

PENARIKAN ION Cu^{2+} (CuSO_4) DARI LARUTAN AIR MELALUI PROSES ELEKTROLISIS SECARA FOTOVOLTAIK DENGAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN OKSIDA CuO DAN ZnO DARI KUNINGAN

Yulia Yesti, Admin Alif, dan Hamzar Suyani

Laboratorium Fotokimia/Elektrokimia, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas
Jurusan Kimia, FMIPA Unand, Kampus Limau Manis, 25163

ABSTRACT

Photovoltaic is a method that can convert sunlight energy into electrical energy. One use of photovoltaic electrolysis can be used for metal ions contained in the liquid waste. The research aims electrolyzing Cu^{2+} ions from aqueous solution using a series of photovoltaic cells with semiconductor CuO and ZnO oxide layer of brass with Na_2SO_4 electrolyte. The series of photovoltaic cells is associated with an electrolysis cell containing Cu^{2+} ions to be electrolysed. Semiconductor electrodes made with brass burning in a furnace in a few repetitions at a temperature of $400\text{ }^\circ\text{C}$ for 1 hour. U-shaped electrolysis cells glass tube containing a solution of CuSO_4 1.25 g/L using a carbon rod as anode and cathode. Electrolysis of Cu^{2+} ions results were analyzed by Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS). The results showed that the optimum conditions Na_2SO_4 electrolyte concentration 0.8 N with semiconductor double-furnace with a strong current 0.829 mA and a voltage of 0.241 mV, the value of efficiency of conversion of solar energy into electrical energy is 0.599%. Electrolysis of Cu^{2+} ions for 4 weeks could reduce Cu^{2+} ions concentration of 35 mg/L to 15.909 mg/L (45.45%). CuO and ZnO electrodes was relatively less stable and cause strong currents and voltage drop along the length of the process.

Keywords : Photovoltaic, electrolysis and atomic absorption spectrophotometer (AAS)

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam. Sumber daya alam ini dapat digunakan sebagai sumber energi. Sumber daya alam jika terus menerus dipakai maka akan habis nantinya. Saat ini sedang dicari alternatif yang dapat dikonversi menjadi sumber energi agar sumber daya alam tidak cepat habis. Dari sekian banyak sumber energi seperti angin, *biomass* dan *hydropower*, penggunaan energi melalui *solar cell* atau sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Hal ini dikarenakan jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar, sekitar 700 Megawatt setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia^[1].

Energi cahaya matahari digunakan sebagai penggerak pada suatu sistem sel fotovoltaik cair. Penelitian yang menggunakan sel

fotovoltaik cair dalam bentuk tabung yang menggunakan elektroda CuO/Cu dan $\text{CuO}/\text{Stainless steel}$ dengan konsentrasi elektrolit Na_2SO_4 0,06 M memperlihatkan bahwa pasangan elektroda CuO/Cu dan $\text{CuO}/\text{Stainless steel}$ hanya bisa digunakan selama 3 hari berturut-turut. Hal ini dikarenakan pasangan elektroda akan teroksidasi dan tidak dapat menghasilkan arus lagi^[2]. Pemanfaatan energi cahaya matahari dalam penelitian tentang fotovoltaik cair lainnya yang menggunakan elektroda CuO/Cu dan $\text{CuO}/\text{Stainless steel}$ dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,4 M dalam sel fotovoltaik juga hanya bisa digunakan selama 3 hari secara berturut-turut^[3].

Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang pemanfaatan sumber energi cahaya matahari yang ramah lingkungan. Penelitian tersebut merupakan bentuk kepedulian ilmuwan terhadap kerusakan yang terjadi di bumi ini,

seperti pencemaran air oleh limbah cair. Limbah cair yang mengandung ion-ion logam dapat merusak ekosistem pada perairan. Pada penelitian ini dilakukan proses elektrolisis terhadap ion logam khususnya ion Cu^{2+} dalam suatu sistem sel fotovoltaik cair untuk menarik ion Cu^{2+} yang terdapat dalam limbah cair menggunakan elektroda CuO-ZnO/C dengan elektrolit Na_2SO_4 .

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitis, alat-alat gelas, multimeter, termometer, furnace (*Gallen Kamp, Muffle Furnace Size 1*), *Extech Wide Range Light Meter*, *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS), sel fotovoltaik yang dirakit dan sel elektrolisis.

Bahan yang digunakan yaitu plat kuningan, batang karbon (C), natrium sulfat (Na_2SO_4), tembaga(II) sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), dan akuades.

