

Performa Elektroda Referensi Solid Sekali-Pakai (*Disposable Solid-State*) Cu/CuSO₄ Sebagai Pengganti Elektroda Referensi Komersial Ag/AgCl Untuk Pengukuran Potensial Korosi

Syarizal Fonna^{1,*}, M. Rafiqi¹, Syifaul Huzni¹, M. Ihsan²

¹ Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia

² Engineering faculty, Universitas Gajah Putih, Aceh, Indonesia

E-mail: syarizal.fonna@usk.ac.id

Abstract

The reference electrode is one of the components of the corrosion potential measuring instrument, all this time the reference electrode used depends on commercial products which are relatively expensive, so they are rarely used as disposable reference electrodes that are planted directly on concrete for corrosion monitoring. The type of reference electrode used in this study focuses on solid Cu/CuSO₄, with consideration that it is more resistant to leakage than the liquid type, and the use of Cu/CuSO₄ which is relatively non-polluting to steel. The aim of this research is to develop a disposable solid-state reference electrode for the application of corrosion potential measurement in reinforcing steel. Disposable solid-state reference electrode Cu/CuSO₄ is made with Teflon pipe as the main material, copper sheet as conductor, CuSO₄ as electrolyte and DOP solution + PVC resin + THF as porous plug electrode. In this study, an OCP test was performed for 10 minutes and 10 repetitions for every 3 samples of disposable solid-state reference electrode Cu/CuSO₄, as well as a calibration test with a commercial Ag/AgCl reference electrode using the voltammetry method. The results of the OCP test show a fairly stable graph of each test of the disposable solid-state Cu/CuSO₄ reference electrode, and after being calibrated with a commercial Ag/AgCl reference electrode, the relative error value of each solid-state reference electrode sample is below 3,3%. The results obtained indicate that the Disposable solid-state reference electrode Cu/CuSO₄ can already be used for research purposes.

Keywords: Corrosion, solid-state Cu/CuSO₄ reference electrode, Ag/AgCl reference electrode

Abstrak

Dalam pengukuran dan penaksiran korosi, elektroda referensi merupakan komponen utama. Sebelumnya, elektroda referensi yang digunakan adalah produk komersial yang harganya relatif mahal sehingga jarang digunakan sebagai elektroda referensi disposable yang ditanam langsung pada beton untuk memantau korosi. Namun, penelitian ini berfokus pada pengembangan elektroda referensi padat sekali-pakai (*disposable solid-state*) Cu/CuSO₄ sebagai alternatif yang lebih murah dan efektif untuk aplikasi pengukuran potensial korosi pada baja tulangan. Elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄ terdiri dari pipa teflon sebagai body, pelat tembaga sebagai konduktor, CuSO₄ sebagai elektrolit, dan Larutan DOP + resin PVC + THF sebagai *porous plug* elektroda. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian OCP selama 10 menit dan 10 kali pengulangan pada tiap 3 sampel elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄, serta uji kalibrasi dengan elektroda referensi Ag/AgCl komersial menggunakan metode voltametri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄ adalah stabil dan memiliki nilai galat relatif di bawah 3,3% setelah dikalibrasi dengan elektroda referensi Ag/AgCl komersial. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄ dapat digunakan untuk keperluan penelitian dalam mengukur potensial korosi pada baja tulangan..

Kata Kunci: Korosi, elektroda referensi padat Cu/CuSO₄, elektroda referensi Ag/AgCl, elektroda referensi sekali-pakai

Daftar Notasi

ε_r : Galat relatif
 ε : Galat pengukuran
 x_0 : Nilai sebenarnya
 x : Nilai yang diukur

1. Pendahuluan

Saat ini, pengembangan ilmu elektrokimia memainkan peran penting dalam berbagai penelitian fundamental dan terapan, seperti penjelajahan

senyawa baru yang bersifat anorganik dan organik, sistem biokimia dan biologi, korosi, aplikasi energi yang menggunakan sel bahan bakar dan sel surya, serta penyelidikan pada skala nano [1]. Konsep dasar elektrokimia didasarkan pada reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks terdiri dari dua reaksi, yaitu reduksi dan oksidasi, yang terjadi secara bersamaan. Pada reaksi reduksi, terjadi penangkapan elektron, sedangkan reaksi oksidasi terjadi ketika elektron dilepaskan pada media penghantar dalam sel elektrokimia [2].

