

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ELEKTRODA SELEKTIF ION Cu(II) MENGGUNAKAN IONOFOR Na₂S SEBAGAI SENSOR KIMIA

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF Cu(II) ION SELECTIVE MEMBRANES USING Na₂S IONOPHORE AS A CHEMICAL SENSORS

Amrina Rosyada, Moh. Syaiful Arif, Aman Sentosa Panggabean*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, 75123

* Corresponding Author : amanspanggabean@yahoo.com

Article History

Submitted : 23 July 2024

Accepted: 24 February 2025

ABSTRACT

Preparation and characterization of Cu(II) ion selective electrode membranes based on polyvinyl chloride (PVC) using sodium sulfide (Na₂S) as the ionophore has been done. The use of PVC polymer functions as a material that strengthens the properties of the membrane mixed with Na₂S to form a homogeneous membrane and can reduce the risk of leaks in the membrane used. However, PVC has stiff properties, so a plasticizer in the form of DOP was needed to reduce intermolecular forces and make the membrane elastic. The preparation was carried out with the composition Na₂S : PVC : DOP, namely 6 : 3 : 1. The membrane was doped with CuSO₄ solution for 7 days and the Cu²⁺ ESI performance was measured to increase the optimal conductivity of the membrane, it is done by doping the membrane, namely by inserting 1 M Cu²⁺ dopant metal. The ESI Cu²⁺ performance results show a solution composition of 1:2 CuSO₄:KNO₃ and works well in the composition range 10⁻⁵ - 10⁻¹ M, with a Nernst factor value of 28.9 mV/decade and a detection limit of 1.01×10⁻⁵ M. The response time of ESI Cu²⁺ was 10-60 seconds and can be used for 3 days. ESI Cu²⁺ works in the pH range 4-6 and the presence of interfering ions Cd²⁺, Zn²⁺, Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ does not affect the performance of ESI Cu²⁺.

Keywords: Cu²⁺, Ion Selective Electrode (ISE), Sodium Sulfide (Na₂S).

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan aktivitas berbagai bidang industri tekstil, pertanian serta pertambangan banyak menghasilkan limbah yang terus meningkat seperti air yang mengandung logam berat. Terdapat beberapa logam yang berbahaya terhadap lingkungan seperti tembaga (Cu), kadmium (Cd), arsenik (As), merkuri (Hg), nikel (Ni) dan seng (Zn).¹ Perkembangan aktivitas tersebut tidak dapat dipungkiri menimbulkan banyak kontaminan yang masuk ke lingkungan seperti logam tembaga yang akan berdampak menjadi pencemaran. Logam berat seperti tembaga memiliki sifat yang berbahaya terhadap lingkungan biotik maupun abiotik jika dalam kadar yang berlebih. Toksisitas tembaga mampu merusak sel otak, gangguan pada sistem saraf dan gangguan akut lainnya. Terdapat sumber alami pemaparan tembaga di alam seperti debu yang bertebaran akibat pembusukan vegetasi, kebakaran hutan hingga keracunan saat mengonsumsi ikan yang terkontaminasi oleh logam tembaga yang berlebih.

Metode potensiometri digunakan untuk mengukur potensial sel, pH dan menentukan konsentrasi pada ion logam dan non logam pada larutan elektrolit. Metode potensiometri terdiri dari komponen-komponen penyusun seperti elektroda kerja, elektroda pebanding, rangkaian jembatan garam dan pengukur arus

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



tegangan (Voltmeter).² Unsur tembaga dapat mengendap dengan mudah dan mampu berinteraksi dengan bahan organik maupun anorganik dengan daya larut yang bervariasi tergantung pada pH. Logam tembaga tersebut mampu terakumulasi di dalam sedimen jika terjadi pengendapan.³

Dengan adanya metode analisis Elektroda Selektif Ion (ESI) mampu mendeteksi logam-logam. Metode Elektroda selektif-Ion (ESI) merupakan sensor dalam elektrokimia yang peka pada suatu aktivitas ion pada larutan yang diukur dan ditandai dengan perubahan pada potensial. Pengukuran dengan cara potensiometri dengan elektroda selektif ion (ESI) memiliki keunggulan analisis yang cepat, akurat dan selektivitas yang tinggi. Adapun kelemahan dalam metode (ESI) terdapat pada tipe tabung yang perlu dilakukan penyederhanaan pada konstruksi (ESI) alat dengan mengganti sistem pembanding dalam menggunakan konduktor elektronik berupa kawat logam. Salah satu upaya pengelolaan tersebut adalah dengan mengembangkan metode analisis yang selektif dan tepat seperti sensor potensiometri karena menggunakan suatu elektroda yang khusus dan selektif pada ion tertentu atau elektroda selektif ion.⁴