Prosedur Kerja

Persiapan elektroda

Elektroda yang digunakan yaitu elektroda CuO-ZnO/C . Elektroda CuO dan ZnO dibuat dari plat kuningan berukuran 18,5 x 6,5 cm sebanyak 4 buah. Plat kuningan tersebut mula-mula dibilas dengan air mengalir dan dikeringkan dengan tisu sampai tidak ada lagi kotoran yang melekat. Plat kuningan tersebut dibakar dalam furnace dengan variasi elektroda blanko (tanpa pembakaran), elektroda I (1x pembakaran), elektroda II (2x pembakaran), elektroda III (3x pembakaran) masing-masing selama 1 jam pada suhu 400 °C. Masing-masing elektroda tersebut dirakit ke dalam tabung reaksi berukuran 19,5 x 2,5 cm untuk sel fotovoltaik. Sebanyak 3 buah elektroda karbon (C) yang digunakan diperoleh dari pensil 2B *fibercastel* dengan mengupas lapisan kayunya sehingga didapat batangan karbon dan dibersihkan dengan

tisu hingga mengkilap yang menandakan tidak ada pengotor atau sisa lem kayu yang menempel pada batang karbon. Selanjutnya, 2 buah batang karbon digunakan sebagai elektroda pada sel elektrolisis ion Cu^{2+} , dan 1 buah batang karbon yang lainnya dirakit ke dalam tabung reaksi berukuran 15 x 1,5 cm untuk sel fotovoltaik.

Persiapan larutan Na_2SO_4 dan CuSO_4

Larutan Na_2SO_4 dibuat dengan konsentrasi 1 N. Larutan ini kemudian dituangkan ke dalam gelas wadah unit sel. Selanjutnya dari larutan ini juga dibuat larutan dengan konsentrasi 0,8; 0,6; 0,4; dan 0,2 N. Larutan CuSO_4 dibuat dengan menimbang $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,311 g dan dilarutkan dalam labu 250 mL sehingga diperoleh larutan CuSO_4 1,25 g/L. Larutan ini kemudian digunakan sebagai larutan sampel yang akan dielektrolisis.

Penentuan konsentrasi optimum elektrolit Na_2SO_4

Larutan Na_2SO_4 konsentrasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 N sebanyak 250 mL ke dalam gelas wadah unit sel. Elektroda CuO-ZnO/C masing-masing dimasukkan ke wadah yang telah berisi larutan Na_2SO_4 . Sistem fotovoltaik yang sudah dirangkai kemudian disinari di bawah cahaya matahari dan diukur kuat arus dan tegangan yang dihasilkan menggunakan alat multimeter.

Penentuan elektroda CuO dan ZnO optimum

Masing-masing elektroda blanko, I, II, dan III dilakukan proses fotovoltaik menggunakan larutan Na_2SO_4 optimum sebanyak 250 mL dalam wadah unit sel fotovoltaik. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan di dalam ruangan dan di luar ruangan dengan selang waktu 60 menit yang dimulai dari pukul 09.00 – 14.00 WIB.

Elektrolisis ion Cu^{2+} dengan proses fotovoltaik

Elektroda CuO-ZnO/C optimum dimasukkan ke dalam wadah unit sel

fotovoltaik yang berisi larutan Na_2SO_4 optimum sebanyak 250 mL. Proses elektrolisis ion Cu^{2+} dilakukan selama 30 hari dengan menggunakan sel elektrolisis yang berisi larutan CuSO_4 yang menggunakan 2 elektroda C masing-masing sebagai katoda dan anoda dan dialiri arus listrik yang dihasilkan dari sel fotovoltaik. Selanjutnya dilakukan pengukuran arus dan tegangan dengan selang waktu 60 menit yang dimulai dari pukul 09.00 – 15.00 WIB.

Pengukuran ion Cu^{2+} dengan AAS

Pengambilan sampel ion Cu^{2+} dilakukan 2 kali dengan selang waktu 1x15 hari. Sampel dalam sel elektrolisis dipipet sebanyak 1 mL dengan pipet gondok dan diencerkan dalam labu 10 mL dengan akuades. Selanjutnya dilakukan pengukuran konsentrasi ion Cu^{2+} dengan AAS.

