

Pengembangan elektroda referensi Cu/CuSO₄ padatan berbasis membran fotopolimer pHEMA

Andaranti Kwartania*, Sagir Alva

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia

Article Info

Article history

Received June 7, 2021

Revised October 12, 2021

Accepted November 5, 2021

Keywords

Solid-state reference electrode;

Photopolymer;

pHEMA;

Cu/CuSO₄;

Ag/AgCl;

ABSTRACT

The reference electrode plays a role in the electrochemical measurement process as a comparison electrode. In this study, 3 variations of Cu/CuSO₄ solid-state reference electrode were prepared using poly (Hydroxyethyl) Methacrylate (pHEMA) as a membranes with photopolymer technique. The three electrodes were tested for ΔmV with a solution of pH 4, pH 7 and pH 10, whereas in Cu/CuSO₄ III electrode as the best Cu/CuSO₄ reference electrode with an mV value of 11,4 mV. The Cu/CuSO₄ reference electrode III are further tested, namely cyclic voltammetry testing, pH sensor Vs testing, and drift testing. In this test, the Cu/CuSO₄ reference electrode III produced the same cyclic voltammogram chart pattern as the Ag/AgCl reference electrode. In the Vs sensor test, the slope value of the Cu/CuSO₄ reference electrode III was 50,933 mV/decade and the slope value in the Ag/AgCl reference electrode was 45,55 mV/decade. The results showed that the Cu/CuSO₄ reference electrode III showed a fairly good stability with a drift value of 0.5 mV/minute from the drift test results.

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



*Corresponding Author

Andaranti Kwartania,

Jurusan Teknik Mesin,

Fakultas Teknik,

Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

Email: andarakwart18@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pengukuran secara elektrokimia banyak mendapat perhatian pada saat ini. Hal ini disebabkan pengukuran secara elektrokimia memiliki keuntungan diantaranya biaya operasional yang lebih murah, pengoperasiannya lebih mudah, dan instrument yang digunakan relatif dengan ukuran kecil [1]. Pengukuran secara elektrokimia telah banyak dilakukan pada bidang lingkungan [2], [3], klinikal dan farmasi [18], industri makanan [4], pertanian dan perikanan [3], air bersih [5], konstruksi [6], sintesis bahan kimia [7], pelapisan logam [8] dan juga pada bidang industri perminyakan dan gas [9].

Elektroda referensi merupakan komponen penting dalam pengukuran potensiometri. Tanpa adanya elektroda referensi, pengukuran ion dengan metode potensiometri tidak dapat dilakukan [10]. Elektroda referensi memiliki fitur utama diantaranya memiliki nilai potensial yang relatif tetap dan tidak mudah dimodifikasi bahkan ketika kondisi lingkungan berubah. Berkat fitur ini, elektroda referensi akan berperan dalam proses pengukuran elektrokimia sebagai elektroda pembanding [10], [11], [18].

Elektroda referensi yang biasa digunakan dalam pengukuran elektrokimia adalah elektroda kalomel atau biasa disebut *saturated calomel electrode* (SCE) dan elektroda Ag/AgCl. Kedua elektroda referensi ini memiliki persamaan yaitu memiliki kestabilan yang cukup baik. Namun keduanya juga masih memiliki kekurangan. Pada elektroda kalomel memiliki komponen kimia yang beracun seperti logam merkuri yang merupakan logam berat yang berbahaya. Pada aplikasinya melibatkan suhu yang tinggi, logam merkuri yang

terdapat pada elektroda kalomel berpotensi menghasilkan gas merkuri oksida yang beracun [10]. Kemudian pada elektroda Ag/AgCl memiliki kekurangan seperti larutan ion klorida jenuh yang terdapat pada elektroda Ag/AgCl sering kali mencemari sampel selama proses pengukuran. Hal ini dapat mengurangi akurasi proses pengukuran. Bahkan elektroda kalomel dan elektroda Ag/AgCl keduanya sama-sama memiliki kekurangan yaitu biaya fabrikasi yang relatif lebih mahal [12].

