

Rancang Bangun Penambahan Agitasi pada Alat Pengolah Limbah Fixer dengan Metode Elektrolisis

Efita Pratiwi Adi^{(1,a)*}, R. Farzand Abdullatif⁽¹⁾, Zaroh Irayani⁽¹⁾ dan Hizas Azizi⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto, Indonesia, 53123

Email : ^(a*)efita.pratiwi@unsoed.ac.id

Diterima (04 Oktober 2024), Direvisi (10 Desember 2024)

Abstract. The bubble layer that appears on the electrode causes the surface area of the electrode that interacts with the electrolyte to decrease. This inhomogeneous bubble layer and electrolyte will inhibit the rate of electrolysis. One of the actions to reduce the bubble layer on the electrode and keep the electrolyte homogeneous is by agitation. This study aims to make modifications by adding agitation to the fixer solution waste processing tool with the electrolysis method. The container used is made of plastic with a diameter of 17 cm and a height of 19 cm. The electrodes used are made of 0.8 mm stainless steel with a width of 5 cm and a total length of 18 cm and the length that enters the fixer waste is about 13 cm with a distance between electrodes of 3.5 cm. The tool testing was carried out without agitation and with agitation. Each test will be carried out with voltage variations of 4V, 6V, 8V and 10V. Each test will use 3 liters of fixer waste with a time of 1 hour. The results of this study obtained that the designed tool can work well at a voltage of 4V to 10V and a capacity of 3L, with agitation proven to increase silver mass recovery up to 87.38% with a silver recovery rate at a voltage of 4V of 1.93 g/hour, at a voltage of 6V the silver recovery rate is 2.08 g/hour, at a voltage of 8V the silver recovery rate is 2.24 g/hour and at a voltage of 10V the silver recovery rate is 3.44 g/hour. Adding agitation to the fixer waste processing equipment, it can reduce the sulfidation that occurs and increase the silver mass significantly compared to without agitation.

Keywords: Fixer waste, agitation, electrolysis, silver.

Abstrak. Lapisan gelembung yang muncul pada elektroda menyebabkan luas permukaan elektroda yang berinteraksi dengan elektrolit menjadi berkurang. Lapisan gelembung dan elektrolit yang tidak homogen ini akan menghambat laju elektrolisis. Salah satu tindakan untuk mengurangi lapisan gelembung pada elektroda dan menjaga elektrolit tetap homogen adalah dengan dilakukan agitasi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat modifikasi dengan menambahkan agitasi pada alat pengolah limbah larutan fixer dengan metode elektrolisis. Kontainer yang digunakan berbahan dasar plastik dengan diameter 17 cm dan tinggi 19 cm. Elektroda yang digunakan terbuat dari *stainless steel* 0,8 mm dengan lebar 5 cm dan panjang total 18 cm dan panjang yang masuk ke limbah *fixer* sekitar 13 cm dengan jarak antar elektroda 3,5 cm. Pengujian alat dilakukan tanpa agitasi dan dengan agitasi. Setiap pengujian akan dilakukan variasi tegangan sebesar 4 V, 6 V, 8 V dan 10 V. Setiap pengujian akan digunakan 3 liter limbah *fixer* dengan waktu 1 jam. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa alat yang dirancang dapat bekerja dengan baik pada tegangan 4V hingga 10V dan kapasitas 3 L, dengan agitasi yang terbukti meningkatkan perolehan massa perak hingga 87,38% dengan laju perolehan perak pada tegangan 4 V sebesar 1,93 g/jam, pada tegangan 6 V laju perolehan perak 2,08 g/jam, pada tegangan 8 V laju perolehan perak 2,24 g/jam dan pada tegangan 10 V laju perolehan perak 3,44 g/jam. Penambahan agitasi pada alat pengolah limbah *fixer* mampu mengurangi sulfidasi yang terjadi serta pertambahan massa perak yang cukup signifikan dibandingkan tanpa agitasi.

Kata kunci: Limbah fixer, agitasi, elektrolisis, perak.