Untuk mendapatkan ESI yang ideal sehingga menunjukkan respon potensial Nernstian, limit deteksi rendah, selektif serta memiliki usia pemakaian yang lama maka diperlukan pemilihan bahan aktif dan komposisi bahan penyusun pada membran yang tepat. Karakteristik ini dapat dicapai oleh membran yang mikropori, memiliki sifat hidrofobik dan lentur sehingga konduktivitas yang besar.⁵ Prinsip kerja Elektroda Selektif ion didasari oleh metode potensiometri yaitu mengukur potensial menggunakan elektroda indikator serta elektroda pembanding. Elektroda indikator dan pembanding dicelupkan ke larutan analit dan menghasilkan nilai potensial dari analit.⁶ Selektivitas pengukuran elektroda untuk ion tertentu dapat ditentukan dengan harga faktor Nernst. Faktor Nernst ditentukan dengan membuat kurva dari hubungan antara potensial (E) terhadap $-\log$ aktivitas ion x yang dipat ditunjukkan dengan besarnya kemiringan garis (slope) pada suatu kurva.⁷ Batas deteksi bergantung pada perbandingan dari besarnya sinyal analitik terhadap fluktuasi statistik dari sinyal blanko karena kesalahan acak.⁸ sebagian besar ESI mengukur batas deteksinya sekitar 10^{-5} - 10^{-6} M.⁹ Tidak ada ESI yang bereaksi secara spesifik hanya dengan ion-ion yang telah dirancang pada membran.¹⁰

Koefisien selektivitas < 1 maka ESI merespon lebih cepat dan lebih selektif ion utama dibandingkan ion asing.¹¹ Membran menghantarkan listrik, tidak larut dalam suatu analit, mampu bereaksi selektif dengan ion analit dengan mekanisme pertukaran ion, kristalisasi, kestabilan terhadap perubahan pH dan memiliki stabilitas mekanik yang cukup fleksibel.¹² Pada penelitian ini telah dikembangkan membran Cu^{2+} ESI dari Na_2S dengan menambahkan dopan Cu^{2+} ke dalam membran yang mengandung Na_2S pada matriks PVC dengan melakukan pencelupan, kemudian dilakukan karakterisasi terhadap membran menggunakan Spektroskopi FT-IR dan karakterisasi ESI Cu^{2+} yang meliputi, pengaruh larutan dalam, Faktor Nernst dan batas deteksi, waktu hidup, waktu respon, pH dan pengaruh ion pengganggu.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, elektroda, multimeter digital, stirer, neraca analitik, pH meter Orion, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) ATR ZnSe, peralatan lain seperti peralatan gelas standar laboratorium dan dengan pengaduk digunakan untuk semua pengukuran.

2.1.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Na_2S , *polivinychloride* (PVC), *diethyl phthalate* (DOP), *tetrahydrofuran* (THF), KNO_3 , NaOH , HCl , ZnCl_2 , CuSO_4 , H_2SO_4 , $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, lem dan *aquadest*.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1. Pembuatan Membran

Pelarut THF dimasukkan sebanyak 20 mL ke dalam gelas kimia dan ditambahkan 0,3 g PVC lalu diaduk dengan magnetik stirer. Ditambahkan Na_2S sebanyak 0,6 g dan ditambahkan dengan pemelastis DOP sebanyak 0,6 mL dihomogenkan dengan menggunakan stirrer selama 6 jam. Lalu campuran yang telah homogen dituang ke plat kaca berupa cawan petri dan dibiarkan hingga pelarut THF menguap, sehingga diperoleh membran Na_2S .

2.2.2. Pendopan Membran

Membran dipotong menjadi beberapa bagian persegi panjang dengan sisi 1,5 cm. Membran dicelupkan ke dalam larutan CuSO_4 1 M selama 7 hari. Setelah itu, membran diangkat pada suhu kamar.

2.2.3. Perakitan Elektroda Kerja

Membran logam Cu^{2+} - Na_2S ditempelkan pada elektroda menggunakan lem. Kemudian dimasukkan larutan logam 1 M yang telah ditambahkan larutan KNO_3 1 M dengan perbandingan 1:2 (logam : KNO_3) ke dalam elektroda.

2.2.4. Karakterisasi Membran Cu^{2+} - Na_2S dengan FTIR

Analisis ini bertujuan untuk mengamati pergeseran bilangan gelombang pada membran sebelum dan sesudah didopan dengan logam.