Korosi merupakan proses elektrokimia, sehingga teknik-teknik elektrokimia seperti potensial sel setengah sel, polarisasi linier, dan spektroskopi impedansi umumnya digunakan dalam penelitian korosi [3]. Korosi dapat terjadi pada infrastruktur seperti baja tulangan, yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan berisiko menyebabkan kegagalan infrastruktur secara tiba-tiba [4][5].

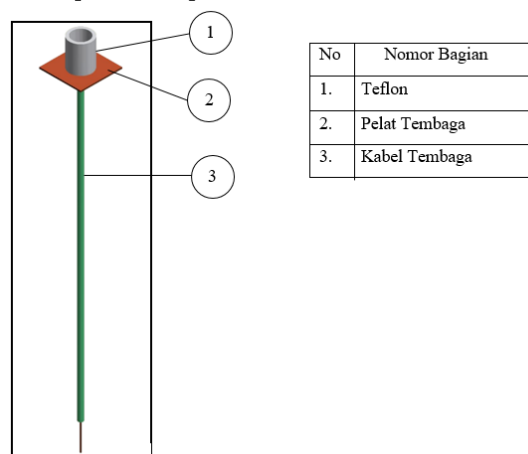
Elektroda referensi merupakan salah satu komponen penting dalam pengukuran menggunakan konsep elektrokimia. Elektroda referensi memiliki nilai potensial yang relatif tetap dan stabil meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, elektroda referensi digunakan sebagai elektroda pembanding dalam pengukuran elektrokimia [6][7].

Elektroda referensi yang umum digunakan dalam proses pengukuran elektrokimia adalah elektroda kalomel jenuh dan elektroda Ag/AgCl. Kedua elektroda referensi ini memiliki stabilitas yang baik. Namun, elektroda kalomel jenuh memiliki kelemahan yaitu mengandung logam berat merkuri yang berbahaya [8]. Logam ini dapat menghasilkan gas oksida merkuri beracun pada suhu tinggi. Sementara itu, elektroda Ag/AgCl memiliki kelemahan berupa adanya larutan ion klorida jenuh yang dapat mencemari sampel pada saat pengukuran. Oleh karena itu, elektroda referensi alternatif seperti Cu/CuSO₄ diperkenalkan. Elektroda referensi ini relatif tidak menghasilkan zat kimia beracun yang membahayakan lingkungan, dan tidak mencemari sampel baja penelitian [9]. Dalam penerapannya, elektroda referensi tipe solid lebih disukai daripada tipe liquid karena lebih tahan terhadap temperatur tinggi dan menghindari kebocoran [10]. Namun, pengembangan elektroda referensi Cu/CuSO₄ solid masih terbatas. Penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan elektroda referensi solid Cu/CuSO₄ dengan menggunakan serat kapas/selulosa asetat sebagai *porous plug* elektroda. Penelitian ini berhasil mengembangkan elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄ yang lebih mudah diaplikasikan dalam penelitian pengukuran potensial korosi, dengan menggunakan larutan resin PVC+ THF+DOP sebagai *porous plug* elektroda dan memiliki keunggulan tahan kebocoran.

