

Reduksi Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Proses *Etching* PCB di Laboratorium Fisika Menggunakan Metode Elektrolisis

Suwardi, Liza Lidiawati, Haidul

Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu
Corresponding Author: suwardi@unib.ac.id

Received: 29th October 2022; Revised: 08th March 2024; Accepted: 12th Juny 2024;
Available online: 04nd December 2024; Published regularly: January 2025

Abstract

Liquid waste at the Physics Laboratory of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bengkulu University, comes from the PCB dissolving process in the Basic Electronics II Experiment which contains acidic copper. If this waste is directly released into the environment, it will cause environmental pollution. To reduce the water content in the waste, it is necessary to carry out waste treatment on a laboratory scale which can reduce the above hazards. This research offers an electrolysis method for treating wastewater in a simply, easily, and inexpensively way. The electrolysis method is a method that converts electrical energy into chemical energy. This research was conducted in May – October 2022 at the Physics Laboratory of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences Bengkulu University with five stages, sample preparation, assembling electrolysis equipment, electrolysis process, spectrophotometer analysis, and data interpretation. The purpose of this study was to reduce the copper content in the PCB dissolution process liquid waste and to determine the optimum electrolysis parameters (time, electrode distance, and electric voltage) for reducing the copper content of the liquid waste. The results showed that electrolysis succeeded in reducing the copper content in the liquid waste from 3.49 mg/l to 2.87 mg/l with an efficiency of 17.76%. The electrolysis process also reduces the level of availability (pH) of liquid waste from 1.21 to 2.53

Key Words: laboratory liquid waste, electrolysis method, PCB dissolving process

Abstrak

Limbah cair di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu berasal dari proses pelarutan PCB dalam Praktikum Elektronika Dasar II yang mengandung tembaga dan bersifat asam. Bila limbah ini langsung dilepas ke lingkungan, akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Untuk mereduksi kadar tembaga dalam limbah, perlu dilakukan pengolahan limbah dalam skala laboratorium yang dapat mengurangi bahaya di atas. Penelitian ini menawarkan metode elektrolisis untuk pengolahan limbah cair secara sederhana, mudah, dan murah. Metode elektrolisis adalah metode yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan parameter perlakuan berupa waktu, jarak elektroda, dan tegangan listrik. Penelitian yang dilaksanakan pada Mei – Oktober 2022 di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu dengan lima tahapan, yaitu preparasi sampel, merangkai peralatan elektrolisis, proses elektrolisis, analisis spektrofotometer, dan interpretasi data. Tujuan penelitian ini adalah untuk mereduksi kadar tembaga pada limbah cair proses pelarutan PCB dan menentukan parameter elektrolisis (waktu, jarak elektroda, dan tegangan listrik) yang optimum dalam mereduksi kadar tembaga limbah cair. Penelitian ini berhasil mereduksi kadar tembaga dalam limbah cair dari 3,49 mg/l menjadi 2,87 mg/l dengan efisiensi elektrolisis sebesar 17,76%. Parameter elektrolisis optimum yang menghasilkan efisiensi elektrolisis 17,76% adalah jarak elektroda 6 cm, waktu elektrolisis 30 menit, dan tegangan listrik 4 V. Proses elektrolisis juga berhasil mengurangi tingkat keasaman (pH) limbah cair dari 1,21 menjadi 2,53.

Kata Kunci : limbah cair laboratorium, metode elektrolisis, proses pelarutan PCB

PENDAHULUAN

Dalam praktikum Elektronika Dasar II di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu terdapat proses *etching* PCB dalam rangka menyiapkan papan rangkaian yang digunakan dalam pengambilan data praktikum. PCB (*Printed Circuit Board*) adalah papan tipis yang terbuat dari sejenis fiber yang digunakan untuk merangkai dan menyolder komponen elektronika. Proses *etching* PCB adalah proses pengikisan lapisan tembaga PCB dengan cara merendamnya pada larutan FeCl_3 . Proses ini menghasilkan limbah cair yang mengandung tembaga dan tingkat keasaman yang tinggi. Hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair sisa proses *etching* menunjukkan bahwa limbah ini memiliki karakteristik nilai keasamannya antara 0 – 1, kandungan tembaga sekitar 140.000 mg/liter, bau asam yang menyengat dan berwarna hijau kehitaman (Cahyono, 2013). Dari proses pembuatan PCB dihasilkan air limbah yang mempunyai pH rendah dan larutnya tembaga pada air menyebabkan kadar tembaga (Cu) dalam air limbah proses pelarutan PCB menjadi tinggi.

Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu dalam kondisi normal menghasilkan limbah cair proses *etching* PCB sekitar 40 - 50 liter per semester. Bila limbah cair ini langsung dilepas ke lingkungan, maka akan mengakibatkan pencemaran lingkungan seperti pencemaran air, pencemaran logam berat, dan peningkatan COD. Kandungan tembaga pada tubuh manusia dalam dosis tinggi dapat menyebabkan penyakit ginjal, hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kramp, konvulsi, shock, koma, dan dapat meninggal (Said, 2010). Makanan yang tercemar juga akan berdampak negatif pada kesehatan diantaranya keracunan akibat paparan tembaga, penurunan fungsi ginjal, dan pengendapan tembaga pada kornea mata. Mengingat dampaknya yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan serta untuk mendukung program akreditasi Laboratorium FMIPA Universitas Bengkulu berbasis IEC/ISO 17025:2017, maka perlu dilakukan upaya pengolahan limbah dalam skala laboratorium yang dapat mengurangi bahaya di atas. Penelitian ini menawarkan metode elektrolisis untuk menginisiasi pengolahan limbah cair laboratorium khususnya limbah cair proses *etching* PCB menggunakan metode elektrolisis yang relatif sederhana, murah, dan efisien. Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain penggunaan katalisator, luas permukaan tercelup, sifat logam bahan elektroda, konsentrasi pereaksi, dan besar tegangan eksternal (Suyuty, 2011). Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (*kation*) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (*anion*) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Fakhrudin dkk., 2017).

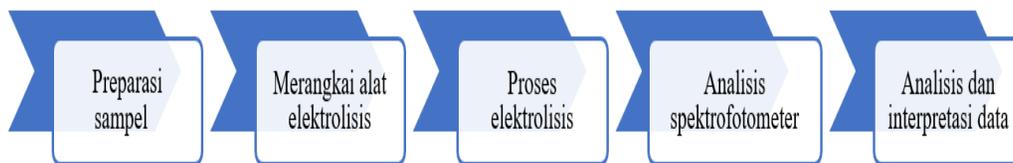
Penggunaan metode elektrolisis untuk pengolahan limbah telah banyak dilakukan dalam penelitian-penelitian terdahulu. Diantaranya Penelitian Trisnawan dan Shofiatul (2016) menerapkan metode elektrolisis untuk recovery tembaga pada limbah pengolahan emas menggunakan bak elektrolisis bertingkat dan mesin pengontrol debit air limbah. Hamid dkk (2017) melakukan penelitian metode elektrolisis untuk menurunkan konsentrasi TSS dan COD pada limbah domestik. Penelitian Rohayati dkk (2017) melakukan penelitian pengolahan limbah industri tekstil menggunakan metode gabungan elektrodegradasi dan elektrodekolorisasi dalam satu sel elektrolisis. Penelitian Hindarti (2018) yang menerapkan metode elektrolisis untuk menurunkan kandungan tembaga pada pengolahan limbah cair proses *etching* dengan variasi konsentrasi limbah. Penelitian Fauzi dkk (2019) menggunakan metode elektrolisis untuk menurunkan kadar TSS, COD, dan BOD dalam pengolahan air limbah batik. Penelitian Pratama dkk (2020) mengimplementasikan metode elektrolisis untuk menurunkan kadar COD dan Fosfat pada limbah cair produksi nata de coco. Berdasarkan referensi terdahulu yang peneliti ketahui, penelitian-penelitian diatas belum ada yang mengimplementasikan metode elektrolisis untuk menurunkan kadar tembaga pada limbah cair proses *etching* PCB di laboratorium menggunakan variasi jarak elektroda, tegangan listrik, dan waktu elektrolisis.