2.2.5 Karakterisasi Elektroda Selektif Ion

Karakterisasi ESI Cu^{2+} terdiri dari Pengaruh larutan dalam, faktor Nernst dan batas deteksi, pengaruh pH, Waktu Tanggap, Waktu Hidup dan Pengaruh Ion Pengganggu. Larutan standar Cu^{2+} 1M diencerkan dengan variasi konsentrasi (1×10^{-1} - 1×10^{-7}). Larutan dalam dibuat dari pencampuran 1M logam Cu^{2+} dan 1M KNO_3 dengan variasi (1:1, 1:2 dan 1:3) dan diukur potensialnya menggunakan ESI Cu^{2+} sebagai elektroda kerja dengan menggunakan pH meter sambil diaduk dengan magnetik. Hasil Pengukuran diperoleh grafik hubungan antara potensial (mV) dan Log $[\text{Cu}^{2+}]$. Faktor Nernst ditentukan dari kemiringan rentang korelasi yang linier, sedangkan batas deteksi ditentukan dari titik yang di ekstrapolasikan kurva antara Log $[\text{Cu}^{2+}]$ terhadap potensial (mV). Dengan prosedur yang sama, dapat ditentukan pengaruh pH, Waktu Tanggap, Waktu hidup dan Pengaruh Ion Pengganggu seperti Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cl^- , NO_3^- dan SO_4^{2-} .

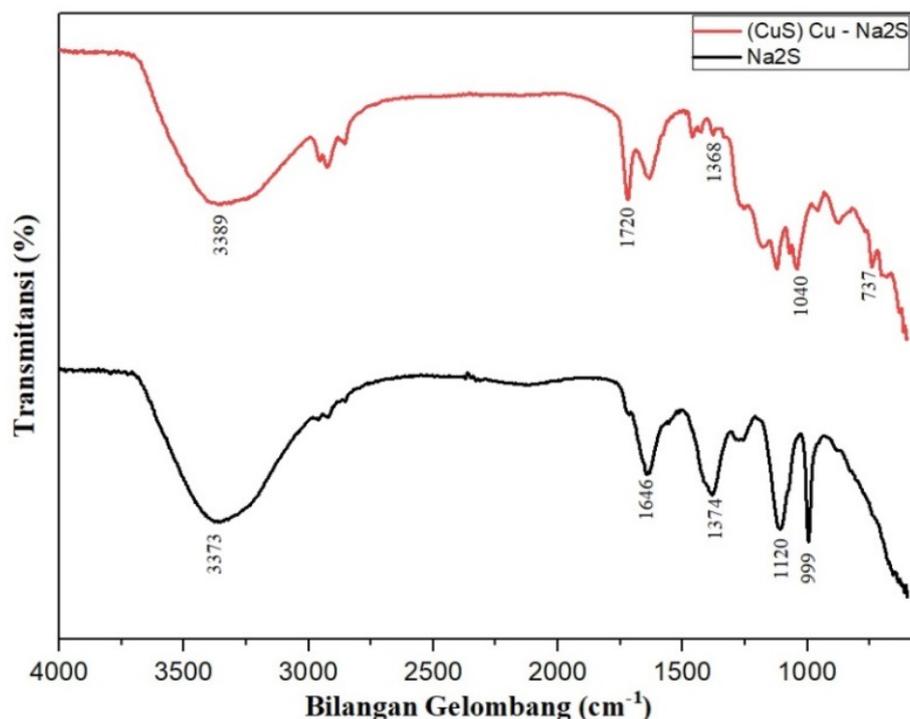
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan dan Analisa Kualitatif Membran Cu(II) - Na_2S

Secara kualitatif terjadi perubahan warna pada membran saat proses pendopan dengan logam Cu, hal ini menandakan bahwa terjadi reaksi pada membran ditandai dengan endapan hitam yang menempel pada permukaan membran dimana Na_2S merupakan reaksi selektif pada logam Cu. Semakin banyak logam dopan yang telah terikat oleh membran tersebut maka konduktivitas akan meningkat keseluruhan bagian permukaannya, sehingga akan didapat membran yang reproduisibel.