PENDAHULUAN

Metode pengolahan limbah fixer yang mengandung logam perak salah satunya yaitu metode elektrolisis. Metode elektrolisis dapat digunakan untuk memisahkan perak dari larutan perak tiosulfat. Menurut Chatelut et al. (2000), metode elektrolisis adalah yang paling banyak digunakan dari semua metode pemulihan perak [1]. Hasil elektrolisis yaitu endapan perak murni di katoda dan gas sulfur dioksida (SO_2) di anoda. Keuntungan dari metode ini adalah efisiensi *silver recovery* yang tinggi, lebih dari 90%, dan kemurnian perak yang mencapai 98% [2]. Keuntungan metode elektrolisis yaitu termasuk lebih cepat, konsentrasi perak yang lebih tinggi yang terlepas dari limbah, dan sangat mudah digunakan [3]. Elektrolisis limbah film fotografi dengan bentuk katoda dan jarak katoda berubah selama proses elektrolisis. Pada elektroda lempeng/plat dengan jarak 2 cm, hasil pemulihan optimal adalah 79,99%. Pada tahun 2012, Chen et al. menggunakan metode elektrolisis untuk mengembalikan perak dari limbah larutan fixer [4]. Proses elektrolisis dilakukan dengan variasi arus listrik, waktu, dan pH, dengan efisiensi pengembalian perak sebesar 99,55% pada arus listrik 3A dan pH 8. Karena dapat memperoleh perak dengan kemurnian tinggi, metode elektrolisis ini adalah pilihan yang lebih baik [5]. Radiologi dan fotografi menggunakan larutan fixer dalam pemrosesan untuk mendapatkan gambar dimana sekarang semakin berkembang dan banyak digunakan [6]. Sumber utama limbah yang mengandung perak adalah limbah cair pencucian foto rontgen, juga dikenal sebagai limbah larutan fixer [7, 8].

Logam berharga perak banyak digunakan untuk berbagai tujuan, terutama dalam film fotografi [9]. Perak biasanya digunakan dalam film fotografi karena sifatnya yang fotosensitif. Limbah fixer ini

memiliki konsentrasi perak antara 5000 dan 10.000 mg/L [10]. Pengolahan foto rontgen menghasilkan limbah larutan fixer, yang merupakan bahan berbahaya dan beracun yang dimasukkan ke dalam limbah B3 [11, 12]. Penelitian sebelumnya menghasilkan nilai kadar silver dalam larutan fixer sebelum diolah sebesar (1600 ± 80) ppm. Pada tahun 2015, Kesumayadi dan Sutanto melakukan analisis pada hasil pengolahan limbah fixer dengan metode endapan yang dianalisis menggunakan SSA. Kedua sampel menunjukkan kandungan perak yang masih tinggi, lebih dari 0,1 ppm [13].

Peralatan pengolahan limbah dengan elektrolisis tradisional memerlukan pembongkaran peralatan untuk membangun rangkaian elektrolisis [14,15]. Standar kerapatan arus untuk unit pemulihan perak pada citra medis adalah 300 A/m^2 [16]. Reaksi elektrolisis adalah salah satu jenis reaksi redoks tidak spontan yang dapat terjadi karena energi listrik [17]. Reaksi ini membutuhkan elektroda yang tidak dapat bereaksi (inert), seperti grafit atau platina. Namun, peningkatan suhu larutan menyebabkan grafit terlarut dengan mudah [18].

Alat sebelumnya yang pernah dibuat mempunyai kendala atau hambatan dalam elektrolisis yaitu munculnya lapisan gelembung pada elektroda [19]. Lapisan gelembung ini menyebabkan luas permukaan elektroda yang berinteraksi dengan elektrolit menjadi berkurang. Selain itu, elektrolisis pada elektrolit yang diam juga akan menyebabkan akumulasi produk elektrolisis di sekitar elektroda dan komposisi elektrolit menjadi tidak homogen. Lapisan gelembung dan elektrolit yang tidak homogen ini akan menghambat laju elektrolisis. Salah satu tindakan untuk mengurangi lapisan gelembung pada elektroda dan menjaga elektrolit tetap homogen adalah dengan dilakukan agitasi, agitasi adalah proses pengadukan atau penggerakan suatu larutan dengan tujuan

