

Optimasi Pemisahan Perak dari Limbah *Fixer* melalui Variasi Tegangan

Efita Pratiwi Adi^{(1,a)*}, Hartono^(1,b), Zaroh Irayani^(1,c), Adilla Luthfia^(1,d) dan Adam Mulawarman^(1,e)

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto, Indonesia, 53123
Email : ^(a*)efita.pratiwi@unsoed.ac.id

Diterima (29 November 2023), Direvisi (30 Januari 2024)

Abstract. *Fixer solution is a chemical substance in the form of a concentrated liquid that is used to wash radiographic films. The Fixer Solution functions to dissolve the silver halide layer on unexposed radiographic films. This research aims to design a waste fixer solution processing device using the electrolysis method and to regulate the voltage to the optimal point to produce a large electrolysis rate. Design an electrolysis device using stainless steel electrodes with a trapezoidal cathode with parallel sides of the cathode with lengths of 170 mm, 145 mm and a cathode height of 155 mm. The anode is rectangular with a length of 30 mm and a height of 169 mm. The method for making tools goes through several stages, namely making tool designs, testing tools, and testing waste fixer solution. The fixer waste used comes from Betesdha Wonosari Hospital. In this research, each test used 5 liters of fixer waste at each voltage which was regulated for 3 hours. The higher the mass voltage produced, the higher the electrolysis rate will be. However, the higher the voltage, the faster the sulfidation process will be. In the design of this fixer waste management tool, it can work optimally at a voltage of 4V with a speed of 4.87 g/hour.*

Keywords: *Fixer solution, electrolysis, silver.*

Abstrak. Larutan *fixer* adalah zat kimia berupa cairan pekat yang dipakai untuk mencuci film radiografi. Larutan *Fixer* berfungsi untuk melarutkan lapisan perak halida pada film radiografi yang tidak terekspos. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancang bangun alat pengolah limbah larutan *fixer* dengan metode elektrolisis dan untuk mengatur tegangan sampai pada titik optimal agar menghasilkan laju elektrolisis yang besar. Rancang bangun alat elektrolisis menggunakan elektroda stainless steel dengan katoda berbentuk trapesium panjang sisi sejajar katoda 170 mm, 145 mm dan tinggi katoda 155 mm. Anoda berbentuk persegi panjang dengan panjang 30 mm dan tingginya 169 mm. Metode pembuatan alat melalui beberapa tahap, yaitu pembuatan rancangan alat, pengujian alat, dan pengujian limbah larutan *fixer*. Limbah *fixer* yang digunakan berasal dari RS Betesdha Wonosari. Dalam penelitian ini setiap pengujian menggunakan 5 liter limbah *fixer* pada setiap tegangan yang diatur selama 3 jam. Semakin tinggi tegangan massa yang dihasilkan dan laju elektrolisis akan semakin tinggi. Akan tetapi semakin tinggi tegangan maka proses sulfidasi akan semakin cepat. Pada perancangan alat pengelola limbah *fixer* ini dapat bekerja dengan optimal pada tegangan 4V dengan kelajuan 4,87 g/jam.

Kata kunci: Larutan *fixer*, elektrolisis, perak.

PENDAHULUAN

Larutan *fixer* adalah larutan yang digunakan dalam pemrosesan foto rontgen. Larutan *fixer* berfungsi untuk melarutkan

lapisan perak halida pada film radiografi yang tidak terekspos [1]. Semakin banyak pengolahan foto rontgen, akan menyebabkan keadaan jenuh sehingga daya fiksasinya akan menurun. Dengan demikian,

pengolahan foto rontgen menghasilkan limbah larutan *fixer* yang termasuk ke dalam limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) karena mengandung perak pada konsentrasi tinggi [2]. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor: 492/Menkes/Per/IV/2010, tentang pengawasan pencemaran air, sesuai dengan ketentuan dalam label syarat kualitas (mutu) cairan buangan atau limbah atau bocoran industri pertambangan dan rumah tangga disebutkan parameter perak yang terkandung sebagai batas maksimum yang diperbolehkan adalah 0,1 ppm. Suhu dan waktu pada setiap tahapnya telah diatur oleh sistem pada mesin, sehingga kesalahan yang mungkin terjadi dapat dikurangi [3].