3.2 Karakterisasi Membran Cu(II) - Na_2S

Karakterisasi membran Na_2S sebelum dan sesudah dilakukan pendopan dengan logam Cu^{2+} untuk mengetahui gugus yang terbentuk dan melihat perubahan bilangan gelombang dengan menggunakan FT-IR. **Gambar 1** berikut merupakan hasil karakterisasi dari membran Na_2S . Berdasarkan **Gambar 1**, spektra FT-IR terjadi pergeseran pita serapan O-H dari gelombang 3373 cm^{-1} menjadi 3389 cm^{-1} . Pada bilangan panjang gelombang 1646 cm^{-1} menjadi 1720 cm^{-1} menunjukkan bahwa terjadi perubahan gelombang yang terjadi akibat serapan gugus C=O dari DOP dan didukung dengan pencampuran PVC sehingga muncul serapan gugus C-O pada panjang gelombang 1120 cm^{-1} menjadi 1040 cm^{-1} . Pada serapan 1374 cm^{-1} menjadi 1368 cm^{-1} menunjukkan terjadi pergeseran pada gelombang yang terjadi akibat serapan gugus C-N.



Gambar 1. Spektrum FT-IR Membran sebelum dan sesudah di-dop.

Untuk mengetahui Na_2S yang telah didop dengan logam Cu dapat dilihat berdasarkan bilangan panjang gelombang 737 cm^{-1} yang muncul pada spektra yang menunjukkan bahwa terjadi ikatan pada membran saat proses pendopan serta terbentuk ikatan Cu-S dan pada bilangan panjang gelombang 999 cm^{-1} muncul gugus dari PVC berupa serapan gugus C-H saat membran belum didop dengan logam Cu sedangkan pada membran yang telah didopan dengan membran tidak menimbulkan pergeseran panjang gelombang. Namun hal ini tidak mempengaruhi pengukuran karena elektroda pada potensiometri membutuhkan proses pengkodisian terlebih dahulu dengan menggunakan larutan standar (logam Cu).

3.3 Pengaruh Larutan Dalam

Penentuan komposisi larutan dalam ESI $\text{Cu(II)-Na}_2\text{S}$ dibuat dengan 3 perbandingan dalam dengan mengukur potensialnya sebagai mana dapat dilihat pada **Tabel 1**.

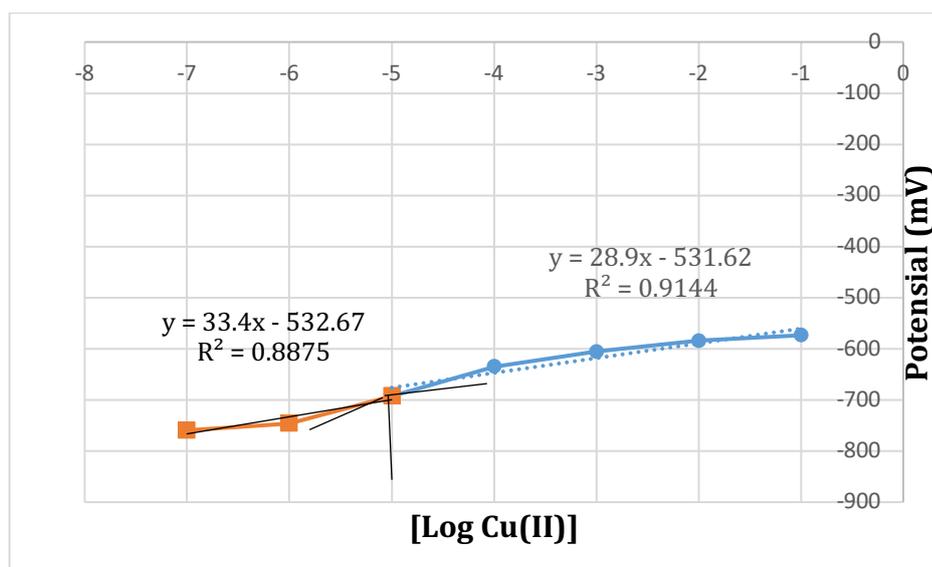
Tabel 1. Potensial (mV) ESI $\text{Cu}^{2+}\text{-Na}_2\text{S}$ pada berbagai komposisi larutan dalam.

[Cu^{2+}] (M)	Komposisi Larutan Dalam		
	1:1	1:2	1:3
Faktor Nernst (mV/dekade)	27,38	28,9	27,15

Hasil pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa komposisi larutan dalam yang optimum berada pada perbandingan larutan dalam 1:2 yang menunjukkan nilai yang paling mendekati nilai faktor Nernst yakni sebesar $28,9 \text{ mV/dekade}$ sedangkan pada perbandingan larutan dalam 1:1 dan 1:3 menunjukkan hasil faktor Nernst hanya sebesar $27,39$ dan $27,15 \text{ mV/dekade}$.