untuk mencampurkan atau meratakan konsentrasi zat-zat yang terkandung di dalamnya [20]. Agitasi bisa dilakukan dengan beberapa cara seperti menjadikan batang elektroda sekaligus sebagai pengaduk atau dengan memasukkan batang pengaduk ke dalam wadah penampung yang kemudian diputar oleh magnet dari bawah wadah penampung [21]. Agitasi pada

elektrolisis limbah *fixer* dapat mempengaruhi efisiensi *silver recovery* dari limbah tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya maka perlu adanya agitasi pada alat pengolah limbah *fixer*. Penelitian ini membuat modifikasi penambahan agitasi pada alat pengolah limbah *fixer* dengan metode elektrolisis agar perak yang diperoleh lebih banyak.

METODE PENELITIAN

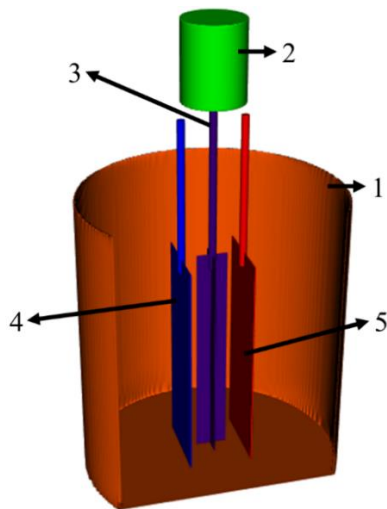
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jenderal Soedirman selama periode delapan bulan, yaitu dari Maret 2024 hingga Oktober 2024. Pembuatan rancangan alat dan pengujian alat adalah bagian dari proses pelaksanaan penelitian. Membuat desain dan memilih bahan yang akan digunakan juga merupakan bagian dari desain model. Tabel 1 menunjukkan alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian ini. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa fase penting. Tahap pertama adalah persiapan, di mana semua bahan dan sumber daya yang diperlukan dikumpulkan dan disiapkan.

Tahap kedua adalah perancangan dan pembuatan perangkat. Tahap terakhir adalah pengujian perangkat, di mana kinerja dan efektivitas perangkat dievaluasi. Setiap tahap ini penting untuk mencapai tujuan penelitian. Perancangan alat dimulai dengan membuat desain dan pemilihan bahan yang akan digunakan. Kontainer yang digunakan pada pembuatan alat berbahan dasar plastik dengan diameter 17 cm dan tinggi 19 cm. Elektroda yang digunakan terbuat dari baja nirkarat 0,8 mm dengan lebar 5 cm dan panjang total 18 cm serta panjang yang masuk ke limbah *fixer* sekitar 13 cm dengan jarak antar elektroda 4 cm. Ukuran anoda dan katoda dapat dilihat pada Gambar 2.

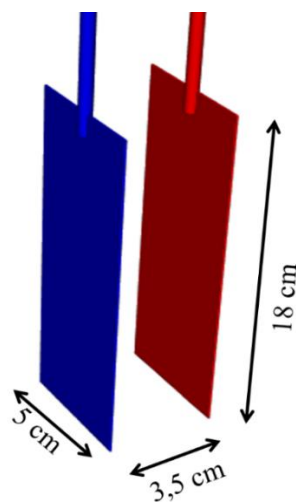
Desain gambar modifikasi agitasi pada alat pengolah limbah *fixer* dengan metode elektrolisis ditunjukkan pada gambar 1. Pengaduk terbuat dari bahan plastik atau PVC yang dihubungkan dengan motor penggerak. Anoda dan katoda dihubungkan dengan *power supply* menggunakan penjepit buaya.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

No.	Alat dan bahan	Spesifikasi
1	Kontainer plastik	Ukuran 6 liter
2	Baja nirkarat	Baja nirkarat tipe 201 dengan ketebalan 0,8cm
3	Limbah <i>fixer</i>	Limbah <i>fixer</i> dari RS Bethesda Wonosari Yogyakarta
4	<i>Power supply</i>	Leybold input 220V, output AC/DC 30V 10A
5	Motor listrik	1500RPM 220V AC
6	Timbangan digital	Pocket scale MH-200 maksimal 200g $\pm 0,01$ g
7	Gelas ukur	Ukuran 1 liter
8	Batang pengaduk	Bahan PVC 11cm $\times$ 2,5cm



Gambar 1. Desain alat pengolah limbah *fixer*. (1) Kontainer. (2) Motor penggerak. (3) Pengaduk. (4) Anoda. (5) Katoda.