Pengaruh lama proses fotovoltaik terhadap kuat arus dan tegangan

Elektroda CuO-ZnO/C optimum dimasukkan ke dalam wadah unit sel fotovoltaik yang berisi larutan Na_2SO_4 optimum sebanyak 250 mL. Selanjutnya dilakukan pengukuran arus dan tegangan rata-rata selama 30 hari.

Penentuan nilai efisiensi proses fotovoltaik

Nilai efisiensi sel fotovoltaik pasangan elektroda CuO-ZnO/C dapat ditentukan dengan menghitung luas permukaan elektroda dan mengukur intensitas cahaya matahari dengan menggunakan alat *Extech Wide Range Light Meter*. Kemudian daya yang dihasilkan sel fotovoltaik dibagi dengan daya cahaya matahari selama proses fotovoltaik maka akan didapatkan nilai efisiensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh konsentrasi elektrolit Na_2SO_4 terhadap kuat arus dan tegangan

Perbedaan kuat arus yang dihasilkan selama proses fotovoltaik dengan tegangan pada 0,006 mV dapat dilihat pada Gambar 1. Kuat

arus terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit Na_2SO_4 hingga diperoleh kuat arus yang maksimal yaitu pada konsentrasi 0,8 N adalah 0,086 mA. Hal ini berarti pada konsentrasi 0,8 N adalah konsentrasi yang optimum untuk memperoleh kuat arus yang besar. Karena semakin banyak ion-ion yang terdapat pada larutan elektrolit, maka semakin banyak ion-ion tersebut menghantarkan arus dari anoda ke katoda. Pada konsentrasi yang lebih besar yaitu pada 1 N terjadi penurunan kuat arus menjadi 0,078 mA. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya tumbukan yang menyebabkan menurunnya kuat arus.

Pengukuran dilakukan mulai pukul 09.00 – 13.00 WIB dengan selang waktu setiap 60 menit. Kuat arus yang besar diperoleh pada pengukuran pukul 11.00 WIB dengan intensitas cahaya yang juga lebih kuat yaitu 60.030 lux. Besarnya intensitas tersebut meningkat seiring dengan semakin teriknya cahaya matahari. Dimana intensitas cahaya matahari pada pagi hari tidak sekuat pada siang hari^[4]. Dan terjadi penurunan intensitas menjadi 11.500 lux pada pukul 12.00 WIB dan 9.905 lux pada pukul 13.00 WIB karena cahaya matahari tertutup oleh awan sehingga menghambat penyinaran proses fotovoltaik. Proses fotovoltaik juga dilakukan oleh *Gibson et al*, dihasilkan kuat arus 3,06 A dan tegangan 1,04 V pada intensitas 960 lux^[5].

Pengaruh pembakaran terhadap kinerja elektroda CuO dan ZnO yang digunakan sebagai semikonduktor dalam sel fotovoltaik

Selama proses fotovoltaik, terjadi eksitasi elektron pada semikonduktor CuO & ZnO dengan *band gap* CuO dan ZnO masing-masing yaitu 1,2 eV dan 3,37 eV. CuO dengan *band gap* 1,2 eV merupakan semikonduktor yang sangat bagus untuk digunakan dalam sel fotovoltaik. Permukaan semikonduktor menyerap foton cahaya dan melepaskan elektron. Ketika elektron bebas ditangkap, dihasilkan arus listrik yang dapat digunakan sebagai energi listrik^[6]. ZnO merupakan salah satu semikonduktor yang

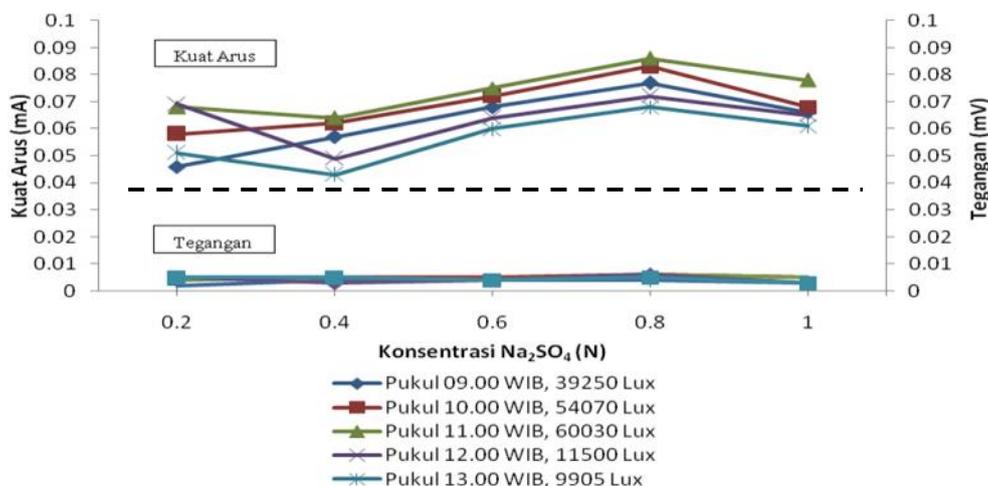
paling penting karena ZnO memiliki *band gap* yang lebar (3,37 eV) dan energi eksitasi yang besar (60 meV)^[7].