Elektroda Cu/CuSO₄ yang juga merupakan salah satu dari elektroda referensi, dapat dijadikan alternatif lain dari elektroda kalomel dan elektroda Ag/AgCl. Elektroda ini memiliki nilai potensial sekitar 337 mV dan menggunakan larutan CuSO₄ sebagai elektrolit, dimana elektrolit ini relatif tidak mengganggu untuk kebanyakan jenis sampel [12].

Beberapa penelitian pengembangan elektroda Cu/CuSO₄ yang telah dilakukan diantaranya oleh Derek M. Hall, et al tahun 2016, dalam penelitiannya terfokuskan pada pengembangan elektroda referensi Cu/CuSO₄ yang diuji dengan suhu tinggi [13]. Kemudian penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Marysca Shintya Dewi pada pengembangan elektroda referensi Cu/CuSO₄ jenis padatan yang dibuat 2 variasi dimana pada elektroda referensi Cu/CuSO₄ I menggunakan 2 lapisan yaitu lapisan CuSO₄ serta lapisan selulosa dimana lapisan membrannya pecah, karena lapisan CuSO₄ sendiri terdiri dari dua komponen yaitu kristal CuSO₄ serta arabic gum, dimana CuSO₄ berfungsi sebagai elektrolit [11]. Sementara itu elektroda referensi dengan dengan teknik fotopolimer menggunakan pHEMA sudah pernah diaplikasikan pada elektrodasi referensi padatan jenis planar Ag/AgCl pada penelitian sebelumnya. Elektroda referensi planar Ag/AgCl ini juga memberikan kinerja yang baik [14]. Namun elektroda referensi dengan dengan teknik fotopolimer menggunakan pHEMA belum pernah diaplikasikan pada elektrodasi referensi padatan Cu/CuSO₄.

Berdasarkan penelitian-penelitian mengenai elektroda referensi yang dijabarkan di atas, elektroda referensi yang digunakan masih banyak menggunakan bentuk konvensional, cenderung memiliki bentuk yang lebih besar untuk ukurannya, untuk pengembangannya elektroda referensi Cu/CuSO₄ jenis padatan masih terbatas. Hal ini menarik untuk dapat dipelajari dan diteliti lebih lanjut mengenai elektroda referensi Cu/CuSO₄ ini [10]. Maka dari itu penelitian ini mencoba mengembangkan lagi elektroda Cu/CuSO₄ dengan jenis padatan dengan bahan yang lebih sederhana, dan berbiaya murah serta berbasis membran fotopolimer pHEMA.

2. METODE DAN BAHAN

Alat.—Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah perangkat *electrochemical workstation* jenis *Corrtest CS350* dari *Corrtest Wuhan Instrument Corp, Ltd.*, *Micro Mini Solarize UV Exposure* seri SC-280, elektroda referensi Ag/AgCl jenis dua jembatan Orion® 900200 dari *Thermo Fisher*, elektroda grafit pensil (EGP) jenis 2B dari Joyko serta elektroda karbon jenis SPE dari *Script Print Bhd Malaysia*.

Bahan.—Dalam penelitian ini, beberapa bahan yang digunakan diantaranya adalah kristal biru CuSO₄, plat tembaga dengan ketebalan 0,2 mm, kawat kabel tembaga, resin epoksi dan pengeras dari Araldite, Potassium klorida (KCl), pirol, *2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone* (DMPP), Heksadinol diakrilat (HDDA), *Hydroxyethyl Methacrylate* (HEMA), dan larutan pH 4, pH 7, dan pH 10 dari *Hanna Instruments*.

Eksperimen.—Preparasi elektroda Cu/CuSO₄ padatan.—Plat tembaga dipotong dengan ukuran ± 1cm x 1cm sebanyak 3 buah, masing-masing potongan tembaga kemudian diampelas hingga halus untuk mengurangi oksidasi dan reduksi, disambung kabel menggunakan solder. Permukaan depan ditambahkan pipa teflon menggunakan lem epoksi hingga menempel sempurna, lem epoksi yang digunakan dengan komposisi 1:1 resin epoksi dan pengeras. Pada bagian dalam pipa teflon diberi lem epoksi guna meletakkan kristal CuSO₄ yaitu sebanyak 0,07gr yang kemudian dipadatkan. Elektroda Cu/CuSO₄ sudah siap digunakan untuk eksperimen selanjutnya.