Gambar 2. Ukuran anoda dan katoda

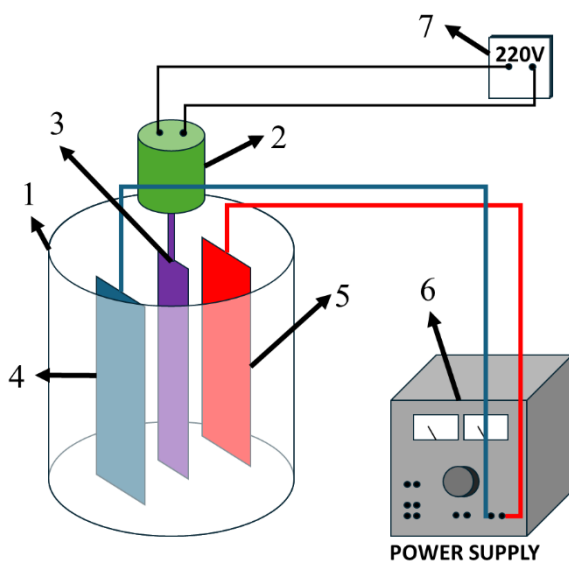
Langkah kerja alat pengolah limbah *fixer* yaitu, limbah *fixer* dimasukkan ke dalam kontainer lalu alat agitasi dinyalakan. Kemudian *power supply* dihidupkan dengan variasi tegangan yang akan digunakan. Perak yang mengendap dan menempel pada katoda diambil dan ditimbang. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan 4V, 6V, 8V dan 10V, dengan tiap variasi tegangan dilakukan pengujian tanpa agitasi dan dengan agitasi. Tiap pengujian digunakan limbah *fixer* sebanyak 3L dengan waktu 1 jam.

Katoda dihubungkan dengan motor penggerak dengan menggunakan isolator untuk mencegah adanya arus listrik yang tidak diinginkan dari motor penggerak. Anoda dihubungkan dengan *power supply* menggunakan penjepit buaya pada batang anoda. Sedangkan pada katoda, penjepit buaya ditambahkan batang grafit atau karbon yang berfungsi sebagai pelicin saat batang katoda berputar sekaligus sebagai konduktor antara penjepit dengan batang katoda. Setiap kelompok akan dilakukan variasi tegangan sebesar 4V, 6V, 8V dan 10V. Setiap pengujian akan digunakan 3 liter limbah *fixer* dengan waktu 1 jam. Perak yang akan mengendap dan menempel pada katoda diambil dan ditimbang.

Pembuatan alat dilaksanakan di laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNSOED dilakukan dengan rancangan model yang dibuat, limbah *fixer* diperoleh dari Rumah Sakit Bethesda Wonosari Yogyakarta. Setelah limbah *fixer* dimasukkan ke dalam tabung elektrolisis, daya dinyalakan, tegangannya diatur, dan timer diatur. Setelah timer selesai, limbah dibuang melalui kran pembuang. Semua endapan perak halida yang ada di dalam botol diambil. Pada Gambar 3 merupakan rangkaian alat yang dihubungkan dengan *power supply* sebagai pengantur tegangan yang akan diberikan pada alat ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontainer yang digunakan berbentuk silinder dengan tujuan agar jarak terjauh limbah *fixer* dari elektroda yang berada di tengah berjarak sama sehingga proses elektrolisis diharapkan lebih efisien.



Gambar 3. Rangkaian alat pengolah limbah *fixer*.
 (1) Wadah. (2) Motor penggerak. (3)
 Pengaduk. (4) Anoda. (5) Katoda. (6)
 Power supply. (7) Listrik AC 220V.