Kemampuan masing-masing elektroda dalam menghasilkan kuat arus dan tegangan dapat dilihat pada Gambar 2. Elektroda blanko adalah logam kuningan tanpa pembakaran, elektroda I, II, dan III adalah logam kuningan yang dibakar selama 1 jam pada suhu 400 °C masing-masing sebanyak 1 kali, 2 kali, dan 3 kali. Elektroda dengan *band gap* 1,3 eV dibakar pada suhu 300 °C selama 10 menit^[8]. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan di dalam ruangan dan di luar ruangan dengan selang waktu 60 menit yaitu dari pukul 09.00 – 14.00 WIB. Pada pengukuran di dalam ruangan pukul 11.00 WIB diperoleh kuat arus paling besar 0,829 mA dan tegangan 0,241 mV pada elektroda II. Besarnya intensitas cahaya pada saat pengukuran yaitu 120 lux. Maka, elektroda II yang merupakan logam CuO dan ZnO yang dibakar sebanyak 2 kali ini merupakan semikonduktor yang baik untuk menghasilkan kuat arus dan tegangan dibandingkan elektroda lainnya.

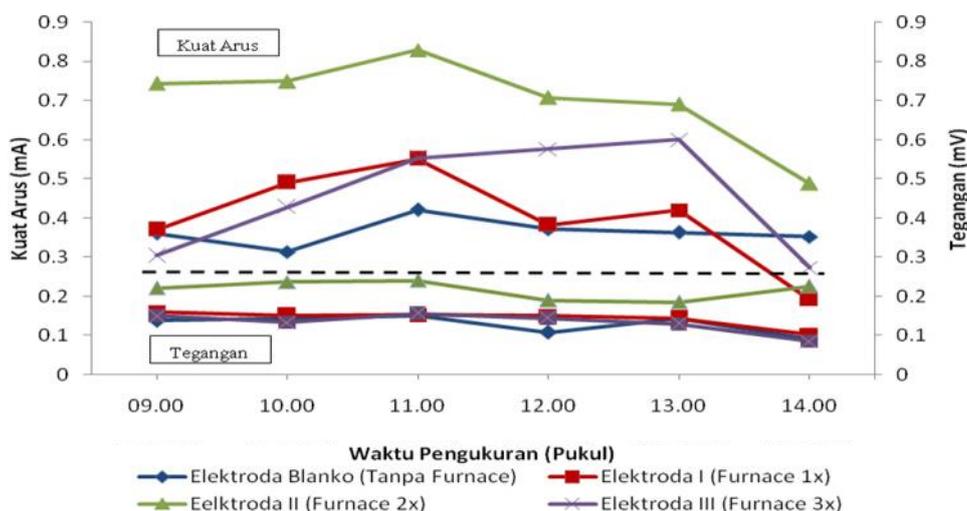
Hal yang sama juga dilakukan di luar ruangan untuk melihat kemampuan masing-masing elektroda dalam menghasilkan arus listrik pada penyinaran cahaya matahari langsung seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kuat arus yang paling besar dihasilkan

dari elektroda II pada pengukuran pukul 11.00 WIB sebesar 0,630 mA dengan tegangan 0,212 mV. Intensitas cahaya pada saat pengukuran yaitu 86.000 lux. Berdasarkan hasil tersebut, sama halnya dengan pengukuran di dalam ruangan dimana elektroda II merupakan semikonduktor yang paling baik untuk menghasilkan kuat arus dan tegangan dibandingkan dengan elektroda lainnya. Hal ini menandakan bahwa pembakaran sangat berpengaruh terhadap kinerja elektroda tersebut.