2. Metode dan Peralatan

2.1. Rancangan elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄

Elektroda referensi Cu/CuSO₄ solid dirancang dengan bentuk vertical untuk memudahkan pengujian voltametri. Desain dari elektroda referensi Cu/CuSO₄ solid dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Rancangan elektroda referensi Solid-State Cu/CuSO₄

2.2. Proses pembuatan elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄

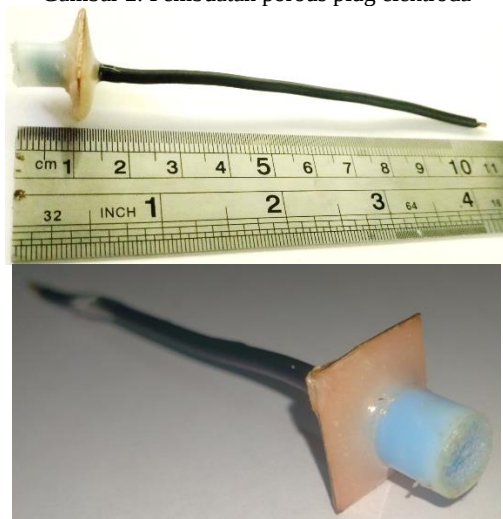
Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan untuk pembuatan elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄ adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,5 mm dan dimensi 15 mm x 15 mm, pipa teflon berukuran 10 mm sebagai body elektroda, CuSO₄ sebagai elektrolit, dan larutan resin PVC+THF+DOP sebagai *porous plug* elektroda.

Prosedur pembuatan elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄ dimulai dengan memotong pelat tembaga yang kemudian diampelas pada kedua sisinya dengan kertas pasir untuk mencegah oksidasi dan pengaruh luar. Selanjutnya, pipa teflon direkatkan di atas pelat tembaga menggunakan lem Epoxy Adhesive. Bagian bawah pelat tembaga disolder dengan kabel tembaga berukuran 120 mm, kemudian dilapisi dengan lem agar merekat dengan baik dan terhindar dari pengaruh luar.

CuSO₄ solid dimasukkan ke dalam teflon sekitar setengah dari panjang pipa teflon, dan untuk membuat porous plug elektroda dilarutkan Resin PVC (35 mg) + DOP (65 mg) + THF (250 mikroliter), kemudian larutan tersebut dituangkan ke dalam pipa teflon seperti pada Gambar 2. Gambar 3 menunjukkan hasil elektroda referensi disposable Solid-State yang telah selesai dibuat.



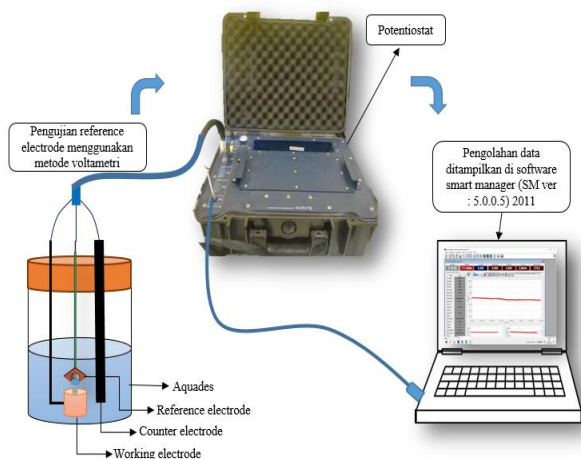
Gambar 2. Pembuatan porous plug elektroda



Gambar 3. Elektroda referensi disposable Solid-State yang telah selesai dibuat.

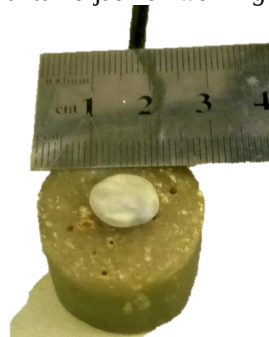
2.3. Pengujian Open Circuit Potential dan kalibrasi menggunakan elektroda referensi Ag/AgCl

Untuk menguji stabilitas elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄, dilakukan pengujian OCP dengan menggunakan metode voltametri selama 10 menit dan diulang sebanyak 10 kali pada 3 sampel, serta dilakukan uji kalibrasi dengan elektroda referensi Ag/AgCl komersial. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat potensiostat dan software Smart Manager (versi 5.0.0.5) tahun 2011. Skema pengujian OCP dapat dilihat pada Gambar 4.