Kontainer yang digunakan memiliki ukuran diameter dan tinggi 20 cm dengan volume total 6 liter, sedangkan volume limbah *fixer* yang digunakan untuk tiap pengujian adalah 3 liter, pemilihan wadah dengan volume yang lebih besar dimaksudkan untuk mengantisipasi tinggi limbah *fixer* yang naik diakibatkan oleh gaya sentrifugal pada pengujian elektrolisis dengan agitasi. Wadah ini berbahan plastik yang bersifat isolator sehingga diharapkan tidak akan mempengaruhi proses elektrolisis.

Sistem agitasi yang digunakan dibuat dengan dua bagian, motor penggerak dan pengaduk. Motor penggerak yang dipasang pada bagian luar dan menempel penutup wadah, motor penggerak ini memiliki kecepatan rotasi ± 1500 RPM dan arus listrik AC dengan tegangan 220 V sebagai sumber energi. Pengaduk yang digunakan berbahan PVC yang bersifat isolator untuk mencegah adanya arus listrik yang mengalir dari motor penggerak yang dapat memengaruhi proses elektrolisis. Elektroda terbuat dari bahan baja nirkarat dengan harapan bisa bertahan dari oksidasi pada saat proses elektrolisis.

Elektroda dibuat dengan ukuran yang sama dengan lebar 5 cm dan panjang 18 cm. Elektroda disusun sejajar dengan bantuan resin pada bagian bawah dan atas elektroda untuk memastikan jarak kedua elektroda tidak berubah selama proses elektrolisis. Bagian tengah tutup wadah dan diberi sebuah lubang untuk menghubungkan motor penggerak dengan pengaduk yang berada di dalam. Pengaduk dipasang di antara elektroda dan dihubungkan ke motor penggerak melalui lubang pada tengah penutup. Elektroda dihubungkan ke *power supply* dengan kabel dan penjepit buaya, sedangkan motor penggerak bisa dihubungkan secara langsung ke soket listrik rumah dengan tegangan 220 V pada saat agitasi diperlukan.

Sebelum dilakukan pengujian, limbah *fixer* terlebih dahulu diendapkan untuk mengurangi residu dan menjaga limbah *fixer* tetap homogen, proses pengendapan juga memastikan endapan yang didapatkan setelah proses elektrolisis berasal dari proses elektrolisis, kemudian limbah *fixer* yang telah bebas endapan diukur sebanyak 3 liter dan ditampung dalam beberapa wadah sehingga tidak perlu dilakukan pengukuran volume pada saat pengujian alat. Pengujian dilakukan pada tanggal 25 Mei 2024 sampai dengan 26 Mei 2024. Setelah tiap pengujian dilakukan, lapisan hitam yang menempel pada elektroda harus dikeruk hingga bersih, endapan pada limbah *fixer* setelah pengujian dikumpulkan bersama dengan lapisan hitam yang telah dikeruk dari elektroda.

Pada setiap pengujian yang telah dilakukan, limbah *fixer* yang telah diolah dimasukkan kembali ke dalam botol atau wadah penampung dan diberi label tegangan yang digunakan dan ada atau tidaknya agitasi selama proses pengujian. Lapisan hitam pada elektroda dikeruk dan dimasukkan ke dalam wadah kecil bersama dengan endapan serbuk perak yang didapatkan pada proses pengujian. Wadah kemudian diberi label tegangan yang

digunakan dan ada atau tidaknya agitasi selama proses pengujian. Serbuk perak harus dijemur untuk mengurangi kadar cairan untuk mendapatkan hasil penimbangan yang akurat. Massa perak yang dihasilkan pada pengujian ini masih bercampur dengan zat pengotor seperti sulfur yang dihasilkan saat terjadinya sulfidasi.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa perolehan perak berbanding lurus dengan peningkatan tegangan yang digunakan, hal ini serupa dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Adi dkk pada 2024, akan tetapi penurunan laju perolehan perak yang disebabkan oleh sulfidasi pada tegangan 8 V pada penelitian sebelumnya dapat diatasi pada penelitian ini, sehingga laju perolehan perak tidak mengalami penurunan [19].