Pada elektroda I dengan 1x pembakaran menghasilkan kuat arus yang lebih kecil daripada elektroda lainnya karena tipisnya permukaan material yang dilapisi oleh lapisan oksida pada semikonduktor sehingga hanya sedikit elektron bebas (arus) yang dihasilkan. Sedangkan, elektroda II dengan 2x pembakaran permukaan materialnya dilapisi oleh lapisan oksida yang lebih tebal sehingga lebih banyak elektron bebas yang bergerak untuk menghasilkan arus yang lebih besar. Tetapi, pada pembakaran elektroda III dengan 3x pembakaran terjadi penurunan kuat arus karena permukaan material dilapisi oleh lapisan oksida yang sangat tebal sehingga elektron-elektron bebas sukar menembus lapisan tersebut untuk sampai ke bagian dalam elektroda yang bersifat konduktor.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi elektrolit Na₂SO₄ terhadap kuat arus dan tegangan

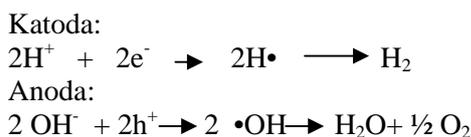


Gambar 2. Pengaruh pembakaran terhadap kinerja elektroda CuO dan ZnO yang diukur pada berbagai waktu (dalam ruangan)

Kuat arus yang dihasilkan di luar ruangan lebih rendah daripada kuat arus yang dihasilkan di dalam ruangan. Walaupun intensitas di luar ruangan lebih besar daripada di dalam ruangan. Hal ini disebabkan karena elektroda CuO dan ZnO hanya mampu menyerap energi cahaya pada panjang gelombang yang panjang yaitu pada sinar tampak (Vis). Sehingga elektroda CuO dan ZnO tersebut tidak menyerap energi cahaya pada panjang gelombang pendek (UV) yang berasal dari cahaya matahari. Di dalam ruangan sangat sedikit sinar UV, karena sebagian besar sinar UV diserap oleh kaca jendela sebelum masuk ke dalam ruangan. Maka kuat arus di dalam ruangan lebih besar daripada di luar ruangan. Oleh karena itu, elektroda II merupakan elektroda yang optimum dan untuk proses fotovoltaiik selanjutnya dilakukan di dalam ruangan.

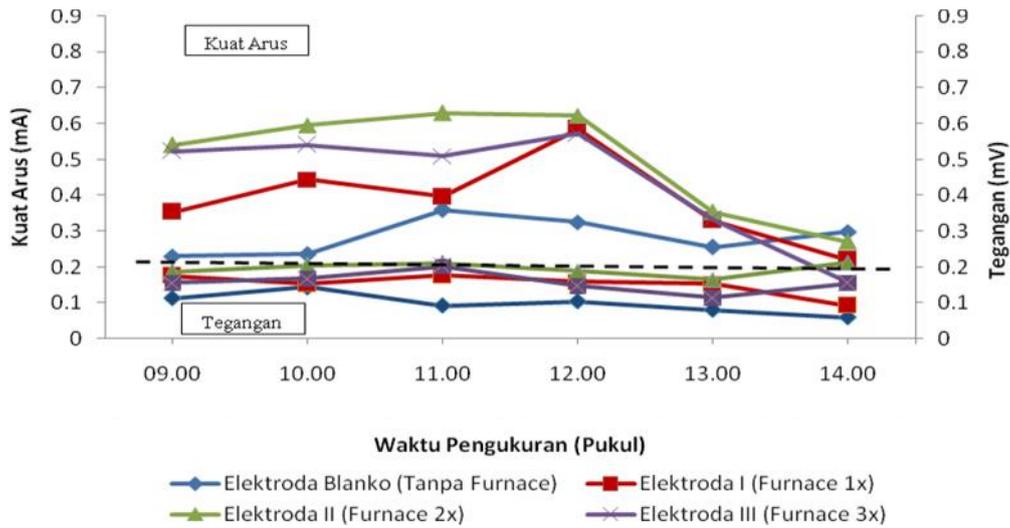
Elektrolisis logam Cu dengan proses fotovoltaiik

Pada proses elektrolisis, terjadi reaksi sebagai berikut :

