterbitkan, FMIPA Unhas, Makassar.
- [5] Wroblewski, W., 2005, *Ion Selective Electrodes*, (Online), (<http://www.ch.pw.edu.pl/tutorial/ise/>, diakses 25 Januari 2009, 14:20:21).

[KEMBALI KE DAFTAR ISI](#)