Persamaan regresi linear yang didapatkan dari pengolahan data dapat digunakan untuk memperkirakan perolehan massa perak pada tegangan tertentu tanpa harus melakukan pengujian secara langsung

$$y = 0,2345x + 0,781 \quad (1)$$

$$y = 0,1415x + 0,467 \quad (2)$$

Persamaan 1 digunakan untuk menghitung massa perak dengan agitasi, sedangkan 2 digunakan untuk menghitung massa perak tanpa agitasi, dengan y sebagai massa perak dan x sebagai tegangan. Laju perolehan massa perak dihitung dengan persamaan 3.

$$\text{laju perolehan perak} = \frac{\text{massa perak (g)}}{\text{waktu (jam)}} \quad (3)$$

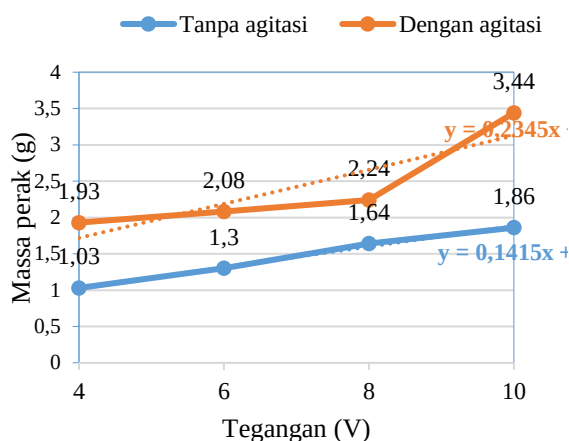
Pada saat pengujian dengan tegangan 4 V, proses elektrolisis berjalan dengan lambat, gelembung sedikit, dan limbah *fixer* berubah menjadi hitam secara perlahan. Ada lapisan hitam pada elektroda dan tidak ada endapan. Untuk arus listrik yang mengalir saat 4 V yaitu sebesar 2 A. Sedikit sulit

mengetahui laju elektrolisis karena agitasi, perubahan warna limbah *fixer* terjadi lebih cepat. Ada lapisan hitam pada elektroda dan sedikit endapan. Untuk pengujian tegangan 6 V, Gelembung lebih banyak dibanding pengujian 4 V. Limbah *fixer* sekitar elektroda berubah menjadi hitam. Lapisan hitam pada elektroda lebih tebal, terdapat endapan. Arus listrik yang mengalir sebesar 3,8 A. Limbah *fixer* berubah menjadi hitam begitu pengujian dimulai, terdapat lapisan hitam pada elektroda dan terdapat endapan.

Pengujian dengan tegangan 8 V Gelembung dan cairan hitam terlihat keluar dari elektroda, limbah *fixer* menjadi hitam dengan cepat. Arus listrik yang mengalir sebesar 6,2 A, terjadi kenaikan suhu pada kabel penghubung *power supply* dengan elektroda. Lapisan hitam lebih tebal dan endapan lebih banyak. Tidak terlihat perbedaan signifikan pada saat pengujian jika dibandingkan dengan pengujian tanpa agitasi. Untuk pengujian 10 V, suhu limbah *fixer* mulai naik setelah beberapa menit pengujian, kabel penghubung *power supply* ke elektroda mulai terasa panas, arus listrik yang mengalir sebesar 9 A. Lapisan hitam pada elektroda cukup tebal dan endapan cukup banyak. Tidak terlihat perbedaan signifikan pada saat pengujian jika dibandingkan dengan pengujian tanpa agitasi. Lapisan hitam pada elektroda cukup tebal dan endapan lebih banyak. Arus listrik yang mengalir sebesar 9 A, hampir mendekati batas maksimal *power supply* sebesar 10 A. Peningkatan tegangan atau arus listrik pada pengujian ini tidak dianjurkan karena berpotensi merusak alat.