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mekanisme metode elektrolisis agar mampu mereduksi kadar tembaga pada limbah cair proses *etching* PCB di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu. Tujuan penelitian ini adalah: (a) untuk

mereduksi kadar tembaga pada limbah cair proses *etching* PCB menggunakan metode elektrolisis, (b) untuk menentukan parameter waktu, jarak elektroda, dan besar tegangan listrik yang optimum dalam penerapan metode elektrolisis untuk mereduksi kadar tembaga pada limbah cair proses *etching* PCB. Sedangkan manfaat penelitian ini adalah: (a) memahami mekanisme metode elektrolisis dalam mereduksi kadar tembaga pada limbah cair proses *etching* PCB di Laboratorium Fisika, (b) mengurangi tingkat bahaya limbah cair proses *etching* PCB melalui pengolahan limbah cair berbasis metode elektrolisis. Luaran penelitian ini berupa publikasi hasil penelitian dalam jurnal ilmiah terindeks minimal Sinta 5. Luaran lain penelitian ini adalah data awal pengolahan limbah cair skala laboratorium dalam mendukung program akreditasi laboratorium berbasis IEC/ISO 17025:2017 di FMIPA Universitas Bengkulu.

BAHAN DAN METODE

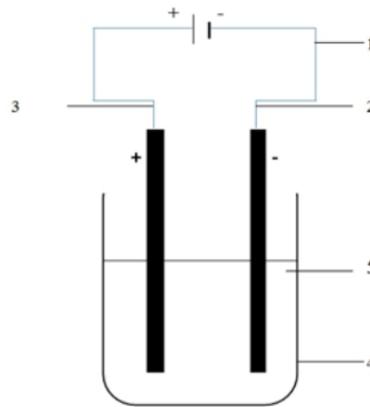
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan parameter perlakuan berupa waktu elektrolisis, jarak elektroda, dan tegangan listrik. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu pada bulan Mei – Oktober 2022. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer UV Vis, botol, pipet tetes, gelas ukur, labu takar, elektroda besi, kabel, catu daya, neraca analitik, pH meter, batang pengaduk, dan statif untuk penyangga elektroda. Sedangkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain limbah cair proses *etching* PCB, aquades, HNO₃, dan larutan NaOH. Penelitian ini dilakukan melalui lima tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan limbah cair proses *etching* PCB dari Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu. Limbah cair sebanyak lima liter disimpan dalam wadah tertutup untuk digunakan dalam proses elektrolisis. Satu kali elektrolisis membutuhkan limbah cair sebanyak 100 mL yang diletakkan dalam gelas kimia dan diaduk hingga merata.

Setelah preparasi sampel tahapan selanjutnya adalah merangkai alat elektrolisis berupa elektroda besi (katoda dan anoda), catu daya, kabel dan penjepit buaya, triplek untuk penyangga elektroda. Kedua elektroda besi dibersihkan dengan cara diampas, lalu di rendam dalam gelas kimia yang berisi etanol secukupnya dan dikeringkan dengan tisu. Katoda dihubungkan ke kutub negatif dari arus listrik, sedangkan anoda dihubungkan pada kutub positif sumber arus listrik. Dalam proses elektrolisis elektrodanya tegak tidak berubah arah, sedangkan jarak elektroda, waktu elektrolisis dan tegangan listrik di atur sesuai variasi yang akan digunakan. Rangkaian peralatan elektrolisis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian peralatan elektrolisis
(1) Catu daya, (2) Kabel, (3) Elektroda, (4) Bak elektrolisis, (5) Sampel

Peralatan elektrolisis telah dirangkai maka dilakukan proses pengujian sampel secara elektrolisis dengan berbagai macam parameter diantaranya jarak elektroda, waktu elektrolisis, dan tegangan listrik. (a) Elektrolisis dengan variasi jarak elektroda: Larutan limbah cair yang telah dielektrolisis dengan variasi jarak elektroda 2 cm, 4 cm, dan 6 cm yang masing-masing diberi kode A1, A2, dan A3 seperti ditunjukkan Gambar 3. Tegangan yang digunakan dalam proses elektrolisis ini yaitu 4 V dengan waktu elektrolisis selama 30 menit. Dari proses ini diperoleh jarak elektroda yang optimum yang menghasilkan kadar tembaga terkecil dibandingkan dengan kadar tembaga sampel tanpa perlakuan, (b) Elektrolisis dengan variasi waktu elektrolisis: Dalam proses ini larutan limbah cair dielektrolisis dengan waktu elektrolisis yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit yang masing-masing diberi kode A4, A5, dan A6. Tegangan yang digunakan dalam proses elektrolisis ini yaitu 4 V dengan jarak elektroda 6 cm, (c) Elektrolisis dengan variasi tegangan listrik: Larutan limbah cair dielektrolisis dengan variasi tegangan yaitu 4V, 6V, dan 8V yang masing-masing diberi kode A7, A8, dan A9. Jarak elektroda yang digunakan dalam proses elektrolisis ini yaitu 6 cm dengan waktu elektrolisis selama 30 menit.