Polimerisasi pHEMA.—Pada penelitian ini komposisi untuk pembuatan larutan pHEMA 30 µl terdiri dari HEMA 1ml, HDDA 1,6 % dari 1ml volume HEMA, dan DMPP 10 mg. Timbang DMPP sebanyak 10 mg menggunakan timbangan mikro. Setelah ditimbang dengan sesuai tambahkan 1 ml HEMA dan 1,6 % HDDA dari 1 ml volume HEMA menggunakan pipet mikro. Guncang-guncangkan hingga larut sempurna dan larutan siap dijadikan bahan polimer. Kemudian larutan pHEMA diteteskan pada seluruh permukaan tembaga menggunakan pipet mikro. Proses polimerisasi menggunakan *Micro Mini Solarize UV Exposure* dengan cara disinari sinar uv dengan 3 variasi berapa lama waktu polimerisasi masing-masing elektroda di bawah aliran gas nitrogen. Elektroda Cu/CuSO₄ I dengan durasi 10,5 menit, elektroda Cu/CuSO₄ II dengan durasi 7,5 menit, dan elektroda Cu/CuSO₄ III dengan durasi 3,5 menit Hasil polimerisasi yang telah dilakukan bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Elektroda Cu/CuSO₄

Setelah ketiga elektroda Cu/CuSO₄ selesai dipreparasi, selanjutnya dilakukan proses pengujian respon ΔmV KCl, elektroda Cu/CuSO₄ yang mempunyai nilai ΔmV yang terbaik dipilih untuk pengujian *Cyclic Voltammetric (CV)*, pengujian dengan sensor pH, serta pengujian *drift*.

3. HASIL DAN DISKUSI

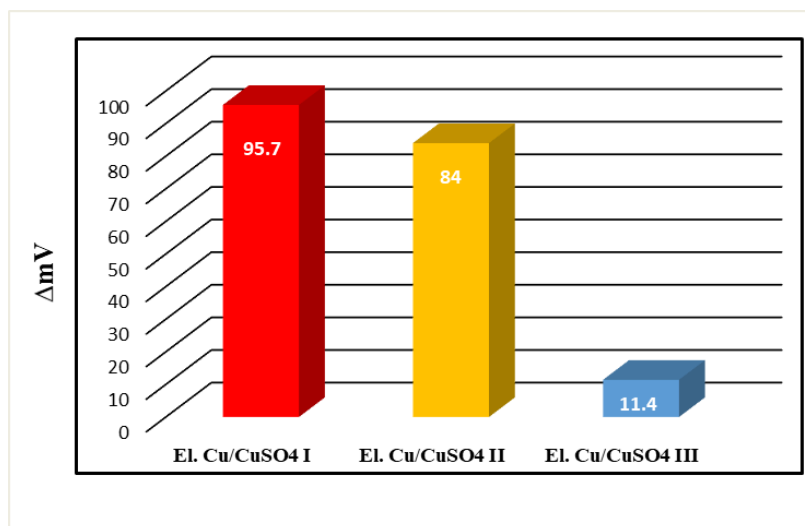
3.1. Pengukuran ΔmV

Pengukuran ΔmV bertujuan untuk melihat dampak perubahan potensial yang terjadi akibat perubahan konsentrasi lingkungan sampel, dimana elektroda acuan harus mempunyai nilai potensial tetap meskipun konsentrasi sampel berubah [18]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Electrochemical Workstation* yang dihubungkan dengan 2 elektroda dimana elektroda Cu/CuSO₄ sebagai elektroda kerja (WE) dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda referensi (RE). Elektrolit yang digunakan untuk pengujian adalah larutan pH 4, pH 7, dan pH 10. Hasil pengujian ΔmV ini dapat dilihat pada tabel dan gambar 2 di bawah ini.