3.4 Faktor Nernst dan Batas Deteksi

Faktor Nernst diperoleh dari nilai harga kemiringan (slope) kurva antara log konsentrasi larutan uji (M) dengan potensial terukur (mV). Harga dari nilai faktor *Nernst* teoritis adalah $\frac{59,1}{n} \text{ mV/dekade}$ dengan n adalah muatan ion. Hal ini berarti untuk ESI Cu^{2+} dengan harga $n = 2$ adalah $29,5 \text{ mV/dekade}$.



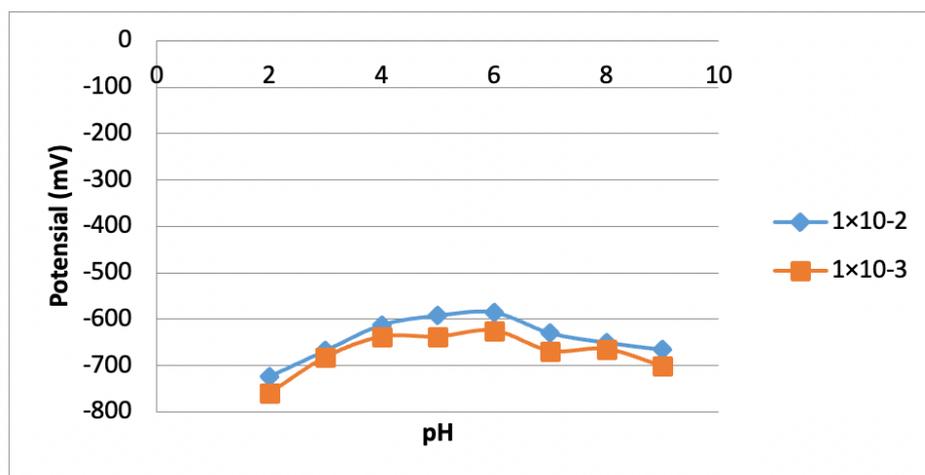
Gambar 2. Kurva potensial faktor Nernst ESI Cu^{2+} .

Berdasarkan **Gambar 2**, ESI Cu^{2+} - Na_2S menunjukkan bahwa kurva dengan konsentrasi linier antara 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , 1×10^{-2} , 1×10^{-1} M. Plot antara log dengan potensial (mV) dengan hal ini menunjukkan garis yang linear dengan kurva kemiringan 28,9 mV/dekade. Selain faktor Nernst terdapat linearitas yang menunjukkan nilai korelasi yang menyatakan sensitivitas dari suatu alat atau metode yang digunakan. Sehingga semakin linier suatu kurva yang dihasilkan akan memberikan respon secara signifikan terhadap sedikit peningkatan konsentrasi. Korelasi (r) yang baik yakni mendekati 1 hal ini menyebabkan bahwa ESI Cu^{2+} yang layak untuk digunakan dalam analisa ion Cu^{2+} .¹³ Pada kurva gambar 4.4 menunjukkan nilai korelasi yang baik di dapat sebesar 0,9144 sehingga pada data tersebut didapati korelasi yang baik. Namun jika dilihat dari perbandingan larutan dalam 1:1 dan 1:3 memiliki nilai korelasi yang tinggi tetapi faktor yang Nernst yang didapat kurang maksimal.

Batas deteksi ialah konsentrasi terendah pada analit untuk terdeteksi dalam proses analisis ESI. Penentuan untuk batas deteksi dilakukan dengan pembuatan garis singgung yang diekstrapolasikan terhadap sumbu x sebagai penentu konsentrasi batas deteksi, dimana batas deteksi dapat diperoleh dengan membuat titik potong antara garis linier dan garis nonlinier.¹⁴ Berdasarkan gambar 4.4 diperoleh batas deteksi ESI Cu^{2+} - Na_2S sebesar $0,259 \times 10^{-5}$ atau 0,6462 ppm. Dapat disimpulkan bahwa ESI Cu^{2+} - Na_2S tidak dapat memberikan respons dibawah konsentrasi tersebut karena telah melampaui batas kepekaannya dan kecilnya batas deteksi tersebut menunjukkan bahwa elektroda masih memberikan respon yang baik pada konsentrasi yang kecil.