Upaya yang dilakukan untuk menghindari kandungan perak yang melebihi batas maksimum dalam limbah larutan *fixer* yang akan dibuang adalah dengan cara daur ulang pemisahan butir-butir perak yang terkandung dalam larutan *fixer*. Proses daur ulang pemisahan butir-butir perak dikenal dengan istilah *silver recovery*. Terdapat beberapa metode untuk merecovery perak diantaranya yaitu metode elektrolisis, metode SN flake, metode flotasi ion, metode resin penukar ion. Dari keseluruhan metode *silver recovery*, metode yang paling umum digunakan yaitu metode elektrolisis [4]. Analisis pada hasil pengolahan limbah *fixer* dengan metode endapan yang dianalisis menggunakan SSA dihasilkan kandungan perak yang masih tinggi di kedua sampel tersebut yaitu lebih dari 0,1 ppm [1]. Metode yang berhasil

digunakan di industri lain untuk memulihkan perak, seperti electrowinning, mungkin tidak berlaku untuk fotografi pemrosesan, karena mereka cenderung menyebabkan dekomposisi solusi yang signifikan [5]. Kerapatan arus dinyatakan dalam A/m^2 . Nilai tipikal untuk unit pemulihan perak yang digunakan di departemen pencitraan medis adalah 300 A/m^2 [6].

Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik [7]. Reaksi elektrolisis idealnya menggunakan elektroda yang tidak dapat bereaksi (inert), yaitu platina atau grafit. Namun dalam prakteknya, sering kali tidak menggunakan elektroda tersebut karena platina merupakan logam mulia, yang harganya terlalu mahal bila digunakan sebagai elektroda. Sedangkan grafit, di dalam larutan elektrolit mudah sekali terlarut dan tergerus oleh meningkatnya suhu larutan [8]. Metode elektrolisis memiliki beberapa kelebihan diantaranya lebih cepat, konsentrasi perak pada limbah lebih banyak yang terlepas, dan sangat mudah digunakan [9]. Pengolah limbah dengan metode elektrolisis sebelumnya yang ada masih harus bongkar pasang alat untuk merangkai rangkaian elektrolisis [10]. Penelitian ini membuat inovasi rancang bangun mesin elektrolisis agar memudahkan memisahkan perak pada limbah larutan *fixer* dan mengetahui kandungan limbah larutan *fixer* setelah dilakukan metode elektrolisis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 8 bulan (Maret 2023 - Oktober 2023) di Laboratorium Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman. Tahap pelaksanaan penelitian meliputi pembuatan

rancangan alat dan pengujian alat. perancangan model meliputi pembuatan desain dan pemilihan bahan yang akan digunakan. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

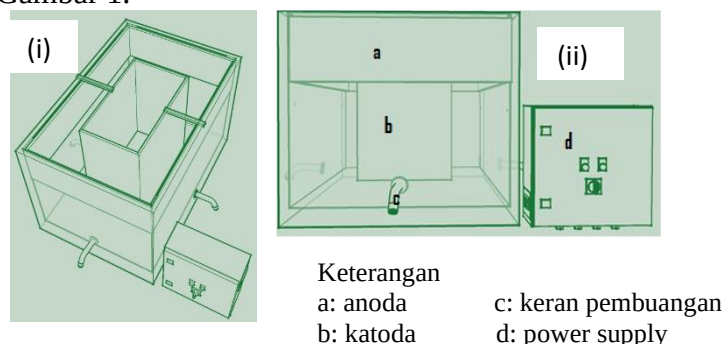
No.	Alat	Bahan
1.	Plastik	Limbah Larutan <i>Fixer</i>
2.	Stainless Steel	
3.	Timer	
4.	Power Supply	
5.	Kabel	
6.	Aluminium	
7.	Personal Komputer	