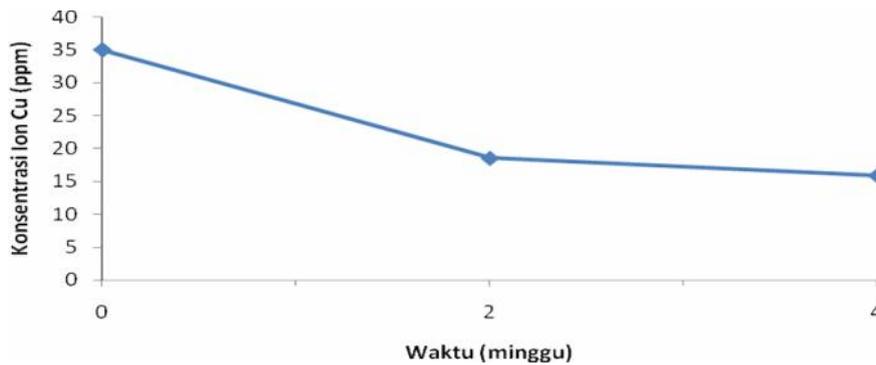


Arus listrik yang berasal dari sel fotovoltaiik dialirkan ke sel elektrolisis menggunakan kabel penjepit buaya, elektron-elektron bebas akan mereduksi ion Cu²⁺ membentuk endapan Cu yang menempel pada katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi ion hidroksi (OH⁻) membentuk radikal hidroksi (•OH). Radikal-radikal •OH akan bergabung membentuk molekul air dan gas oksigen. Proses elektrolisis ion Cu²⁺ ini dilakukan selama 30 hari. Pengukuran ion Cu²⁺ yang tertinggal dalam larutan air dianalisis dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)^[9].

Pengambilan sampel I dilakukan pada hari ke-15, dari hasil analisis maka diperoleh konsentrasi ion Cu²⁺ setelah 15 hari sebesar 18,545 mg/L, dimana konsentrasi awal ion Cu²⁺ adalah 35 mg/L. Selanjutnya, pengambilan sampel II dilakukan pada hari ke-30, diperoleh konsentrasi ion Cu²⁺ sisa yaitu 15,909 mg/L seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Pengaruh pembakaran terhadap kinerja elektroda campuran CuO dan ZnO yang diukur pada berbagai waktu (luar ruangan)

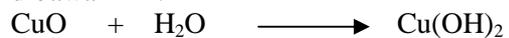


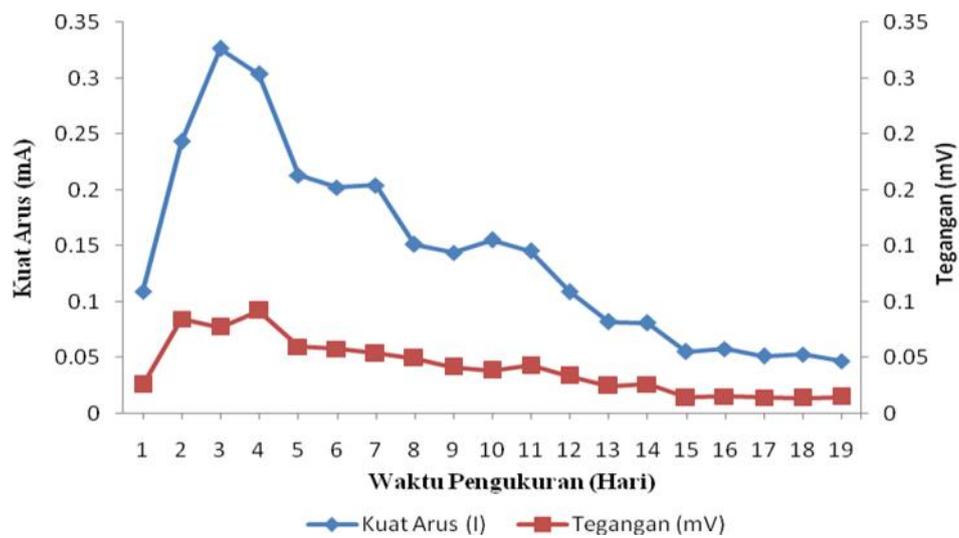
Gambar 4. Pengaruh lamanya proses fotoelektrolisis terhadap kandungan ion Cu²⁺ dalam larutan air

