

ELEKTRODA SELEKTIF ION (ESI) TETRABORAT TIPE KAWAT TERLAPIS BERBASIS ZEOLIT

Zuri Rismiarti^{1*}, Atikah², Chasan Bisri², Yuyun Irnawati²

¹Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ma Chung, Malang

²Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang

ABSTRAK

Telah dibuat dan dikarakterisasi elektro selektif ion (ESI) tetraborat tipe kawat terlapis berbasis zeolit. Hasil penelitian menunjukkan komposisi optimum membran yaitu zeolit:PVC:karbon aktif: DOP (%berat)= 32,3:16,1:3,2:48,4, menghasilkan sifat Nernstian dengan harga faktor Nernst sebesar $29,30 \pm 0,28$ mV/dekade konsentrasi pada kisaran konsentrasi linier 1×10^{-5} - 1×10^{-1} M, batas deteksi $3,24 \times 10^{-6}$ M (0,619 ppm tetraborat), waktu respon 50 detik, dan memiliki usia pemakaian selama 64 hari. ESI tetraborat bekerja baik pada kisaran pH larutan 7-10 dan temperatur 20-60 °C.

Kata kunci: ESI, tetraborat, zeolit, membrane

ABSTRACT

A plasticized PVC (polyvinyl chloride) membrane based coated wire tetraborate ion selective electrode has been developed by using zeolite. The results showed the optimum composition of the membrane was zeolite: PVC: activated carbon: DOP 32.3:16.1:3.2:48.4 (%weight). The electrode showed Nernstian response, Nernst factor 29.30 ± 0.28 mV/decade of concentration, with improved linear range of 1×10^{-5} - 1×10^{-1} M, with a comparatively lower detection limit of 3.24×10^{-6} M (0.619 ppm tetraborate), giving a relatively fast response of 30 second and reasonable reproducibility. ISE's performance worked well in pH range of 7-10 and temperature range of 20-60 °C. The lifetime of the electrode was found to be 64 days.

Keyword: ISE, tetraborate, membrane, zeolite

PENDAHULUAN

Tetraborat merupakan spesi ion utama dari senyawa boraks atau natrium tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Boraks dalam air akan berada dalam bentuk ion tetraborat ($\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4^{2-}$) (Garrett, 1998; Emeleus dkk., 1982). Boraks pada saat ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan (aditif) makanan yaitu sebagai bahan pengawet agar makanan tampak lebih menarik, kenyal dan tahan lama.

Dalam tubuh, boraks diserap dan disimpan secara kumulatif dalam hati, otak, usus, ginjal sehingga dosisnya dalam tubuh menjadi tinggi dan akan mempengaruhi kerja syaraf. Bila dikonsumsi terus menerus dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan kanker (Disnakkeswan, 2006). Berdasarkan *Median Lethal Dose* mamalia (LD_{50}) daya toksisitas boraks sebesar 5-20 g/Kg yang dapat menyebabkan kematian pada orang dewasa (*Office of Prevention Pesticides and*

Toxic Substances, 2006). Departemen Kesehatan RI melalui SK Menteri Kesehatan RI No. 722/Menkes/Per/IX/1988 melarang pemakaian boraks dalam makanan. Tetapi pada kenyataannya, boraks sering disalahgunakan dalam pangan seperti kerupuk, bakso, mie basah, siomay. Makanan-makanan tersebut biasanya diproduksi oleh usaha kecil menengah (UKM) yang tidak terdaftar di badan POM sehingga kualitasnya kurang terkontrol. Oleh sebab itu, diperlukan pengawasan (*monitoring*) rutin terhadap kadar boraks pada makanan agar tidak membahayakan konsumen sehingga makanan yang beredar di masyarakat tetap terjaga kualitasnya.