Pembuatan desain dilakukan dengan aplikasi *Sketchup* untuk menggambar sketsa alat dan sketsa ukuran dari bahan yang akan digunakan. Pemilihan bahan yang tepat akan meningkatkan kinerja alat beserta durabilitasnya. Bahan yang dipilih adalah bahan yang kuat dan tidak larut dalam air ketika suhu air meningkat. Pengujian dilakukan untuk memastikan alat normal bekerja sesuai mekanisme dan memastikan alat ini layak digunakan. Pemilihan bahan elektroda sangat penting agar durabilitasnya tinggi. *Stainless steel* merupakan bahan yang cocok untuk menjadi elektroda karena disamping mempunyai durabilitas yang tinggi dan harganya terjangkau. Katoda mempunyai ukuran luas yang lebih besar dari anoda. Hal ini dikarenakan agar tegangan yang dihasilkan lebih tinggi. Ukuran elektroda dapat dilihat pada Tabel 2. Elektrode stainless steel dipilih karena reaksi elektrolisis idealnya menggunakan elektroda yang tidak dapat bereaksi (inert), yaitu platina atau grafit. Namun dalam prakteknya, sering kali tidak menggunakan elektroda tersebut karena platina merupakan logam mulia, yang harganya terlalu mahal bila digunakan sebagai elektroda. Sedangkan grafit, di dalam larutan elektrolit mudah sekali terlarut dan tergerus oleh meningkatnya suhu larutan [10].

Tabel 2. Ukuran Elektroda

Ukuran (cm)	Katoda (cm)	Anoda (cm)
Panjang sisi bawah	14,5	5
Panjang sisi atas	17	5
Tinggi	15,5	17

Pengaturan jarak antar elektroda penting dalam pemurnian limbah *fixer* ini. Laju penurunan konsentrasi perak akan meningkat jika jarak antar elektroda semakin dekat maka rapat arus yang mengalir akan meningkat. Pembuatan alat dilaksanakan di bengkel di daerah Banyumas sesuai dengan model yang telah dibuat sebelumnya, limbah *fixer* didapatkan dari rumah sakit di sekitar Kabupaten Banyumas. Desain gambar untuk pembuatan alat pengolah limbah *fixer* dengan metode elektrolisis ditunjukkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Desain alat pengolah limbah *fixer* dengan metode elektrolisis (i) tampak atas, (ii) tampak depan

Penelitian ini menggunakan elektroda stainless steel untuk memperoleh perak dari cairan *fixer*. Power supply digunakan untuk catu daya dari proses elektrolisis. Power supply mengubah arus AC menjadi DC untuk mentransfer elektron dari sumber tegangan menuju larutan melalui permukaan katoda menggunakan arus satu arah. Ketika elektron terlepas ke dalam larutan, ion perak menangkap elektron tersebut sehingga ion perak menjadi partikel perak, dimana sebagian partikel perak mengendap dan sebagian partikel membentuk lapisan perak

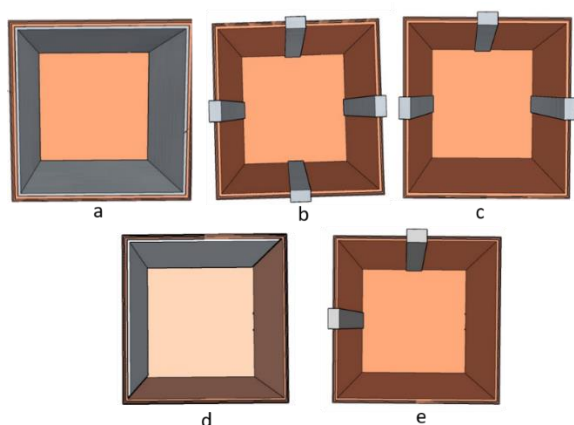
di katoda. Limbah *fixer* dimasukan kedalam tabung elektrolisis kemudian power supply dinyalakan diatur tegangannya lalu di set timer waktunya. Setelah timer selesai lalu limbah dibuang melalui kran pembuang. Sisa endapan perak halida pada wadah diambil.