Pengaruh lama proses fotovoltaiik terhadap kuat arus dan tegangan

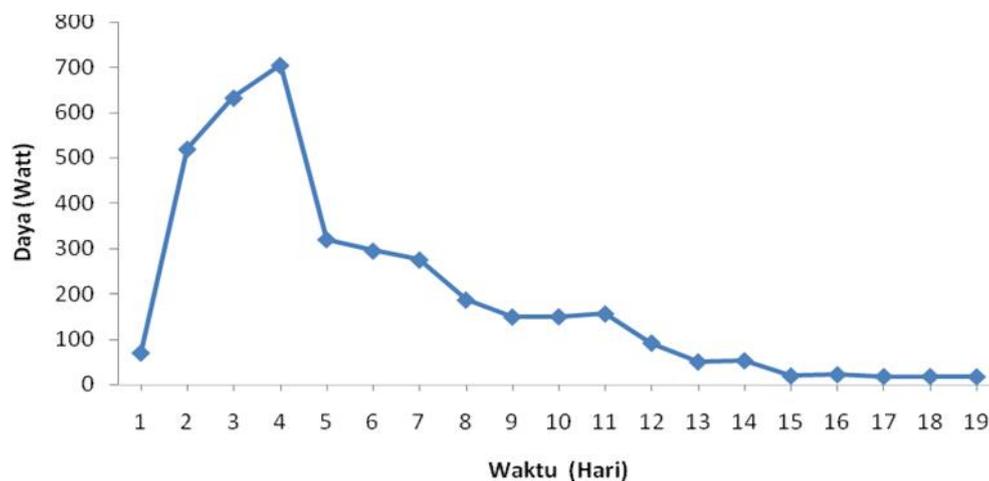
Untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap kuat arus dan tegangan, maka pengukuran kuat arus dan tegangan dilakukan selama 30 hari (Gambar 5). Kuat arus dan tegangan yang maksimal diperoleh pada awal pengukuran yaitu pada minggu I. Dimana yang paling optimum pada hari ke-3 yaitu dengan kuat arus rata-rata 0,326 mA dan tegangan rata-rata 0,077 mV. Hal ini terjadi karena adanya penyempurnaan oksida pada elektroda oleh oksigen dalam

air. Mulai hari ke-5 dan seterusnya, nilai rata-rata kuat arus dan tegangan yang diperoleh semakin menurun. Selanjutnya, pada minggu ke-4 nilai rata-rata kuat arus dan tegangan tidak terjadi perubahan yang drastis. Hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan pada elektroda CuO dan ZnO. Perubahan yang terjadi pada elektroda CuO & ZnO ditandai dengan terjadinya perubahan warna pada permukaan elektroda dari warna kuning keemasan menjadi warna kuning kehitaman, berdasarkan pada reaksi dibawah ini :





Gambar 5. Pengaruh lama proses fotovoltaiik terhadap kuat arus dan tegangan



Gambar 6. Pengaruh lama proses fotovoltaiik terhadap daya yang dihasilkan

Nilai efisiensi proses fotovoltaiik

Nilai efisiensi yaitu besarnya energi cahaya matahari yang bisa dikonversikan menjadi energi listrik, yaitu dengan menghitung berapa daya yang dihasilkan oleh sel fotovoltaiik. Dimana rumus daya (W) adalah sebagai berikut :

$$W_{pv} = V \times I \times t$$

Keterangan :

- W_{pv} = daya yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik (Watt)
- V = tegangan (Volt)

I = kuat arus (A)

t = waktu (s)

Gambar 6 menunjukkan pengaruh lamanya proses fotovoltaiik terhadap besarnya jumlah daya yang dihasilkan, dimana nilai daya optimum sebesar 705,225 watt yaitu pada hari ke-4. Tetapi, pada hari ke-5 dan seterusnya selama 30 hari, daya yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik tersebut mengalami penurunan karena terjadi penurunan kuat arus dan tegangan yang disebabkan oleh terjadinya perubahan elektroda yaitu terbentuknya $Cu(OH)_2$ yang tidak diharapkan selama proses fotovoltaiik.



Gambar 7. Efisiensi perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik

Daya yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik berbanding daya yang dihasilkan energi cahaya matahari akan diperoleh nilai efisiensi (%). Daya yang dipancarkan oleh energi cahaya matahari diperoleh dengan mengukur nilai intensitas cahaya matahari tersebut, selanjutnya akan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I(lux) = \frac{lumen}{A} \dots (1)$$

$$lumen = \frac{1}{680} watt \dots (2)$$

Substitusi (2) ke (1) sehingga diperoleh (3) :

$$W_{mth} = IxAx680 \dots(3)$$

Keterangan :

W_{mth} = Daya yang dihasilkan oleh cahaya matahari (Watt)

I = Intensitas cahaya matahari (lux)

A = Luas permukaan elektroda (m²)