3.5. Pengaruh pH

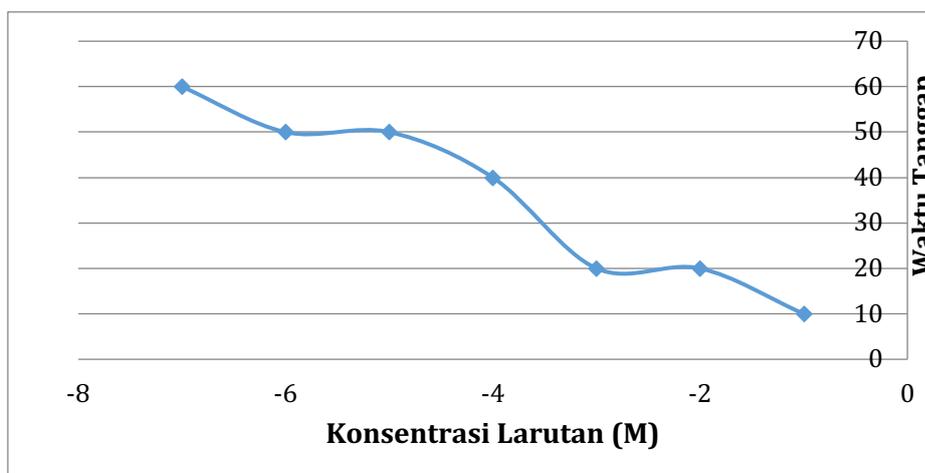
Kondisi pH yang berbeda-beda mampu memberikan respon yang berbeda pula. Pada Penelitian ini dilakukan dengan mengatur konsentrasi larutan Cu^{2+} 1×10^{-3} M dan 1×10^{-2} M pada kisaran pH 2-9 dengan menggunakan larutan HCl dan NaOH. Pengukuran hanya dilakukan pada larutan 1×10^{-3} M dan 1×10^{-2} M dengan asumsi konsentrasi yang lain akan memberikan respon potensial yang sama. Berikut merupakan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pengukuran pengaruh pH larutan Cu^{2+} terhadap potensial (mV).

3.6. Waktu Tanggap (*Response Time*)

Waktu tanggap ialah waktu yang dibutuhkan ESI untuk mencapai respon potensial yang stabil karena terjadinya kesetimbangan pada antarmuka larutan dengan permukaan elektroda.¹⁵ Kesetimbangan ini terjadi pertukaran ion Cu^{2+} dalam larutan ion Cu^{2+} pada sisi permukaan membran, sehingga jumlah nilai potensial yang diperoleh yakni potensial yang konstan.¹⁰ Dari hasil yang telah diperoleh semakin tingginya konsentrasi larutan uji maka waktu tanggap yang dihasilkan akan semakin tinggi, hal ini dikarenakan konsentrasi larutan yang tinggi mengandung ion Cu^{2+} lebih banyak dan waktu yang dibutuhkan pada membran untuk mencapai kesetimbangan akan mudah tercapai.

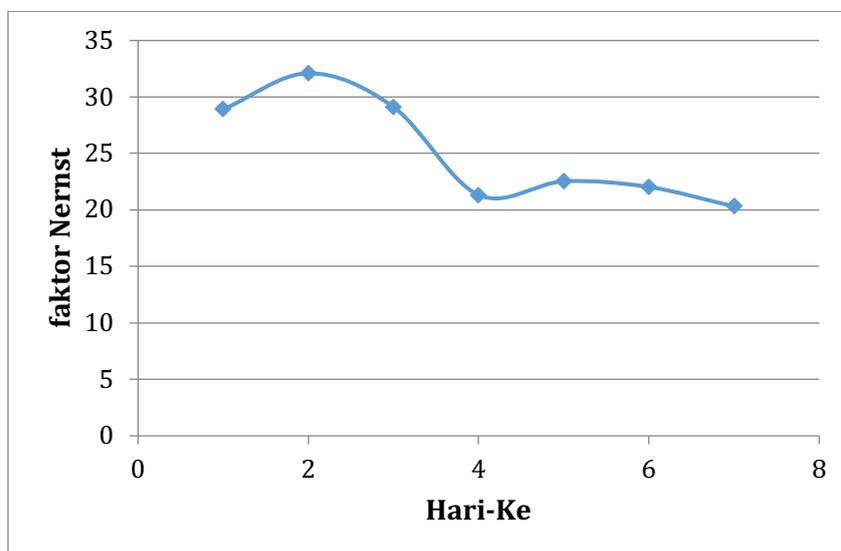


Gambar 4. Kurva waktu tanggap ESI Cu^{2+} terhadap konsentrasi larutan.