Tabel 1: Nilai ΔmV Elektroda Cu/CuSO₄ dengan Larutan pH 4, pH 7, dan pH 10

Log [H ⁺]	Elektroda Cu/ CuSO ₄ I (mV)	Elektroda Cu/ CuSO ₄ II (mV)	Elektroda Cu/ CuSO ₄ III (mV)
-4	-168.3	-101.6	-113.6
-7	-264	-185.6	-104.7
-10	-232.1	-144.8	-125
DmV	95.7	84	11.4

Berdasarkan gambar 4.1 nilai ΔmV elektroda Cu/CuSO₄ I sebesar 95,7 mV, elektroda Cu/CuSO₄ II sebesar 84 mV, dan elektroda Cu/CuSO₄ III sebesar 11,4 mV. Ini mengindikasikan bahwa elektroda Cu/CuSO₄ III memiliki ciri-ciri elektroda referensi yang mana memiliki nilai ΔmV kurang dari 12 mV [10]. Pada saat dilakukan fotopolimer elektroda Cu/CuSO₄ I dengan durasi 10,5 menit, elektroda Cu/CuSO₄ II dengan durasi 7,5 menit, dan elektroda Cu/CuSO₄ III dengan durasi 3,5 menit. Ini berarti fotopolimer pada elektroda Cu/CuSO₄ I dan elektroda Cu/CuSO₄ II membran yang dihasilkan terlalu keras karena durasi polimerisasi terlalu lama. Hal ini akan menyebabkan proses migrasi ion elektrolit terganggu dan meningkatkan resistansi ohmik, maka kesetimbangan termodinamika antara elektroda referensi dan sampel tidak tercapai. Kegagalan mencapai kesetimbangan termodinamika antara sampel dengan elektroda Cu/CuSO₄ I dan elektroda Cu/CuSO₄ II menyebabkan kestabilan potensial sulit dicapai [10]. Maka demikian elektroda Cu/CuSO₄ III yang paling optimum untuk digunakan sebagai elektroda referensi karena nilai potensialnya yang lebih kecil dibanding elektroda Cu/CuSO₄ I dan Cu/CuSO₄ II dan elektroda Cu/CuSO₄ III siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.



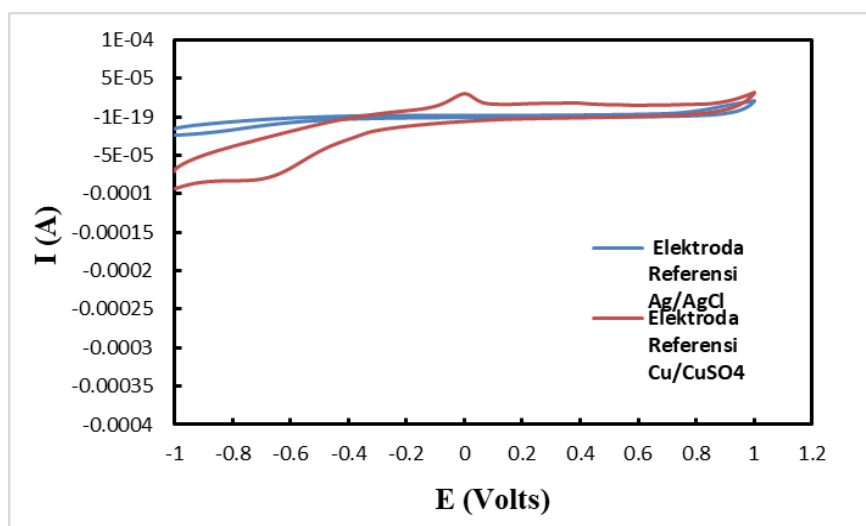
Gambar 2: Nilai ΔmV 3 Variasi Elektroda Cu/CuSO₄

3.2. Pengujian Voltametri Siklik

Pengujian siklik voltametri merupakan eksperimen elektrokimia terpenting yang dilakukan untuk mengkarakterisasi bahan elektroda untuk setiap jenis aplikasi. Uji voltametri siklik menggunakan susunan tiga elektroda, dengan potensi relatif terhadap RE yang dipindai pada WE, sedangkan arus yang dihasilkan mengalir melalui elektroda penghitung (atau tambahan) dipantau dalam larutan analit pendukung yang tidak digerakkan [15]. Maka dari itu pengujian siklik voltametri penting dilakukan untuk melihat kinerja dan kemampuan yang dimiliki oleh elektroda referensi Ag/AgCl dan elektroda referensi Cu/CuSO₄.