Gambar 3. Proses elektrolisis dengan variasi jarak elektroda

Untuk memperoleh kadar tembaga pada sampel, selanjutnya melakukan analisis kadar tembaga menggunakan spektrofotometer. Sampel limbah cair dan larutan hasil elektrolisis dengan variasi jarak elektroda, waktu elektrolisis dan tegangan listrik di uji kadar tembaga pada larutan tersebut menggunakan instrumen spektrofotometer. Tingkat efisiensi proses elektrolisis dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses dan dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Efisiensi (\%) = \frac{S_0 - S_i}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana S_0 = kadar Cu sebelum elektrolisis dan S_i = kadar Cu setelah elektrolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini memiliki karakteristik bersifat asam dengan nilai pH 1,21, berwarna hijau kecoklatan, dan memiliki kandungan tembaga 3,49 mg/l. Sampel dikondisikan dalam empat perlakuan (*treatment*) yaitu tanpa perlakuan elektrolisis, perlakuan elektrolisis dengan variasi jarak elektroda, perlakuan elektrolisis dengan variasi waktu, dan perlakuan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik.

Elektrolisis dengan variasi jarak elektroda

Hasil pengukuran kadar tembaga (Cu) menggunakan spektrofotometer dari sampel yang diberi perlakuan elektrolisis dengan variasi jarak elektroda ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar tembaga sampel yang dielektrolisis dengan variasi jarak elektroda

Kode Sampel	Jarak Elektroda (cm)	Tegangan Listrik (V)	Waktu Elektrolisis (menit)	pH	Kadar Cu (mg/l)
A0	Tanpa perlakuan elektrolisis			1,21	3,49
A1	2	4	30	2,12	3,34
A2	4	4	30	2,53	3,13
A3	6	4	30	2,51	2,87

Berdasarkan Tabel 1, parameter pH menunjukkan terjadinya kenaikan nilai pH dari 1,21 untuk sampel yang tanpa perlakuan elektrolisis menjadi 2,12 untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 2 cm, 2,53 untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 4 cm, dan 2,51 untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 6 cm. Hal ini membuktikan bahwa elektrolisis dapat mengurangi tingkat keasaman sampel limbah cair.

Kadar tembaga (Cu) pada sampel mengalami penurunan dari 3,49 mg/l untuk sampel tanpa perlakuan elektrolisis menjadi 3,34 mg/l untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 2 cm, 3,13 mg/l untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 4 cm, dan 2,87 mg/l untuk sampel yang dielektrolisis dengan jarak elektroda 6 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa pada proses elektrolisis jarak antar elektroda berpengaruh terhadap hasil elektrolisis. Pada saat elektrolisis berlangsung terdapat ruang yang cukup antar elektroda untuk menampung deposit tembaga yang terbentuk dan semakin lama proses elektrolisis menyebabkan menyempitnya ruang antar elektroda yang menghambat laju proses elektrolisis (Hindarti, 2018). Hasil penelitian ini juga sesuai dengan penelitian Naje *et al* (2015) yang menyatakan bahwa variasi jarak mempengaruhi kecepatan elektrolisis untuk mencapai kondisi optimum. Berdasarkan data diatas, elektrolisis dengan jarak elektroda 6 cm, tegangan 4 V, dan waktu 30 menit merupakan kondisi optimum dalam menurunkan kadar tembaga. Jarak elektroda 6 cm ini selanjutnya digunakan dalam proses elektrolisis sampel penelitian selanjutnya.