Metode yang sering digunakan untuk penentuan boraks secara kuantitatif yaitu metode titrimetri dan spektrofotometer UV-Vis. Metoda tersebut memiliki presisi dan akurasi yang tinggi tetapi memerlukan instrumentasi khusus dengan

* Korespondensi :

Telpon: -

E-mail: zuri.rismiarti@machung.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.35799/cp.8.1.2015.9397>

biaya analisis relatif tinggi dan penanganan sampel yang kompleks. Elektroda selektif ion (ESI) telah dikembangkan untuk menganalisis ion tetraborat. Kelebihan ESI antara lain adalah: prosedur analisis sederhana, menggunakan alat sederhana seperti pH/potensiometer, dan warna larutan pada intensitas tertentu tidak mengganggu pengukuran, serta waktu pengukuran singkat (Rawat dkk., 2010). ESI mempunyai 2 tipe yaitu tipe tabung dan kawat terlapis. Keunggulan ESI tipe kawat terlapis adalah tidak membutuhkan perawatan khusus, mudah disimpan tanpa risiko kehilangan larutan pembanding dalam, dan juga dapat dioperasikan dalam berbagai posisi (posisi tabung hanya dalam posisi tegak) (Rismiarti dkk., 2014)

Elektroda selektif ion (ESI) borat telah dikembangkan oleh Somer dkk (2011) dengan menggunakan padatan garam Ag_3BO_3 , Ag_2S , Cu_2S . ESI ini memiliki rentang konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-6} M, dengan harga faktor Nernst $31,2 \pm 2$ mV dengan waktu respon 20-30 detik dan usia pakai 2 tahun. ESI tetraborat tipe kawat terlapis bermembran kitosan juga telah dibuat oleh Afriansyah (2011) dan memiliki karakteristik antara lain: harga faktor Nernst sebesar $29,18 \pm 0,12$ mV/dekade konsentrasi pada kisaran konsentrasi 1×10^{-5} hingga 1×10^{-1} M, batas deteksi pengukuran yaitu $3,715 \times 10^{-6}$ M (0,71 ppm tetraborat), waktu respon 110 detik, dan usia pemakaian selama 38 hari. ESI tersebut bersifat Nernstian, tetapi elektroda ini masih memiliki keterbatasan dalam hal waktu respon yang lama dan usia pemakaian yang pendek.

Zeolit merupakan kekayaan alam Indonesia yang melimpah, belum dimanfaatkan secara optimal dengan harga relatif murah. Zeolit sebagai mineral alam memiliki kemampuan dalam penukar ion, adsorpsi, katalis dan dehidrasi serta penyaring atau pemisah (Widianti, 2006). Zeolit telah berhasil digunakan sebagai bahan aktif membran ESI dalam pengembangan sensor untuk penentuan ion sulfat (Fardiyah dkk., 2014). Dalam pembuatan sensor anion diperlukan suatu modifikasi zeolit agar terbentuk situs positif. Situs tersebut dibentuk melalui proses kalsinasi dengan pemanasan diatas 500°C yang mengakibatkan terbentuknya situs asam lewis yaitu situs Si bermuatan positif (Si^+) (Huheey dkk., 1993). Pembentukan situs tersebut digunakan untuk mengikat ion tetraborat.

Selain zeolit sebagai bahan aktif membran, diperlukan bahan pembentuk membran seperti PVC sebagai matriks membran, DOP sebagai pemlastis, karbon aktif untuk meningkatkan