Pengujian voltametri siklik pada elektroda Ag/AgCl menggunakan alat Electrochemical Workstation yang dihubungkan dengan 3 elektroda dimana elektroda *screen-printed* sebagai elektroda kerja (WE), elektroda grafit pensil sebagai elektroda bantu (CE) dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda referensi (RE). Elektrolit yang digunakan untuk pengujian adalah larutan KCl 0.1 Mol sebanyak 10mL dengan dengan *scan rate* 100 mv/s dan *cycle* 1.

Pengujian voltametri siklik pada elektroda referensi Cu/CuSO₄ menggunakan alat *Electrochemical Workstation* yang dihubungkan dengan 3 elektroda dimana elektroda grafit pensil sebagai elektroda kerja (WE), elektroda grafit pensil juga sebagai elektroda bantu (CE) dan elektroda. Hasil pengujian keduanya dibandingkan dengan bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Grafik Pengujian Voltametri Siklik

Pada gambar 3 garis biru adalah grafik cyclic voltammogram elektroda referensi Ag/AgCl dan garis oranye adalah grafik cyclic voltammogram elektroda referensi Cu/CuSO₄. Berdasarkan gambar 3 terlihat bahwa kedua elektroda referensi ini menghasilkan pola grafik *cyclic voltammogram* yang sama, dimana pola ini merupakan ciri khas dari elektroda karbon dan ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya. Dimana sifat dasar dari elektroda karbon adalah bersifat inert, sehingga tidak mudah mengalami

reaksi oksidasi ataupun reduksi [10], [11]. Dalam gambar 3 juga terlihat ada puncak oksidasi pada pola grafik elektroda referensi Cu/CuSO₄, hal ini terjadi karena adanya kontaminan dari larutan CuSO₄. Maka demikian elektroda referensi Cu/CuSO₄ hasil dari preparasi memiliki kinerja yang tidak jauh berbeda dengan elektroda referensi Ag/AgCl dan juga berfungsi dengan baik dalam pengujian voltametri siklik.

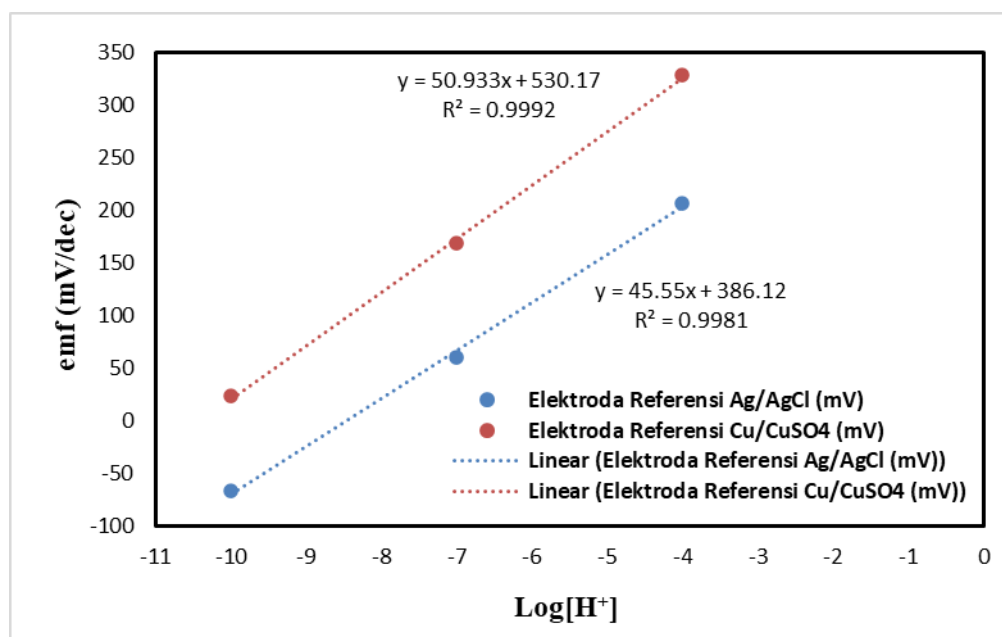
3.3. Pengujian Vs Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan. Pengukuran dan pengendalian pH adalah sangat penting untuk berbagai studi kimia dan biologi di laboratorium dan berbagai bidang industri [19]. Pada pengujian ini menggunakan metode pengukuran potensiometri. Pengukuran secara potensiometri memiliki keunggulan dibanding metode pengukuran lain yaitu sampel yang tidak rusak, tidak terganggu oleh warna, jarak pengukuran yang luas, murah, dapat dijalankan secara in-situ, tidak diperlukan sampel dalam jumlah besar [2]. Dalam pengujian ini elektroda referensi Cu/CuSO₄ bersanding dengan sensor pH. Maka sebelum dilakukan pengujian dilakukan pembuatan sensor pH. Pembuatan sensor pH terdiri dari pengujian oksidasi dan reduksi, pelapisan pirol, lalu dilanjutkan dengan pengujian secara potensiometri dengan larutan pH.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Electrochemical Workstation* yang dihubungkan dengan 2 elektroda dimana elektroda *Screen-Printed* sebagai elektroda kerja (WE) dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda referensi (RE). Elektrolit yang digunakan untuk pengujian adalah larutan pH 4, pH 7, dan pH 10. Kemudian dilanjutkan pengujian dengan menggunakan alat *Electrochemical Workstation* yang dihubungkan dengan 2 elektroda dimana elektroda *Screen-Printed* sebagai elektroda kerja (WE) dan elektroda Cu/CuSO₄ sebagai elektroda referensi (RE). Elektrolit yang digunakan untuk pengujian adalah larutan pH 4, pH 7, dan pH 10. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 4.