Pengukuran besarnya efisiensi selama proses fotovoltaiik hanya dilakukan mulai dari hari ke-9 (Gambar 7). Hal ini disebabkan karena terjadi kesalahan teknis pada alat pengukur intensitas cahaya. Nilai efisiensi diatas diperoleh dari besar daya yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik berbanding daya dari sinar matahari yang mengenai permukaan semikonduktor CuO dan ZnO yaitu berdasarkan rumus berikut :

$$\emptyset = \frac{W_{fotovoltaiik}}{W_{cahaya\ matahari}} \times 100\%$$

Keterangan :

\emptyset = Efisiensi (%)

W_{pv} = Daya yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik (Watt)

W_{mth} = Daya yang dihasilkan cahaya matahari (Watt)

Besarnya efisiensi optimum yang diperoleh yaitu 0,599% pada hari ke-11. Hal ini berarti sel fotovoltaiik yang menggunakan elektroda CuO-ZnO/C dengan elektrolit Na₂SO₄ 0,8 N hanya mampu mengkonversikan sebanyak 0,599% dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada semikonduktor dengan *band gap* 1,3 – 1,4 eV diperoleh efisiensi sebesar 0,7%^[10].

KESIMPULAN

Pasangan elektroda CuO-ZnO/C dapat digunakan sebagai penarik ion Cu²⁺ melalui proses elektrolisis secara fotovoltaiik. Konsentrasi elektrolit Na₂SO₄ optimum pada 0,8 N sedangkan elektroda CuO dan ZnO optimum adalah elektroda II yang telah dibakar sebanyak 2x selama 1 jam pada suhu 400 °C. Dari hasil elektrolisis terjadi pengurangan konsentrasi ion Cu²⁺ dari 35 mg/L menjadi 18,545 mg/L selama 15 hari, dan terjadi lagi penurunan menjadi 15,909 mg/L setelah 30 hari. Lamanya proses fotovoltaiik berpengaruh terhadap kuat arus

dan tegangan yang dihasilkan. Elektroda CuO dan ZnO yang digunakan tidak stabil dan terjadi perubahan pada elektroda tersebut yang menyebabkan terjadinya penurunan terhadap kuat arus dan tegangan. Besarnya efisiensi optimum yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik adalah 0,599%.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. C. Putro, Upaya peningkatan efisiensi sel surya fotovoltaiik sebagai konverter cahaya matahari menjadi energi listrik, *Teknologi Kejuruan*, 23,(2000).
2. R. Marta, Fotovoltaiik pasangan CuO/Cu dan CuO/Stainless dengan dalam bentuk tunggal dan serabut melalui metoda pembakaran dengan elektrolit Na₂SO₄, Universitas Andalas, Padang, 2010.
3. M. Firahayu, Sel fotovoltaiik pasangan CuO/Cu dan CuO/stainless steel dalam bentuk tunggal dan serabut dengan elektrolit NaCl, Universitas Andalas. Padang, 2011.
4. A. Kelly and L. Gibson, Generation of high pressure hydrogen for fuel cell electric vehicles using photovoltaiik powered water electrolysis, *International Journal of hydrogen energy.*, 36, 15803-15825, (2011).
5. L. Gibson, and A. Kelly, Predicting efficiency of solar powered hydrogen generation using photovoltaiic - electrolysis device, *International Journal of Hidrogen Energy.*, 35, 900-911, (2010).
6. A. Kelly, and L. Gibson, Solar Energy concentrating reactor for hydrogen production by photoelectrochemical water splitting, General Motors R & D Center, *Journal chemical and enviromental sciences laboratory.*, 2008.
7. X. Zhang, J. Dai, and H. Ong, Hydrothermal synthesis and properties of diluted magnetic semiconductor Zn_{1-x}Mn_xO nanowires, *Open Journal of Physical Chemistry.*, 1, 6-10, (2011).
8. S. Avachat, H. Anant, and G. Neelkanth, Multiple bandgap combination of thin film photovoltaiic cells and photoanode for efficient hydrogen and oxygen generation by water splitting, *Solar Energy Material and Solar Cell.*, 90, 2464-2470, (2006).
9. Y. Li, M. Xi, F. Kong, and C. Yu, Experimental study on the removal of arsenic in waste water from semiconductor manufacturing, *Journal of Water Resources and Protection.*, 1, 1-57, (2009).
10. H. Tributsch, Photovoltaiic hydrogen generation, *International Journal of Hydrogen Energy.*, 33, 5911-5930, (2008).