konduktivitas membran serta THF sebagai pelarut (Fardiyah dkk., 2014). Karakteristik ESI meliputi sensitifitas (harga faktor Nernst), kisaran konsentrasi, limit deteksi, waktu respon dan usia pemakaian. Sedangkan kinerja ESI antara lain selektivitas (pengaruh ion asing) dan kondisi pengukuran (pengaruh pH dan temperatur). Elektroda selektif tetraborat yang dibuat menunjukkan sensitifitas yang baik (slope mendekati harga faktor Nernst teoritis), waktu respon yang cepat (< 1 menit) dan bersifat reproduibel. Tuliskan tujuan penelitian ini disini.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit diambil dari daerah kecamatan Turen Kabupaten Malang, karbon aktif (E. Merck), kawat Pt (panjang 5 cm, diameter 0,5 mm), polimer polivinilklorida (PVC) (Sigma), *dioktilftalat* (DOP) (Sigma), tetrahidrofuran (THF) (Merck), kabel koaksial dan jek RG-58, HNO_3 (E.Merck), alkohol 96% (Brastachem), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Merck), NH_4Cl (Merck), AgNO_3 (Merck) dan akuades. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah potensiometer (Fisher model 9550), elektroda pembanding Ag/AgCl, neraca analitik (Mettler tipe AE 50), mikrometer sekrup (Tricle Brand), oven (Fisher Scientific 655 F), pH meter (Schoot Gerate model CG 820), *thermocouple* (OMRON ESCZ), tanur (Nabertherm model N-31), desikator, pengaduk magnetik, statif, ayakan 120 dan 150 mesh, kertas saring Whatman No.40

Kalsinasi zeolit

Zeolit alam Turen ditumbuk sampai halus menggunakan mortar kemudian diayak menggunakan ayakan 120 mesh, zeolit yang lolos diayak kembali menggunakan ayakan 150 mesh. Zeolit yang tertahan pada ayakan 150 mesh selanjutnya dicuci dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah itu, zeolit direndam ke dalam larutan NH_4Cl 2 M dengan perbandingan 10 g zeolit dalam 100 mL larutan dan dikocok dengan pengaduk elektrik selama 24 jam. Campuran selanjutnya disaring dengan kertas saring Whatman No. 40 dan dicuci dengan akuades. Pencucian dihentikan apabila sudah tidak terdapat endapan pada filtrat ketika ditambah dengan Ag^+ (AgNO_3 0,1 M). Kemudian zeolit dipanaskan dalam tanur pada suhu 550°C selama 4 jam.

Pembuatan larutan membran

Campuran membran terdiri dari zeolit hasil kalsinasi, DOP, PVC dan karbon aktif. Campuran ini dilarutkan dalam THF (1:2 (b/v)) dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 3-4 jam sampai diperoleh campuran membran yang homogen.

Konstruksi ESI

Badan elektroda yang digunakan berupa kawat platina diameter 0,5 mm, panjang \pm 5 cm. Ujung atas kawat Pt dihubungkan dengan kabel koaksial RG-58 yang tersambung dengan Jek RG 58 sebagai penghubung ESI ke alat potensiometer. Ujung bawah kawat dicelupkan ke dalam campuran membran dengan ketebalan antara 0,1-0,2 mm. Kemudian pemanasan dalam oven pada temperatur 50 °C selama 12 jam. Elektroda yang telah jadi diprakondisi dalam larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,2 M selama 12 jam. ESI yang akan digunakan diprakondisi lagi 20 – 50 menit, lalu dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada temperatur ruang.

Karakterisasi ESI tetraborat

Karakterisasi ESI tetraborat terdiri dari penentuan faktor Nernst, limit deteksi, waktu respon, usia pakai, pengaruh pH, ion asing dan temperatur. Parameter tersebut dapat ditentukan melalui pengukuran potensial. Potensial larutan ditentukan dengan mengukur konsentrasi larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 1×10^{-8} - 1×10^{-1} M pada temperatur (26-27 °C) menggunakan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding. Pembacaan potensial dilakukan pada saat potensiometer menunjukkan

harga potensial dan kedalaman pencelupan elektroda serta kecepatan pengadukan yang konstan. Faktor Nernst dapat ditentukan dari besarnya kemiringan (*slope*) melalui garis linear dari kurva hubungan antara potensial (E) terhadap $-\log [\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4^{2-}]$. Kisaran konsentrasi linier dinyatakan dari garis lurus yang memenuhi persamaan Nernst sedangkan batas deteksi ditentukan dari perpotongan antara garis lurus (daerah linear) dan garis melengkung (daerah non linear) dari kurva tersebut (Wang, 2006). Prosedur yang sama untuk menentukan pengaruh pH (5-11), ion asing (Cl^- , H_2PO_4^- dan HCO_3^-) dan temperatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi komposisi membran