Tabel 2: Data Pengujian Vs Sensor pH

Log [H ⁺]	Elektroda Referensi Ag/AgCl (mV)	Elektroda Referensi Cu/CuSO ₄ (mV)
-4	207.4	329
-7	60.3	168.5
-10	-65.9	23.4



Gambar 4: Grafik Pengujian Vs Sensor pH

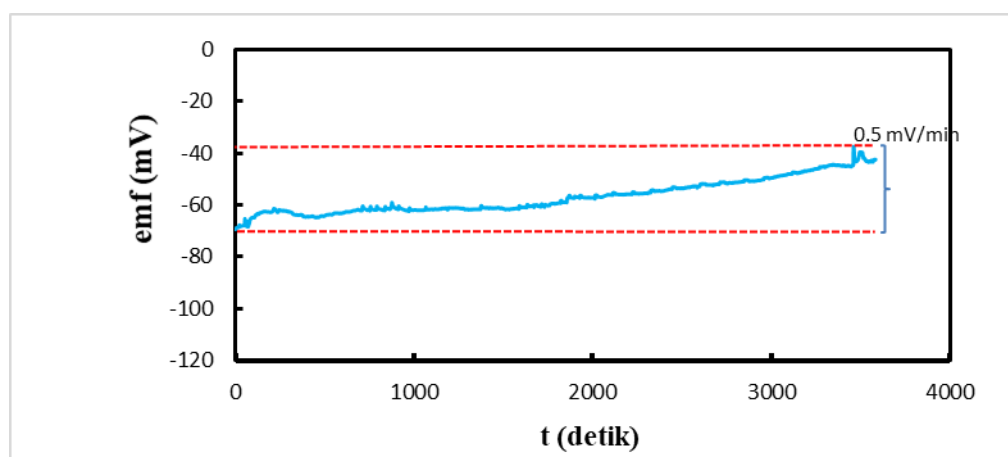
Berdasarkan pada gambar 4 nilai *slope* pada elektroda referensi Cu/CuSO₄ sebesar 50,933 mV/dekade dan nilai *slope* pada elektroda referensi Ag/AgCl sebesar 45,55 mV/dekade. Nilai *slope* pada elektroda referensi Cu/CuSO₄ dan nilai *slope* pada elektroda referensi Ag/AgCl masih sesuai dengan standar bilangan Nernst.

Maka demikian pengujian ini dilakukan menggunakan sensor pH, karena sensor pH memiliki struktur perangkat yang sederhana dan biaya murah. Sensor pH didasarkan pada teknik potensiometri, mengukur EMF antara dua elektroda. Sensor pH secara akurat dan kuantitatif mengukur tingkat pH sampel

sesuai dengan perilaku Nernstian. Sensor pH menunjukkan kinerja sensor yang sangat baik dengan sensitivitas $62,4\text{mV/pH}$, pengulangan retensi $97,9\%$, waktu respons $12,8$ detik [20].