Untuk waktu yang digunakan pada tiap percobaan adalah satu jam. Pada tegangan 4V terjadi peningkatan laju perolehan massa perak sebesar 87,38% dari 1,0 3g/jam ke 1,93g/jam. Pada tegangan 6 V terjadi peningkatan laju perolehan massa perak sebesar 60% dari 1,3 g/jam ke 2,08 g/jam. Pada tegangan 8 V terjadi peningkatan laju perolehan massa 36,59% dari 1,64 g/jam ke

2,24 g/jam. Pada tegangan 10 V terjadi peningkatan perolehan massa 84,95% dari 1,86 g/jam ke 3,44 g/jam.



Gambar 4. Grafik perolehan perak

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa agitasi pada elektrolisis limbah *fixer* mampu menghasilkan masa perak yang lebih banyak pada tegangan yang sama. 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 2. Dari tabel data pengujian dapat dilihat bahwa saat tegangan 4 V menggunakan agitasi mampu memperoleh perak lebih besar dari tegangan 10 V tanpa agitasi, hal ini dapat menunjukkan efektifitas penggunaan agitasi.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian

No	Tegangan	Arus	Laju perolehan perak	
			Tanpa agitasi (g/jam)	Dengan agitasi (g/jam)
1	4V	2A	1,03	1,93
2	6V	3,8A	1,3	2,08
3	8V	6,2A	1,64	2,24
4	10V	9A	1,86	3,44

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. Proses sulfidasi berkembang lebih cepat sebagai akibat dari tegangan tinggi yang digunakan. Dengan penambahan agitasi pada alat pengolah limbah *fixer* mampu mengurangi sulfidasi yang terjadi serta pertambahan massa perak yang cukup signifikan dibandingkan tanpa agitasi.

KESIMPULAN

Modifikasi penambahan agitasi pada alat pengolah limbah *fixer* dengan dengan metode elektrolisis berhasil dibuat dimana dapat bekerja pada tegangan 4 V hingga 10 V dengan kapasitas 3 L. Adanya agitasi terbukti meningkatkan perolehan massa perak dengan peningkatan rata-rata 67,23% dibandingkan tanpa agitasi. Laju perolehan perak semakin bertambah seiring dengan kenaikan tegangan yang digunakan dengan laju perolehan perak 1,93 g/jam pada tegangan 4 V, 2,08 g/jam pada tegangan 6V, 2,24 g/jam pada tegangan 8V dan 3,44 g/jam pada tegangan 10 V. Penyempurnaan alat masih dapat terus dilakukan diantaranya penambahan setidaknya empat elektroda yang disusun berlapis, hal ini ditujukan agar perak yang dapat diambil lebih banyak dengan waktu yang lebih singkat. Penggunaan elektroda berbahan inert untuk ketahanan elektroda lebih lama. serta dapat divariasikan perputan rotor penggerak agitasi, waktu, bentuk elektroda dan ukuran elektroda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang telah menyediakan dana untuk penelitian ini serta Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi

Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang telah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