Komposisi bahan penyusun membran dilakukan variasi terhadap zeolit dan DOP. Pada umumnya, membran bersifat lentur jika jumlah DOP sebagai pemlastis lebih banyak dibandingkan PVC sebagai matriks polimer. Oleh sebab itu, dilakukan variasi DOP untuk menghasilkan membran yang lebih bersifat lentur dengan jumlah PVC tiap komposisi membran adalah sama (tetap). Zeolit sebagai bahan aktif membran (komponen yang memiliki situs Al-O-Si⁺) berpengaruh terhadap transpor ion tetraborat dalam membran. Variasi komposisi membran (%) antara lain: zeolit, PVC, DOP, dan karbon aktif dibuat sesuai komposisi Tabel 1.

Tabel 1. Variasi komposisi penyusun membrane

| Membran | Komposisi membran (% berat) | | | | Harga F. Nernst (mV/dek kons) | Limit deteksi (1×10^{-6} M) | Rentang konsentrasi (M) |
|---------|-----------------------------|------|--------|------|----------------------------------|--|-------------------------------|
| | Zeolit | PVC | Karbon | DOP | | | |
| 1. | 16,1 | 16,1 | 3,2 | 64,5 | 20,267 | 3,220 | $0,1-1 \times 10^{-5}$ |
| 2. | 32,3 | 16,1 | 3,2 | 48,4 | 29,300 | 5,975 | $0,1-1 \times 10^{-5}$ |
| 3. | 48,4 | 16,1 | 3,2 | 32,3 | 26,133 | 35,08 | $0,1-1 \times 10^{-5}$ |

Berdasarkan Tabel 1. tersebut menunjukkan pada membran 1, dihasilkan nilai faktor Nernst sebesar 20,267 mV/dek. Kons. Komposisi membran 1 menghasilkan sensitivitas rendah terhadap ion target (ion tetraborat). Hal ini diduga karena jumlah zeolit sebagai bahan aktif membran sangat sedikit sehingga kemampuan tukar anionnya kecil. Selain itu pada komposisi

ini, jumlah pemlastis DOP terlalu banyak. Penambahan pemlastis yang terlalu banyak dapat membentuk lapisan tipis pada permukaan membran sehingga akan menimbulkan halangan untuk transport ion yang melewati membran (Nghiem dkk., 2006). Selain itu, penambahan DOP yang terlalu banyak juga mengakibatkan molekul-molekul polimer banyak bergerak

sehingga terjadi penurunan kekuatan polimer membran (Arsyad, 2008).

Pada komposisi membran 3, diperoleh harga faktor Nernst sebesar 26,133 mV/dek.Kons. yang masih dalam rentang harga faktor Nernst yang diperbolehkan. Akan tetapi pada komposisi ini jumlah zeolit lebih banyak dibandingkan dengan pemlastis DOP sehingga diduga membran ESI menjadi kurang bersifat lentur atau fleksibel. Pada membran 2 memiliki rasio zeolit:DOP adalah 2:3 sehingga diasumsikan membran lebih bersifat lentur atau fleksibel. Hal ini menyebabkan mobilitas ion-ion tetraborat dalam membran menjadi lebih mudah sehingga proses pertukaran ion tetraborat dalam membran dengan ion tetraborat dari larutan analit dalam fasa antarmuka membran-larutan lebih mudah tercapai. Komposisi membran ini juga

menunjukkan hidrofobisitas dan homogenitas membran dengan menghasilkan harga faktor Nernst sebesar 29,30 (mV/dek.Kons) yang mendekati harga faktor Nernst teoritis. Dengan demikian komposisi membran 2 digunakan sebagai komposisi optimum membran dalam pengukuran selanjutnya.