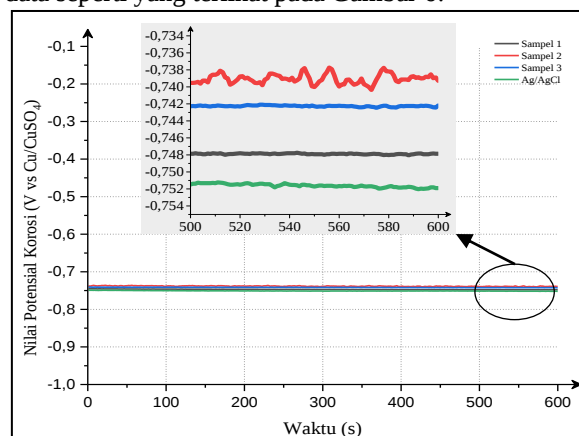
Gambar 4. Skema pengujian OCP.

Pada pengujian ini, *working electrode* menggunakan baja tulangan dengan diameter 10 mm yang diproduksi sesuai dengan standar SNI 07-2052-2002[11]. Baja tulangan tersebut kemudian dipotong menjadi 10 mm dan dipasang menggunakan resin poliester. Gambar 5 menunjukkan spesimen baja yang dipasang untuk dijadikan *working electrode*.

Gambar 5. *working electrode*

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan Pengujian OCP pada 3 sampel elektroda referensi padat sekali-pakai Cu/CuSO₄ dan elektroda referensi Ag/AgCl komersial dengan 10 kali pengulangan pada setiap sampel, nilai rata-rata dari semua pengulangan diambil sehingga didapat data seperti yang terlihat pada Gambar 6.

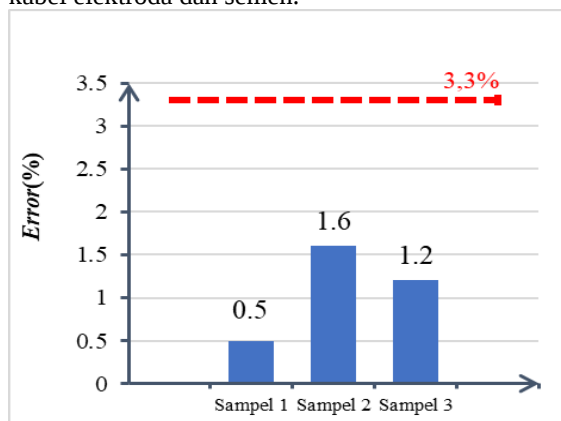
Gambar 6. Hasil OCP pada 3 sampel elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄ dan elektroda referensi Ag/AgCl komersial

Pada Gambar 6, terlihat bahwa pada sampel 1, 2, dan 3 memiliki nilai potensial korosi awal masing-masing sebesar -0,746, -0,738, dan -0,740. Sampel 1 dan 3 menunjukkan kestabilan yang mendekati elektroda referensi Ag/AgCl komersial, sedangkan pada sampel 2 menunjukkan kestabilan yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan sampel 1, sampel 3, dan elektroda referensi Ag/AgCl komersial. Untuk menghitung nilai galat relatif dari ketiga sampel elektroda referensi disposable solid-state Cu/CuSO₄ terhadap elektroda referensi Ag/AgCl komersial, digunakan Persamaan 1 [12].

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{x_0} = \frac{x_0 - x}{x_0} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil perhitungan Error relative yang didapat ditunjukkan pada Gambar 7. Batasan nilai error elektroda referensi Cu/CuSO₄ terhadap nilai sebenarnya adalah $\pm 0,025$ V [13]. Konversi nilai tersebut ke persentase menunjukkan bahwa nilai galat harus di bawah atau sama dengan 3,3%, sehingga nilai galat yang dihasilkan tidak akan terlalu jauh dari nilai sebenarnya. Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai galat relatif dari semua sampel berada di bawah 3,3%, sehingga semua sampel memenuhi persyaratan nilai maksimum galat yang diperbolehkan. Oleh karena itu, elektroda referensi padat sekali-pakai dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam monitoring korosi pada baja tulangan.