Pengujian dilakukan untuk memastikan agar kinerja alat berjalan dengan baik, ditandai dengan munculnya arus dan tegangan yang tetap pada *display power supply*. Alat diuji dengan mengelektrolisis limbah *fixer* dengan mengatur tegangan pada 2,5V, 3V dan 4V. Perak yang dihasilkan akan ditimbang untuk mengetahui massanya. Kemudian dihitung laju elektrolisisnya untuk dibandingkan dengan masing-masing variasi tegangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

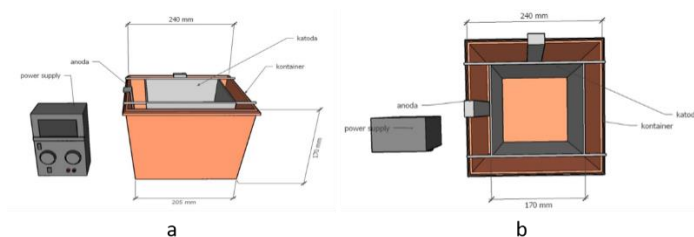
Bahan kontainer yang dipilih adalah plastik karena bersifat isolator atau tidak menghantarkan listrik agar tidak terjadi arus pendek. Ukuran kontainer sebesar 9 liter dengan bentuk trapesium dengan panjang sisi permukaan bagian atas sebesar 24 cm dan tinggi mengerucut kebawah dengan panjang 17 cm, sedangkan panjang sisi permukaan bawah sebesar 20,5 cm. Pemilihan bentuk katoda berbentuk persegi empat ditujukan agar katoda dapat menampung banyak perak hasil elektrolisis. Desain anoda sangat berpengaruh dalam elektrolisis. Telah dicoba dengan beberapa bentuk anoda seperti persegi empat melingkari sisi kontainer, 4 plat terpisah di setiap sisi kontainer tanpa menyambung, 3 plat terpisah di setiap sisi kontainer tanpa menyambung, dan 2 plat terpisah di sisi kontainer tanpa menyambung. Percobaan menggunakan bentuk anoda persegi empat melingkari kontainer menghasilkan maksimal tegangan di 3V dan arus dibawah 1A. Tidak ada hasil signifikan setelah

ditunggu hingga 5 jam. Dengan model anoda ini elektrolisis terjadi tetapi sangat lemah, katoda tidak menunjukkan perubahan warna dan hampir tidak ada perak yang menempel. Percobaan menggunakan 4 plat anoda terpisah menghasilkan output tegangan dan arus yang sama seperti bentuk anoda yang melingkari kontainer. Tegangan maksimal hanya sampai 3 dan selang beberapa waktu akan turun sampai 2,6V. Arus yang dihasilkan pada model 4 plat anoda hanya sebesar 0,9A. Tidak ada hasil yang signifikan pada model ini, hasil elektrolisis sama seperti dengan model plat melingkari sisi kontainer. Percobaan menggunakan 3 plat anoda menghasilkan arus dan tegangan sedikit lebih besar daripada model melingkar maupun 4 plat. Output tegangan yang dihasilkan 3 plat ini maksimal di 3,5V, sedangkan output maksimal arus pada model ini sebesar 1 A. Setelah dicoba mengelektrolisis 5 jam tidak ada hasil yang signifikan dan tidak ada perak yang menempel pada katoda. Percobaan menggunakan 1 plat lempeng katoda tetapi sepanjang setengah keliling kontainer menghasilkan tegangan maksimal sebesar 4V dan arus sebesar 1,7A. Saat dicoba mengelektrolis cairan limbah *fixer*, tidak terjadi hal yang signifikan dan tegangan cenderung menurun. Setelah ditunggu sekitar 3,5 jam limbah *fixer* tidak berubah signifikan. Percobaan menggunakan 2 plat anoda terpisah menghasilkan output arus dan tegangan yang lebih tinggi daripada bentuk anoda yang telah dicoba. Output tegangan maksimum pada model ini sebesar 8V dan arus mengikuti. Saat dilakukan uji elektrolisis beberapa menit cairan berubah warna menjadi kehitaman dan memunculkan bau seperti belerang yang menandakan terjadinya sulfidasi. Suhu cairan limbah *fixer* mengalami kenaikan suhu dengan ditandai keluarnya asap. Warna katoda langsung berubah menjadi kehitaman. Uji coba bentuk elektroda dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji coba elektroda, a. anoda persegi empat melingkari kontainer, b. anoda 4 plat terpisah, c. anoda tiga plat terpisah, d. anoda setengah kontainer, e. anoda dua plat