Karakteristik ESI

Karakteristik ESI ditunjukkan dari sensitifitas (faktor Nernst, kisaran konsentrasi linier, limit deteksi), waktu respon, usia pakai, sedangkan kinerja ESI meliputi selektifitas (pengaruh ion asing), dan kondisi pengukuran (pengaruh pH dan temperatur) yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi ESI tetraborat

| No | Karakteristik ESI Tetraborat | Nilai |
|----|--|--|
| 1. | Faktor Nernst (mV/dekade konsentrasi) | 29,30±0,28 |
| 2. | Kisaran konsentrasi linier (M) | 1×10^{-5} - 1×10^{-1} |
| 3. | Limit deteksi (M) | $3,24 \times 10^{-6}$ |
| 4. | Perendaman dalam Na ₂ B ₄ O ₇ 0,2 M (menit) | 40 |
| 5. | Waktu respon (detik) | 50 |
| 6. | Usia pakai (hari) | 64 |
| 7. | Kisaran pH | 7-10 |
| 8. | Stabilitas temperatur °C | 20-60 |
| 9. | Urutan selektifitas | B ₄ O ₅ (OH) ₄ ²⁻ > HPO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ |

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan ESI tetraborat tipe kawat terlapis berbasis zeolit mempunyai karakter optimal yaitu memiliki harga faktor Nernst mendekati harga faktor Nerst teoritis (29,6 mV/dekade konsentrasi) dengan rentang konsentrasi pengukuran luas, batas deteksi rendah dan waktu respon cepat (< 1 menit) serta usia pemakaian lama (> 2 bulan).

Pengaruh pH

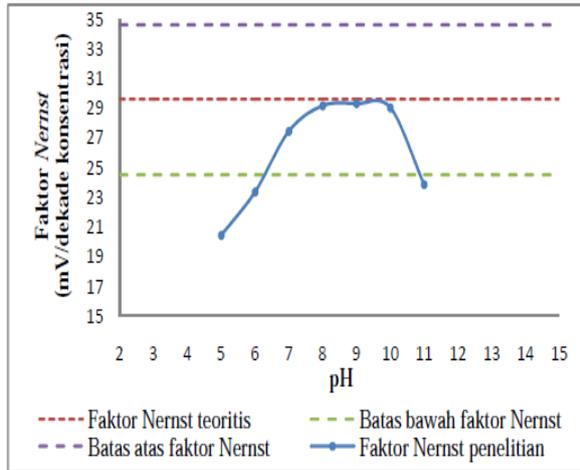
Pengaruh pH terhadap kinerja sensor ion tetraborat berbasis zeolit dapat diketahui melalui Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan ESI ini dapat bekerja baik pada kisaran pH 7-10 dengan pH optimum adalah 9. Pada kisaran pH 7-10 spesi ion boron dari Na₂B₄O₇ yang paling dominan adalah ion tetraborat B₄O₅(OH)₄²⁻ (Garrett, 1998). Pada pH 5-6 ion B₄O₅(OH)₄²⁻ tidak dominan sehingga jumlah ion utama semakin berkurang dalam larutan analit. Akibatnya terjadi penurunan harga faktor Nernst.

Kenaikan pH mengakibatkan bertambahnya ion OH dalam larutan dan dapat merubah spesi ion borat di dalam larutan menjadi spesi ion B(OH)₄⁻ sehingga mengganggu respon potensial sensor. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai faktor Nernst sebesar 23,86 mV/dekade dimana nilai tersebut berada di bawah nilai minimum faktor Nernst secara teoritis.