Film Fotografi. Jurnal Kimia: 11, 95-100

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chatelut, M., Gobert, E., & Vittori, O. (2000). *Silver Electrowinning from Photographic Fixing Solutions Using Zirconium Cathode*. Journal Hydrometallurgy: 54, 79-90
- [2] Kurniasih Y. Pengembangan metode elektrodposisi untuk pengambilan kembali perak dari limbah fotorontgen. Indones Chem Appl J. 2018;2(2):12–8.
- [3] Mulyati S, Ardiyanto J, Sulistiyadi AH. Silver Generated Fixer of Saturated with Electrolytic Method and Deposition Of NaOH 5 M. 2014;10(1):11.
- [4] Petrova, T.M., Tzaneva, B., Fachikov, L., & Hristov, J. (2013). *Silver Recovery from Spent Photographic Solutions by a Magnetically Assisted Particle Bed*. Journal Chemical Engineering and Processing: Process Intensification CEP 6258
- [5] Grau, J. M., & Bisang, J. M. (1992). *Silver Electrodeposition from Photographic Processing Solutions*. Journal Chem Technol Biotechnol: 53, 105–110.
- [6] Prado, P.F.A & Ruotolo, L.A.M. (2016). *Silver Recovery from Simulated Photographic Baths by Electrochemical Deposition Avoiding Ag₂S Formation*. Journal of Environmental Chemical Engineering: 3283-3292
- [7] Sutha Negara, I. M., Simpen, I. N., & Suryatika, I. B. M. (2017). *Elektrolisis Logam Perak dari Limbah Pencucian*
- [8] Kodak Alaris Publication. (2015). *Recovering Silver from Photographic Processing Solutions*. Technical Data/Environmental Information J-215.
- [9] Arslan, V., Ucurum, M., Vapur, H., & Bayat, O. (2011). *Recovery of Silver from Waste Radiographic Films by Chemical Leaching*. Asian Journal of Chemistry: 23 (1), 67-70
- [10] Chen, W. T., Ma, C. C., Lee, M. H., Chu, Y. C., Tsai, L. C., & Shu, C. M. (2011). *Silver Recovery and Chemical Demand Oxygen (COD) Removal from Waste Fixer Solution*. Journal Applied Energy Elsevier: 100, 187-192
- [11] Ho NAD, Babel S, Sombatmankhong K. *Factors influencing silver recovery and power generation in bio-electrochemical reactors*. Environ Sci Pollut Res Int. 2017 Sep;24(26):21024–37.
- [12] Chatelut M, Gobert E, Vittori O. *Silver electrowinning from photographic fixing solutions using zirconium cathode*. Hydrometallurgy. 2000 Jan 1;54(2):79–90.
- [13] Kesumayadi D, Sutanto H. *Studi Pengendapan Perak Pada Limbah Fixer Yang Telah Jenuh Dengan Metode Pembakaran Dan Pengendapan Naoh Dan Na₂S*. Youngster Phys J. 2015 Jan 1;4(1):111–6.
- [14] Marta D. *Studi efisiensi pemisahan perak dari limbah cair fixer film dengan metode elektrolisis*. 2017. Bandung: Departement of Civil Engineering, Fakultas of Civil and Enviromental Engineering ITB.

- [15] Fatimah SS, Siswaningsih W, Kusrijadi A, Shalahuddin FA. *Silver Recovery from X-ray Film Waste by Leaching and Precipitation Method Using Sodium Hydroxide and Sodium Sulfide*. J Kim Val. 2020 May 29;6(1):62–9.
- [16] Rusminto, T., & Nurhayati, S. *Proses Elektrolisis pada Prototipe Kompor Air dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*. Surabaya: Politeknik Negeri Surabaya. (2009).
- [17] Parks ET, Williamson GF. *Digital radiography: an overview*. J Contemp Dent Pract. 2002 Nov 15;3(4):23–39.
- [18] Yulianto, B. *Penyisihan Dan Perolehan Kembali Zn Dalam Air Limbah Elektroplating Dengan Proses Elektrolisis*: J Ris Kesehat POLTEKKES DEPKES Bdg. 2008;1(1): Biotechnology-Biotechnology Bandung PK.
- [19] Adi, Efiti Pratiwi, Hartono, Zaroh I, Adilla L, Adam M. *Optimasi Pemisahan Perak dari Limbah Fixer melalui Variasi Tegangan*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Volume 12 No. 01 Januari 2024 hal 121-128.
- [20] Widayanti, Eka, *Optimasi Metode Elektrolisis Pada Recovery Perak Dari Limbah Larutan Fixer*. Universitas Pendidikan Indonesia; (2018). Available from: <https://repository.upi.edu>
- [21] Lavorante, M. J., Franco, J. I., Bonelli, P., Imbrioscia, G. M., & Fasoli, H. J. *Effect of Distances between Electrodes, Agitation and Chemical Pickling Treatment in a Specific Electrolytic Cell for Alkaline Water Electrolysis*. Journal of Energy and Power Sources (2014) Vol. 1, Nomor 3.

Efita Pratiwi Adi dkk: Rancang Bangun Penambahan Agitasi pada Alat Pengolah Limbah *Fixer* dengan Metode Elektrolisis