Elektrolisis dengan variasi waktu elektrolisis

Hasil pengukuran kadar tembaga (Cu) menggunakan spektrofotometer dari sampel yang diberi perlakuan elektrolisis dengan variasi waktu elektrolisis ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar tembaga sampel yang dielektrolisis dengan variasi waktu elektrolisis

Kode Sampel	Jarak Elektroda (cm)	Tegangan Listrik (V)	Waktu Elektrolisis (menit)	pH	Kadar Cu (mg/l)
A4	6	4	30	2,51	2,87
A5	6	4	60	2,00	3,26
A6	6	4	90	2,50	4,58

Elektrolisis dengan variasi waktu menunjukkan bahwa lama elektrolisis 30 menit menghasilkan pH sebesar 2,51, waktu 60 menit menghasilkan pH 2,00, dan waktu 90 menit menghasilkan pH 2,50. Hal ini menunjukkan bahwa tidak secara otomatis semakin lama sampel dielektrolisis akan menghasilkan kenaikan pH sampel. Hasil lainnya menunjukkan bahwa semakin lama elektrolisis, justru menyebabkan kenaikan kadar Cu dari 2,87 mg/l menjadi 3,26 mg/l dan 4,58 mg/l. Penambahan kadar tembaga ini diduga diakibatkan adanya pengikisan elektroda dalam proses elektrolisis dan terlarut dalam sampel. Makin lama proses elektrolisis, elektroda positif (anoda) semakin terkikis dan terlarut dalam sampel sehingga menyebabkan kadar tembaga dan kontaminan dalam sampel meningkat. Oleh karena itu penelitian berikutnya diharapkan menggunakan elektroda yang tidak mudah mengalami korosi akibat sampel limbah cair yang bersifat korosif. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian Hamid dkk (2017) yang mendapatkan hasil bahwa waktu elektrolisis berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi TSS. Makin lama waktu elektrolisis akan membentuk massa partikel yang lebih besar dan berat, sehingga mempengaruhi TSS pada air limbah.

Elektrolisis dengan variasi tegangan listrik

Hasil pengukuran kadar tembaga (Cu) menggunakan spektrofotometer dari sampel yang diberi perlakuan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar tembaga sampel yang dielektrolisis dengan variasi tegangan listrik

Kode Sampel	Jarak Elektroda (cm)	Tegangan Listrik (V)	Waktu Elektrolisis (menit)	pH	Kadar Cu (mg/l)
A7	6	4	30	2,51	2,87
A8	6	6	30	2,50	4,33
A9	6	8	30	2,00	4,57

Hasil elektrolisis sampel dengan variasi tegangan listrik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan listrik mampu menurunkan pH dari 2,51 (untuk tegangan 4 V) menjadi 2,00 (untuk tegangan 8 V). Sedangkan dalam menurunkan kandungan Cu, tegangan listrik 4 V merupakan tegangan listrik yang optimal dengan kandungan Cu sebesar 2,87 mg/l. Kenaikan tegangan listrik justru meningkatkan kandungan Cu dari 2,87 mg/l menjadi 4,57 mg/l. Hasil ini berbeda dengan penelitian Syawalien dkk (2019) yang menyebutkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi tegangan listrik terhadap kadar logam dalam limbah air lindi. Hasil penelitian ini juga berbeda dengan penelitian Setianingrum dkk (2016) yang menyatakan bahwa semakin besar tegangan listrik yang diberikan, semakin banyak flok yang dihasilkan untuk mengikat kontaminan pada limbah cair. Perbedaan ini diduga akibat

adanya pengikisan atau korosi elektroda dalam proses elektrolisis yang justru meningkatkan kontaminan pada limbah cair. Sedangkan untuk sampel limbah domestik, tegangan listrik memiliki pengaruh dimana semakin tinggi tegangan listrik dalam proses elektrolisis limbah cair rumah tangga maka semakin cepat penurunan BOD ataupun TSS (Afandi dkk, 2017). Dalam penelitian Nurajijah dkk (2014), tegangan listrik 10 V memiliki pengaruh optimal dalam menurunkan kadar TDS pada limbah laundry.

Efisiensi Proses Elektrolisis

Efisiensi elektrolisis adalah prosentase kemampuan elektrolisis dalam menurunkan kadar tembaga dalam sampel. Untuk menghitung efisiensi proses elektrolisis limbah cair laboratorium digunakan persamaan (1) yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi proses elektrolisis dalam menurunkan kadar tembaga (Cu)

Kode Sampel	Jarak Elektroda (cm)	Tegangan Listrik (V)	Waktu Elektrolisis (menit)	η (%)
A1	2	4	30	4,29
A2	4	4	30	10,31
A3	6	4	30	17,76
A4	6	4	30	17,76
A5	6	4	60	6,59
A6	6	4	90	-31,23
A7	6	4	30	17,76
A8	6	6	30	-24,06
A9	6	8	30	-30,94