Dari 4 uji bentuk anoda tersebut dipilihlah bentuk 2 plat terpisah. Model anoda ini menghasilkan output tegangan maksimal yang paling tinggi sebesar 8V. Proses elektrolisis pada model ini menghasilkan perubahan yang sangat signifikan dengan ditandai terjadinya sulfidasi pada cairan limbah *fixer* selama beberapa menit saja. Anoda berbentuk plat persegi panjang ke bawah sepanjang sisi kontainer, hal ini bertujuan agar arus yang dihasilkan lebih besar. Jika arus semakin besar maka proses elektrolisis semakin cepat. Katoda didesain trapesium mengikuti bentuk kontainer, tujuan dari desain ini adalah agar jarak elektroda tetap sama dari atas ke bawah sehingga elektrolisis diharapkan lebih optimal dibanding bentuk katoda persegi. Tidak digunakan katoda berbentuk persegi karena dimungkinkan jarak antar elektroda akan mengecil semakin ke dasar kontainer. Hasil perancangan kontainer kemudian digabungkan dengan hasil perancangan anoda dan katoda. Untuk menghubungkan daya dari *power supply* digunakan 3 kabel. Satu kabel negatif yang bermuatan elektron dihubungkan ke katoda. Sedangkan 2 kabel positif dihubungkan ke 2 anoda. Hasil perancangan alat limbah *fixer* seperti Gambar 3.



Gambar 3. Desain alat, a. tampak depan, b. tampak atas

Pengujian alat dilakukan untuk menguji alat bekerja sebagaimana mestinya. Uji coba pertama menggunakan tegangan maksimal yang dapat diraih pada *power supply* yaitu 8V. Arus yang dihasilkan dari tegangan 8V adalah 7,8A. pengujian dengan tegangan 8V dilakukan selama 1 jam. Dalam uji coba ini cairan limbah *fixer* terjadi sulfidasi dalam waktu yang sangat singkat yaitu 20 menit. Pada uji coba menggunakan 8V, awal proses elektrolisis cairan sudah mulai mengalami perubahan suhu ditandai dengan adanya asap yang mengepul dari cairan limbah *fixer*. Beberapa menit kemudian cairan limbah *fixer* mulai berubah warna yang mana hal ini merupakan proses sulfidasi. Sulfidasi adalah proses pemasangan ion sulfida dalam suatu bahan atau molekul. Sulfidasi sendiri dapat memberikan efek korosi pada katoda dan anoda. Berdasarkan uji coba menggunakan tegangan maksimal 8V selama 1 jam yang di mana dalam waktu 20 menit sudah mengalami sulfidasi maka dipilihlah variasi tegangan 4V, 3V, 2,5V untuk mengelektrolisis limbah *fixer*. Waktu yang digunakan untuk batas selesai mengelektrolisis adalah 3 jam. Hal ini dikarenakan larutan yang pertama kali dielektrolisis menggunakan perkiraan setengah dikurangi 1 tegangan maksimum dengan harapan larutan tidak terlalu cepat tersulfidasi. Hal yang dilakukan pertama saat pengujian adalah mengukur tegangan maksimal katoda dan anoda pada *power supply* pada saat kontainer kosong. Kegiatan ini ditunjukan untuk mengetahui beban tegangan pada larutan limbah *fixer*. Sebelum di elektrolisis, limbah *fixer* diukur