Berdasarkan Gambar 4. diperoleh waktu tanggap berkisar 10-60 detik, hal tersebut dapat disebabkan karena konsentrasi larutan yang tinggi mengandung ion Cu^{2+} yang lebih banyak dan mengakibatkan mobilitas pada ion dalam larutan menjadi meningkat jika dibandingkan dengan larutan yang konsentrasinya rendah serta waktu yang diperlukan membran untuk memperoleh suatu kesetimbangan akan semakin cepat.¹⁶ Hal tersebut disebabkan karena pada konsentrasi rendah ion dalam larutan bergerak secara bebas tetapi interaksi antar ion menjadi kecil sehingga pada konsentrasi rendah membutuhkan waktu yang lebih lama untuk berinteraksi dengan ion dalam analit.¹⁷

3.7. Waktu Hidup (*Life Time*)

Waktu hidup ialah waktu yang menunjukkan berapa lama ESI tersebut layak digunakan dengan mengukur nilai perubahan faktor Nernst selama 7 hari, sehingga akan diketahui nilai hasil mendekati nilai teoritis atau menjauhi nilai teoritis. Adapun nilai faktor Nernst pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Kurva perubahan harga faktor Nernst ESI Cu²⁺ selama 7 hari.

Berdasarkan **Gambar 5**, diperoleh harga faktor Nernst pada hari ke-4 sebesar 21,32 mV/dekade, hari ke-5 sebesar 22,53 mV/dekade, hari ke-6 sebesar 22,03 Mv/dekade dan hari ke-7 sebesar 20,31 mV/dekade. Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor Nernst telah mengalami penurunan drastis yang menandakan ESI Cu²⁺ sudah tidak layak digunakan, sehingga elektroda ini hanya mampu digunakan dalam 3 hari untuk waktu hidup. Penurunan ini dapat terjadi karena perubahan sisi permukaan elektroda atau penggelembungan (*swelling*) pada membran sehingga mampu mengurangi kepekaan pada ESI yang ditunjukkan dengan perubahan nilai yang menurun dari nilai faktor Nernst.¹⁸

3.8. Pengaruh Ion Pengganggu

Pengaruh ion pengganggu pada penelitian ini menggunakan metode (*Matc Potential Method*),¹⁸ dimana metode ini mencampurkan larutan ion pengganggu pada konsentrasi yang tetap (a_j) yaitu 10⁻³ M ke larutan ion utama (a_i) yang divariasikan dalam berbagai konsentrasi dari 1×10⁻⁷, 1×10⁻⁶, 1×10⁻⁵, ×10⁻⁴, ×10⁻³, ×10⁻², ×10⁻¹ M dan diukur nilai potensial larutan-larutan tersebut.

Tabel 2. Nilai K_{ij}^{pot} ESI Cu²⁺ terhadap ion pengganggu.

Ion Pengganggu	K_{ij}^{pot}
Cd ²⁺	0,5731
Zn ²⁺	0,0319
Cl ⁻	0,0482
NO ₃ ⁻	0,0476
SO ₄ ²⁻	0,3831

Berdasarkan **Tabel 2**, menunjukkan bahwa nilai dari koefisien selektivitas untuk ion pengganggu Cd²⁺, Zn²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, dan SO₄²⁻ kurang dari 1 ($K_{ij}^{pot} < 1$),¹⁹ maka dapat dinyatakan bahwa ion Cd²⁺, Zn²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, dan SO₄²⁻ pada konsenstrasi 10⁻³ M tidak memberikan respon

yang mengganggu pada kinerja ESI Cu²⁺. Hal tersebut terjadi karena ion-ion tersebut berdekatan dengan ion Cu²⁺ dan berpasangan satu sama lain secara anion kationnya.²⁰