Studi sejauh ini telah menunjukkan kelayakan elektroda referensi ini untuk pengukuran potensial korosi. Namun, studi ini terbatas pada performa pengukuran. Studi ini tidak meliputi faktor fisik dari elektroda referensi tersebut, seperti daya tahan (*durability*) elektroda di dalam beton terhadap waktu (mengingat penggunaan elektroda diproyeksikan dalam hitungan tahun), dan kekuatan ikat antara kabel elektroda dan semen.



Gambar 7. Nilai galat relatif sampel elektroda referensi

4. Kesimpulan

Penelitian menunjukkan bahwa ketiga sampel elektroda referensi padat sekali pakai (*disposable solid-state*) Cu/CuSO₄ stabil terhadap elektroda referensi Ag/AgCl komersial, dan nilai error yang diperoleh memenuhi persyaratan nilai maksimum galat yaitu 3,3%. Galat dapat terjadi akibat human error atau kesalahan pada saat pengukuran yang menyebabkan penyimpangan terhadap nilai asli. Dengan hasil ini, menunjukkan bahwa elektroda referensi padat sekali pakai Cu/CuSO₄ dapat digunakan untuk keperluan penelitian.

Meskipun performa pengukuran telah dapat disimpulkan layak, faktor-faktor fisik yang

mempengaruhi penggunaan elektroda ini tidak termasuk dalam studi ini. Faktor-faktor ini seperti *durability* elektroda, dan kekuatan ikat kabel elektroda dengan semen. Studi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan faktor-faktor ini.

Daftar Pustaka

- [1] C.G. Zoski, 2007, *Handbook of Electrochemistry*, first ed., Elsevier, Amsterdam.
- [2] M.R. Harahap, 2016, Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi, *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1): 177–180.
- [3] S. Muralidharan, V. Saraswathy, K. Thangavel, N. Palaniswamy, 2008, Electrochemical Studies On The Performance Characteristics of Alkaline Solid Embeddable Sensor for Concrete Environments, *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 130: 864–70.
- [4] H. Susanto, M. Ridha, S. Huzni, S. Fonna, 2015, Korosi Infrastruktur Beton Bertulang Di Kabupaten Aceh Barat Pasca Tsunami 2004, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*
- [5] Wibowo, P. Gunawan, 2007, *Pengaruh Korosi Baja Tulangan Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang*, *Media Teknik Sipil*, hlm 21-22.
- [6] S. Alva, D. Ardiyansyah, D. S. Khaerudini, R. Suherman, 2019, Solid-State Reference electrode Based on Thin-Films of Tetrahydrofurfuryl Acrylate (pTHFA) Photopolymer, *Journal of The Electrochemical Society*, 166(8): B598–603.
- [7] S. Alva, A. Aziz, M.I. Syono, D. Sebayang, 2017, Development of Solid-State Reference electrode Based on Sodium Polyanethol Sulfonate Immobilised on Cellulose Acetate, *Journal of Physical Science*, 28(2): 161–79.
- [8] M.S. Dewi, S.Alva, W.A. Wan Jamil, 2021, Development and Characterization of Solid Cu/CuSO₄ Reference electrodes, *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials* 3(1): 17-25.
- [9] H.A.G. Stern, D.R. Sadoway, J.W. Tester, 2011, Copper Sulfate Reference electrode, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 659(2): 143–50.
- [10] R. Myrdal, 2007, *The Electrochemistry And Characteristics of Embeddable Reference electrodes For Concrete*. Woodhead Publishing.
- [11] SNI 07-2-52, 2002, *Baja Tulangan Beton*, Badan Standardisasi Nasional.
- [12] N.V. Raghavendra, L. Krishnamurthy, 2013, *Engineering Metrology And Measurements*, Oxford University Press, India.
- [13] J.P. Broomfield, 2007, *Corrosion of Steel in Concrete (Understanding, Investigation and Repair)*, 2nd edition. Tylor & Francis, New York.