Tabel 4 menunjukkan bahwa efisiensi terbaik proses elektrolisis dalam menurunkan kadar tembaga dalam limbah cair laboratorium diperoleh sebesar 17,76%. Nilai tersebut diperoleh pada sampel A3, A4, dan A7 dengan konfigurasi parameter elektrolisis jarak elektroda 6 cm, tegangan listrik 4V, dan waktu elektrolisis 30 menit

KESIMPULAN

Proses elektrolisis dalam penelitian ini berhasil mereduksi kandungan tembaga dalam limbah cair dari 3,49 mg/l menjadi 2,87 mg/l dengan efisiensi elektrolisis sebesar 17,76%. Parameter elektrolisis optimum yang menghasilkan efisiensi elektrolisis 17,76% adalah jarak elektroda 6 cm, waktu elektrolisis 30 menit, dan tegangan listrik 4 V

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Pimpinan FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memfasilitasi pendanaan penelitian ini melalui Dana RBA FMIPA Tahun 2022, Nomor Kontrak: 2026/UN30.12/HK/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A.M., Rijal, I., Aziz, T. 2017. Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik Terhadap Limbah Cair Rumah Tangga dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 2, Vol. 23, Hal: 114-119.
- Cahyono, H.B. 2013. Perolehan Kembali Tembaga Dalam Limbah Cair Industri Printing Circuit Board Dengan Proses Elektrolisis. Laporan Penelitian. Baristan Industri Surabaya.
- Fakhrudin, Nurdiana, J., Wijayanti, D.W. 2017. Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas

- Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV Universitas Mulawarman*, Hal: 10–15.
- Fauzi, N., Udyani, K., Zuchrillah, D.R., Hasanah, F. 2019. Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium dan Besi pada Pengolahan Air Limbah Batik. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019*. Hal: 213-218.
- Hamid, R.A., Purwono, Oktawan, W. 2017. Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Elektrolisis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 6, No. 1, Hal: 1-8
- Hindarti, F. 2018. Pengaruh variasi konsentrasi limbah terhadap penurunan kandungan tembaga pada pengolahan limbah cair proses *etching* dengan metode elektrolisis. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, Vol. 10, No. 2, Hal: 146-154
- Naje, A.S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., and Abbas, S.A. 2015. Enhancement of an Electrocoagulation Process for the Treatment of Textile Wastewater under Combined Electrical Connections Using Titanium Plates. *Journal Electrochemical Science*, Vol. 10, pp. 4495 – 4512.
- Nurajijah, L., Harjunowibowo, D., Radiyono, Y. 2014. Pengaruh Variasi Tegangan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Proses Elektrolisis. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*, Vol. 4, No. 1, Hal: 31-35.
- Pratama, D.I., Aditya, R.B., Fatimah, S. 2020. Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik terhadap Kadar COD dan Fosfat pada Limbah Cair Nata De Coco Dengan Metode Hibridisasi Pipe Filter Layer-Elektrolisis (HPFLE). *Jurnal Penelitian Techno*, Vol. 9, No. 1, Hal: 308-314.
- Rohayati, Z., Fajrin, M.M., Rua, J., Yulan, Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrokolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta*, Vol. 5, No. 2, Hal: 95-100.
- Said, N.I. 2010. Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di dalam Air Limbah Industri. *JAI*, Vol 6, No. 2, Hal: 136-148.
- Setianingrum, N.P., Prasetya, A., Sarto. 2016. Pengaruh tegangan dan jarak antar elektroda terhadap pewarna remazol red rb dengan metode elektrokoagulasi. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, Vol. 1, No. 2, Hal: 93-97
- Suyuty, A. 2011, Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis Dalam Rangka Peningkatan Performa dan Reduksi Sox-Nox Motor Diesel, *Skripsi Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Syawalian, M.A.R , Yohana, Kahar. A. 2019. Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Kandungan Logam Pada Lindi TPA Sampah Dengan Metode Elektrolisis, *Jurnal Chemurgy*, Vol. 03, No.1, Hal: 6-10.
- Trisnawan, Shofiatal, U. 2016, Recovery tembaga (Cu) dari limbah pengolahan/peleburan emas menggunakan bak elektrolisis bertingkat dan mesin pengontrol debit air limbah. *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering Vol. 1 No.1*, Hal: 1-5