4. KESIMPULAN

Komposisi optimum larutan dalam pada ESI Cu²⁺ yakni CuSO₄:KNO₃ adalah 1:2. Karakteristik nilai faktor Nernst sebesar 28,9 mV/dekade dan batas deteksi sebesar 1,01×10⁻⁵ M. Waktu tanggap ESI Cu²⁺ yakni 10-60 detik dan dapat digunakan selama 3 hari. ESI Cu²⁺ bekerja pada rentang pH 4-6 dan keberadaan ion pengganggu Cd²⁺, Zn²⁺, Cl⁻, NO₃⁻ dan SO₄²⁻ tidak mempengaruhi kinerja ESI Cu²⁺.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mayangsari, N. E.; Apriani, M.; Veptiyan, E. D. Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas cosmosus*) sebagai Adsorben Logam Berat Cu. *Journal of Research and Technology* **2019**, 5(2), 129-138.
2. Suyanta; Sunarto.; Padmaningrum, R. T. Validasi Metode Analisis Ion Logam Tembaga dan Besi Secara Spektrofotometri Dan Voltametri. Laporan Penelitian Research Group. Universitas Negeri Yogyakarta. **2018**.
3. Awaluddin, I. P.; Wahab, A. W.; Maming, M. Desain Elektroda Selektif Ion Untuk Logam Timbal (II)(ESI-Pb (II)) Menggunakan Ionofor Pt-Butilkaliks [4] Arena. *Al-Kimia* **2015**, 3(1), 24-33.
4. Napitupulu, L. S.; Purwanti, I. F. Kajian Fitostabilisasi Limbah Hasil Tambang Tembaga (Tailing). *Jurnal Teknik ITS* **2022**, 11(3), F99-F104.
5. Kurniasih, D.; Atikah, A.; Sulistyarti, H. Karakterisasi Elektroda Selektif Ion (ESI) Kromat Tipe Kawat Terlapis Berbasis Kitosan. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia* **2016**, 7(1), 10-19.
6. Farida, U. Pembuatan Elektroda Selektif Ion (ESI) Sitrat Tipe Kawat Terlapis Berbasis Aliquat 336-Sitrat. Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang, **2016**.
7. Deviana, S. A.; Fardiyah, Q. Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Sulfat Tipe Kawat Terlapis Berbasis Piropilit. *Kimia Student Journal* **2013**, 1(1), 22-28.
8. Wonorahardjo, S. *Pengantar Kimia Analitik Modern: Metode dan Aplikasi*; Penerbit Andi, **2020**.
9. Iyabu, H. Elektroda Selektif Ion. Resume untuk Mata Kuliah Kimia Analitik III oleh Yuyan Ali Usman. Universitas Negeri Gorontalo **2020**.
10. Umaningrum, D.; Ariyani, D.; Nurmasari, R. Komposisi Membran Optimum pada Elektrode Selektif Ion Methanil Yellow. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia* **2015**, 9(2), 81-87.
11. Wijanarko, A.; Atikah, A.; Fardiyah, Q. Pengaruh Ion Asing terhadap Kinerja Elektroda Selektif Ion (ESI) Cd (II) Tipe Kawat Terlapis Berbasis D2EHPA Serta Aplikasinya pada Penentuan Kadar Kadmium Dalam Air Sungai. *Kimia Student Journal* **2013**, 2(2), 546-552.
12. Bailey, P. L. *Analysis with Ion-Selective Electrodes*. Second Edition (Heyden International Topics in Science). Wiley-Blackwell. **1980**.
13. Yuntarso, A.; Harsini, M.; Herawati, D.; Ngibad, K. Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion Pb²⁺ Jenis Kawat Perak Terlapis dengan Ionofor 1, 10-dibenzyl-1, 10-diaza-18-crown-6. *Jurnal SainHealth* **2018**, 2(1), 21-30.
14. Panggabean, A. S.; Ayu, F.; Mulyono, S.; Mandang, I. Penentuan Komposisi Optimum Dan Karakterisasi Membran Elektroda Selektif Ion Cu²⁺. *SEMIRATA 2015* **2015**.
15. Kembaren, A.; Panggabean, R. T. T. Pembuatan Elektroda Selektif Ion Cr (VI) dengan Menggunakan Membran Kitosan. *Jurnal Pendidikan Kimia* **2014**, 6(1), 69-78.
16. Panggabean, A.; Gripaldi, F.; Pasaribu, S. P. Preparation and Characterization of Pb (II) Ion Selective Electrode based on Dithizone as Chemical Sensor. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry* **2021**, 13(3), 383-392.

17. Novitasari, E.; Anggraeni, A. R.; Muhiroh, M. W. D.; Mulyasuryani, A. Sensor Timbal Berbasis Potensiometri Untuk Mendeteksi Kadar Timbal. *Jurnal Penelitian Saintek* **2017**, *21*(1), 47–54.
18. Fidayana, R. A.; Wirawan, T.; Panggabean, A. S. Validation Of Ion Selective Electronic Methods At Pupuk Kalimantan Timur Company For Determining Ammonia Levels (NH₃) In Ambient Air. *Jurnal Kimia Mulawarman* **2021**, *19*(1), 1–7.
19. Suheryanto, Z. F.; Meilina, L. Validasi Metode Potensiometri untuk Penentuan Logam Timbal (Pb) pada Sampel Lindi. In *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*; Badan Standardisasi Nasional, **2019**, Vol. 2019, 229–234.
20. Panggabean, A. S. Preparation and characterization ion selective electrode Cd (II) based on chitosan in PVC membrane. *Indonesian Journal of Chemistry* **2011**, *11*(3), 285–289.