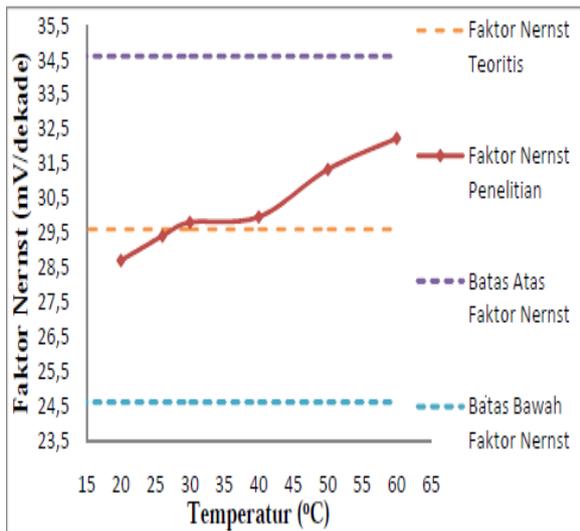
Pengaruh temperatur

Pengaruh temperatur terhadap kinerja ESI tetraborat berbasis zeolit dapat diketahui melalui Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan ESI dapat bekerja dengan baik pada kisaran temperatur 20-60 °C dengan temperatur optimum sebesar 26 °C. Semakin tinggi temperatur maka ESI memberikan respon super Nernstian. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur larutan maka mobilitas ion-ion dalam larutan analit semakin meningkat sehingga respon potensial semakin meningkat. Zeolit memiliki

ketahanan terhadap temperatur atau memiliki stabilitas termal yang tinggi. Zeolit yang telah dilakukan dealuminasi mengakibatkan strukturnya menjadi lebih tahan terhadap peningkatan temperatur (Hamdan, 1992). Oleh karena itu, membran sensor tetap stabil hingga temperatur 60 °C dengan nilai faktor Nernst masih berada dalam kisaran yang diperbolehkan.



Gambar 1. Pengaruh pH terhadap kinerja ESI tetraborat

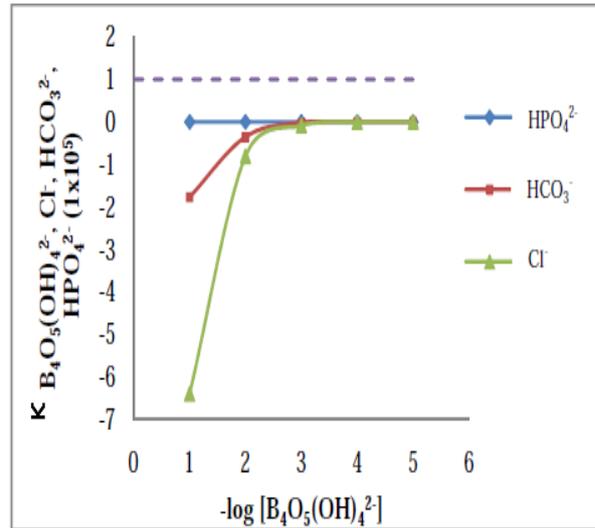


Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap Kinerja ESI tetraborat

Selektifitas

Pengaruh ion asing ini dipelajari karena keberadaan ion asing dapat mempengaruhi selektivitas sebuah ESI. Selektivitas ditunjukkan oleh koefisien selektivitas ($K_{i,j}$). Menurut Umezawa dkk. (2000), jika nilai $K_{i,j} \geq 1$ maka sensor lebih merespon ion asing daripada ion utama. Koefisien selektivitas ditentukan berdasarkan metode larutan tercampur. Metode

ini dilakukan dengan cara memvariasikan larutan yang mengandung ion utama ($B_4O_5(OH)_4^{2-}$) antara 1×10^{-5} M hingga 1×10^{-1} M dan konsentrasi ion asing dibuat tetap (1×10^{-3} M). Ion asing yang digunakan pada penelitian ini adalah Cl^- , HCO_3^- dan HPO_4^{2-} .



Gambar 1. Selektivitas ESI tetraborat

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara $-\log [B_4O_5(OH)_4^{2-}]$ dengan K_i masing-masing ion asing. Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui urutan selektivitas ESI tetraborat berbasis zeolit terhadap ion asing adalah $B_4O_5(OH)_4^{2-} > HPO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$. Gambar 3. Selektivitas ESI Tetraborat.