menggunakan gelas beker sebanyak 5 liter untuk memastikan setiap pengujian dengan volume yang sama. Saat sudah siap semua, tegangan dan arus diatur pada *power supply*. Mengingat anoda menggunakan 2 plat, setiap 1,5 jam katoda diputar ke arah sebaliknya dan cairan limbah *fixer* diaduk untuk agitasi tambahan. Katoda akan dicuci sampai bersih menggunakan air sabun setelah melakukan elektrolisis. Hal ini bertujuan untuk memberikan perilaku yang sama dalam proses elektrolisis. Jadi katoda akan bersih sama seperti awal sebelum proses elektrolisis. Warna katoda berubah menjadi hitam sesudah elektrolisis. Menghitam nya katoda disebabkan karena perak yang menempel pada katoda. Warna hitam ini kemudian dikerok untuk memisahkan perak yang menempel pada katoda. Setelah selesai proses elektrolisis, limbah dibiarkan selama 30 menit agar perak yang tidak menempel mengendap. Setelah 30 menit serbuk perak yang menempel pada katoda diambil dengan cara dikerok menggunakan plat dan perak yang mengendap diambil dan ditaruh di wadah plastik sebagai wadah kemudian ditimbang. Serbuk perak yang berada di katoda serta perak yang mengendap disatukan dalam wadah plastik. Lalu perak ditimbang menggunakan timbangan digital. Setiap timbangan dikurangi massa wadah plastik bermassa 4 g.

Kelajuan elektrolisis adalah besaran kecepatan suatu elektrolisis. Semakin tinggi tegangan maka kelajuan elektrolisis akan semakin besar. Ini disebabkan terjadinya transfer elektron dari sumber tegangan menuju larutan melalui permukaan katoda. Transfer elektron sendiri adalah berpindahnya elektron dari *power supply* ke katoda melalui kabel. Semakin besar tegangan yang dikeluarkan maka akan semakin cepat transfer elektron yang terjadi. Kelajuan elektrolisis dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$Kelajuan = \frac{Massa}{Waktu} \quad (1)$$

Pengujian dengan menggunakan variasi tegangan memperoleh hasil perak yang berbeda jumlahnya dan mempunyai kelajuan yang berbeda juga setiap variasi tegangan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Massa Perak (g)	Waktu (jam)	Kelajuan (g/jam)	Waktu sulfidasi (jam)
1.	8	7,8	1,7	1	1,7	0,3
2.	4	4,8	14,6	3	4,87	1
3.	3	2,9	13,6	3	4,53	3
4.	2,5	1,2	4,9	3	1,63	~

Pada tegangan 2,5V selama 3 jam tidak menunjukkan adanya tanda-tanda tersulfidasi. Pada tegangan 3V cairan limbah *fixer* mulai tersulfidasi setelah dielektrolisis selama 3 jam, pada tegangan 4V mulai tersulfidasi pada waktu 1 jam sedangkan pada tegangan 8V sulfidasi terjadi dalam waktu 20 menit. Semakin besar tegangan maka semakin cepat limbah *fixer* tersulfidasi. Semakin besar tegangan maka serbuk perak yang berhasil dielektrolisis semakin banyak. Hal ini disebabkan karena interaksi serbuk perak lebih besar jika tegangan pada katoda lebih tinggi. Sehingga saat tegangan diatur ke lebih tinggi, perak yang dihasilkan lebih halus dan mudah terpisah sehingga lebih banyak menyatu dengan cairan limbah daripada mengendap. Pada rentang tegangan 4V sampai 8V waktu awal terjadinya sulfidasi semakin cepat. Sehingga tegangan tertinggi yang dapat diambil peraknya dengan jumlah banyak adalah 4V. Hubungan antara tegangan dengan kelajuan elektrolisis dapat dijelaskan bahwa seiring bertambahnya waktu maka perak yang didapat semakin banyak. Hal ini dikarenakan semakin besar tegangan maka semakin banyak pula massa perak yang dihasilkan. Sebagai konsekuensi dari tegangan tinggi yang digunakan adalah

proses terjadinya sulfidasi semakin cepat. Sehingga semakin tinggi tegangan maka akan semakin sulit mengetahui kelajuan elektrolisis hal ini disebabkan karena saat tersulfidasi serbuk perak terlalu halus dan seakan menyatu dengan cairan limbah *fixer* sehingga sulit dipisahkan.