3.4. Pengujian *Drift*

Pada pengujian *drift* ini bertujuan untuk melihat kinerja stabilitas elektroda referensi dalam pengukuran kontinyu [10], [16]. Dalam pengujian *drift* menggunakan alat *Electrochemical Workstation* yang dihubungkan dengan 2 elektroda dimana elektroda Cu/CuSO₄ sebagai elektroda kerja (WE) dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda referensi (RE). Elektrolit yang digunakan untuk pengujian adalah larutan pH 7. Pengujian *drift* dilakukan selama 1 jam, pengujian dilakukan dengan potensiometri. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik di gambar 5.



Gambar 5: Grafik Pengujian *Drift* Selama 1 jam Pengukuran

Berdasarkan gambar 5 pada grafik terlihat bahwa pada awal pengukuran nilai minimum $-69,4$ mV dan nilai mV akan cenderung naik dimana nilai maksimum $-37,5$ mV kenaikan disebabkan terjadinya proses pengeluaran ion elektrolit dari elektroda referensi Cu/CuSO₄ secara perlahan, yang akan merubah keseimbangan konsentrasi elektrolit. Pengujian drift ini menghasilkan nilai $0,5$ mV/menit dan ini adalah masih dalam batas yang masih diterima, dimana secara teori nilai kestabilan (*drift*) yaitu maksimum kurang dari 1 mV/menit [10], [11], [17].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian ΔmV elektroda Cu/CuSO₄ III memiliki ciri-ciri elektroda referensi yang dimana memiliki nilai ΔmV kurang dari 12 mV yaitu sebesar $11,4$ mV.

Berdasarkan pengujian voltametri siklik menghasilkan pola grafik *cyclic voltammogram* yang sama, dimana pola ini merupakan ciri khas dari elektroda karbon. Berdasarkan pengujian sensor pH kedua elektroda sama-sama menghasilkan nilai *slope* yang masih sesuai standard bilangan Nernst. Nilai *slope* pada elektroda referensi Cu/CuSO₄ didapat $50,933$ mV/dekade dan nilai *slope* pada elektroda referensi Ag/AgCl sebesar $45,55$ mV/dekade.

Berdasarkan pengujian *drift* menghasilkan nilai 0.5 mV/menit dan ini adalah masih dalam batas yang masih diterima. Dimana secara teori nilai kestabilan (*drift*) adalah maksimum kurang dari 1 mV/menit. Elektroda yang dibuat dapat berfungsi sebagai elektroda referensi serta sudah memenuhi standar.

PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih diberikan kepada Bapak Sagir Alva selaku pembimbing yang membantu kelancaran proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Universitas Mercu Buana, khususnya Program Studi Sarjana Teknik Mesin dan Fakultas Teknik di Universitas Mercu Buana yang telah mendukung penyelesaian penelitian ini melalui pemakaian fasilitas laboratorium material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maryanto, A., & Kurniawan, F. (2016). Fabrikasi elektroda pembanding Ag/AgCl menggunakan membran Poliisoprena dan LDPE. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 2–5.
- [2] Alva, S., Widinugroho, A., Adrian, M., Khaerudini, D. S., Pratiwi, S. E., & Aziz, A. S. A. (2019). The New Lead (II) Ion Selective Electrode Based On Free Plasticizer Film of pTHFA Photopolymer. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(15), B1513–B1519. <https://doi.org/10.1149/2.0601915jes>
- [3] Alva, S., Suherman, R., Friandita, V., Khaerudini, D. S., Majlan, E. H., & Aziz, A. S. A. (2020). Preliminary