KESIMPULAN

Elektroda Selektif Ion Tetraborat Tipe Kawat Terlapis merupakan metode yang prospektif dan alternatif yang mudah, simpel, cepat dan murah untuk penentuan tetraborat.

DAFTAR PUSTAKA

Afriansyah, A., 2011. Pembuatan dan karakterisasi elektroda selektif ion tetraborat tipe kawat terlapis bermembran kitosan. *Skripsi*. Universitas Brawijaya, Malang.
 Arsyad, 2008. Kompatibilitas dan kinerja poligliserol asetat sebagai plastisiser dalam matriks termoplastik polipropilena. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan.
 Dinas Peternakan & Kesehatan Hewan-Lampung. 2006. Bahaya formalin dan boraks.

- <http://www.disnakkeswan-lampung.go.id>,
Tanggal akses: 24 Mei 2010.
- Emeleus, H.J. & Sharpe, A.G. 1982. *Advance in inorganic chemistry and radiochemistry*, Academic Press Inc., England.
- Fardiyah, Q., Atikah & Sulistyarti, H. 2014. Pengaruh karbon aktif terhadap harga faktor Nernst pada pembuatan sensor sulfat berbasis zeolit, *Jurnal Sains Dasar*. 3(2), 110-117
- Fardiyah, Q., Atikah & Ningsih, R.D. 2014. Pemanfaatan zeolit teraktivasi sebagai bahan aktif sensor potensiometri ion sulfat, *Chemistry Progress*. 7(2), 81-87.
- Garrett, D.E. 1998. *Handbook of deposits, processing, properties, and use borates*, Academic Press, San Diego, California
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to zeolite: synthesis, characterization, and modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Johor.
- Huheey, J.E., Ellen, A.K. & Keither, R.L. 1993. *Inorganic chemistry principle of structure and reactivity*. Fourth Edition, Hooper Collins College Publisher.
- Nghiem, L.D., Mornane, P., Potter, I.D., Perera, J.M., Cattral, R.W. & Kolev, S.D. 2006., Extraction and transport of metal ion and small organic compound using polymer inclusion membranes (PIMs), *Journal of Membrane Science*. 281(1-2), 7-41.
- Office of Prevention Pesticides and Toxic Substances, 2006. *Report of the food quality protection act (FQPA) tolerance reassessment eligibility decision (TRED) for boric acid/sodium borate salts*, United States Environmental Protection Agency, http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/boric_acid_tred.pdf. Retrieved 2008-04-21, Tanggal akses: 10 Januari 2011.
- Rawat, A., Sulekh, C. & Anjana, S. 2010. Highly selective potentiometric oxalate ion sensors based on Ni(II) bis-(*m*-minoacetophenone)ethylenediamine, *Chinese Journal Chemistry*. 28(7), 1140-1146.
- Rismiarti, Z., Atikah & Sulistyarti, H. 2014. Construction and characterization of coated wire oxalate ion selective electrode based on chitosan, *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*. 3(1), 19-26.
- Somer, G., Sezer, S., Dogan, M., Kalayci, S. & Sendil, O. 2011. Preparation and properties of a new solid state borate ion selective electrode and its application, *Talanta*. 85(3), 1461-1465.
- Umezawa, Y., Buhlmann, P., Umezawa, K., Tohda, K. & Amemiya, S. 2000. Potentiometric selectivity coefficients of ion-selective electrodes inorganic cations. Part 1. *Pure and Applied Chemistry*. 72(10), 1852-1854.
- Wang, J. 2006. *Analytical Electrochemistry*, Third Edition. John Willey & Sons, Canada.
- Widianti, T. 2006. *Pengujian kapasitas tukar kation zeolit sebagai kapasitas penukar kation alami untuk pengolahan limbah industri*. AMTeQ-Annual Meeting on Testing and Quality 2006.