KESIMPULAN

Alat pengolah limbah larutan *fixer* dengan metode elektrolisis berhasil dibuat menggunakan elektroda stainless steel. Terdapat hubungan antara tegangan dengan massa perak yang didapatkan. Semakin tinggi tegangan maka semakin banyak perak yang diambil dari limbah *fixer*. Terbukti pada penelitian ini dengan menggunakan tegangan 4V menghasilkan perak sebanyak 14,6 g, sedangkan untuk tegangan 3V menghasilkan massa 13,6 g dan tegangan 2,5V menghasilkan massa 4,9 g. Tetapi semakin tinggi tegangan yang digunakan maka semakin cepat terjadi proses sulfidasi. Laju elektrolisis akan semakin tinggi seiring bertambahnya tegangan. Tegangan 2,5V menghasilkan laju 1.6 g/jam, tegangan 3V menghasilkan laju 4.53 g/jam dan tegangan 4V menghasilkan laju 4.87 g/jam. Namun pada tegangan turun menjadi 1,7 g/jam. Penyempurnaan alat masih dapat terus dilakukan diantaranya penambahan agitasi dengan cara memberi gerakan memutar pada katoda. Hal ini ditujukan agar limbah *fixer* dapat dielektrolisis dalam tegangan tinggi tetapi tidak mudah tersulfidasi serta dapat divariasikan tegangan, arus, bentuk elektroda, ukuran elektroda dan waktu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang sudah menugaskan dan memberikan pembiayaan terhadap penelitian ini. Terimakasih kepada

Laboratorium Elektronika Instrumentasi dan Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang sudah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kesumaydi, D., & Sutanto, H, Studi Pengendapan Perak pada Limbah *Fixer* yang Telah Jenuh dengan Metode Pembakaran dan Pengendapan NaOH dan Na₂S, Youngster Physics Journal, 111-116, 2015.
- [2] Ho, N., Babel, S., & Sombatmankhong, K, Factors Influencing Silver Recovery and Power Generation in Bio-electrochemical Reactors, Environmental Science and Pollution Research, 2017.
- [3] Icky, Tahapan Pengolahan Film Secara Utuh, Jakarta: Universitas Indonesia, 2011.
- [4] Jh Chatelut, M., Gobert, E., & Vittori, O, Silver Electrowinning from Photographic Fixing Solutions Using Zirconium Cathode, Hydrometallurgy, 79-90, 2000.
- [5] Kodak, Processing Kodak Motion Picture Films Modules Chemical recovery Procedures, Retrieved from <http://www.kodak.com>, 1998.
- [6] Chesney, D, Radiological Imaging. London: University Park Press, 2001.
- [7] Rusminto, T., & Nurhayati, S, Proses Elektrolisis pada Prototipe Kompor Air dengan Pengaturan Arus dan Temperatur, Surabaya: Politeknik Negeri Surabaya, 2009.

- [8] Yulianto, B, Pyisihan dan Perolehan Kembali Zn dalam Air Limbah Elektroplating dalam Proses Elektrolisis. Bandung: Tesis ITB, 2003.
- [9] Mulyati, S., Ardiyanto, J., & Sulistiyadi, A. H, Silver Generated *Fixer* of Saturated with Electrolytic Method and Deposition of NaOH 5 M. 10(1), 11, 2014.
- [10] Marta, D, Studi Efisiensi Pemisahan Perak dari Limbah Cair *Fixer* Film dengan Metode Elektrolisis. Bandung: Departement of Civil Engineering, Faculty of Civil and Enviromental Engineering ITB, 2007.