- study of poly(Tetrahydrofurfuryl acrylate) thin film as a potential material of ion selective electrodes: The case of nitrate ion-selective electrode. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(3), 645–654. <https://doi.org/10.22146/ijc.44478>
- [4] Sudarvizi, A., Pandian, K., Oluwafemi, O. S., & Gopinath, S. C. B. (2018). Amperometry detection of nitrite in food samples using tetrasulfonated copper phthalocyanine modified glassy carbon electrode. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 272, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.05.147>
- [5] Izadyar, A., Al-Amoody, F., & Arachchige, D. R. (2016). Ion transfer stripping voltammetry to detect nanomolar concentrations of Cr (VI) in drinking water. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 782, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.10.002>
- [6] Maruthapandian, V., Saraswathy, V., & Muralidharan, S. (2016). Development of solid state embeddable reference electrode for corrosion monitoring of steel in reinforced concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 74, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.09.001>
- [7] Liang, S., & Zeng, C. C. (2020). Organic electrochemistry: Anodic construction of heterocyclic structures. *Current Opinion in Electrochemistry*, 24, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.06.005>
- [8] Huang, P., & Zhang, Y. (2018). Electrodeposition of nickel coating in choline chloride-urea deep eutectic solvent. *International Journal of Electrochemical Science*, 13(11), 10798–10808. <https://doi.org/10.20964/2018.11.65>
- [9] Wright, R. F., Lu, P., Devkota, J., Lu, F., Ziomek-Moroz, M., & Ohodnicki, P. R. (2019). Corrosion sensors for structural health monitoring of oil and natural gas infrastructure: A review. *Sensors (Switzerland)*, 19(18). <https://doi.org/10.3390/s19183964>
- [10] Alva, S., Ardiyansyah, D., Khaerudini, D. S., & Suherman, R. (2019). Solid-State Reference Electrode Based on Thin-Films of Tetrahydrofurfuryl Acrylate (pTHFA) Photopolymer. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(8), B598–B603. <https://doi.org/10.1149/2.1331906jes>
- [11] Alva, S., Aziz, A., Syono, M. I., & Sebayang, D. (2017). Development of solid-state reference electrode based on sodium polyanethol sulfonate immobilised on cellulose acetate. *Journal of Physical Science*, 28(2), 161–179. <https://doi.org/10.21315/jps2017.28.2.11>
- [12] Dewi, M. S. (2020). Pengembangan Dan Karakterisasi Elektroda Referensi Cu/Cuso4 Padatan. Laporan Tugas Minor. Universitas Mercu Buana, Jakarta
- [13] Hall, D. M., Beck, J. R., Brand, E., Ziomek-Moroz, M., & Lvov, S. N. (2016). Copper-Copper Sulfate Reference Electrode for Operating in High Temperature and High Pressure Aqueous Environments. *Electrochimica Acta*, 221, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.10.143>
- [14] Alva, S. (2010). Durable Planar Reference Electrode. International Publication, WIPO Patent WO 2010/021536 A2
- [15] Nnamchi, P. S., & Obayi, C. S. (2018). Electrochemical characterization of nanomaterials. In *Characterization of Nanomaterials: Advances and Key Technologies*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101973-3.00004-3>
- [16] Alva, S., Binti Abdul Aziz, A. S., Bin Syono, M. I., & Bin Wan Jamil, W. A. (2018). Ag/AgCl reference electrode based on thin film of arabic gum membrane. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(3), 479–485. <https://doi.org/10.22146/ijc.28859>
- [17] Ying, K. S., Heng, L. Y., Hassan, N. I., & Hasbullah, S. A. (2020). A New and All-Solid-State Potentiometric Aluminium Ion Sensor for Water Analysis. *Sensors*, 20(23), 6898. doi:10.3390/s20236898
- [18] Alva, S., Hindasah, E., Jamil, W. A. W., Prasetyorini, T., (2019). Development of Integrated Planar Chloride Ion-Selective Electrode and Ag/AgCl Reference Electrode based on Chitosan/Cellulose Acetate Membrane for Blood Serum Analysis. *Bioanal. Electrochem.*, 11(12), 1669–1686.
- [19] Manurung, A. D. an R. V. (2011). Mikrofabrikasi Elektroda untuk Aplikasi Deteksi Konsentrasi [H⁺] dengan Teknologi Lapisan Tebal. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*, 2(1), 7–12.
- [20] Park, H. J., Yoon, J. H., Lee, K. G., & Choi, B. G. (2019). Potentiometric performance of flexible pH sensor based on polyaniline nanofiber arrays. *Nano Convergence*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40580-019-0179-0>