Teknika 19 (2): 535-544

JURNAL TEKNIKA
ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Removal Limbah Logam Berat Cu Dari CV Elmech Technology Secara Kimia Dengan Metode Presipitasi

Mu'tasim Billah[*1], Aulia Rafi Fitriansyah[2], Randi Ragil Pambudi[3]

[*1,2,3]Jurusan Teknik Kimia, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: tasimbillah60@gmail.com

Abstrak

Peningkatan limbah logam berat Cu dari industri electroplating berpotensi mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan manusia, sehingga perlu dikelola lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan mereduksi kadar Cu dalam limbah cair CV Elmech Technology menggunakan metode presipitasi kimia dengan NaOH. Metode ini dipilih karena kemampuannya mengubah logam berat menjadi senyawa hidroksida tidak larut yang mudah dipisahkan. Variabel bebas berupa volume NaOH (120, 150, 180, 210, 240 ml) dan waktu pengendapan (40, 60, 80, 100, 120 menit). Analisis kadar Cu dilakukan dengan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Hasil menunjukkan penurunan kadar Cu dari 22,637 mg/L menjadi 0,23 mg/L (efisiensi 99,999%) pada volume NaOH 240 ml, meskipun berat endapan berkurang akibat pembentukan senyawa kompleks hidroksida yang larut. Waktu pengendapan yang relatif optimal tercapai pada 120 menit. Penelitian ini membuktikan efektivitas metode presipitasi dalam mengurangi limbah Cu secara signifikan. Namun, perlu kajian lanjutan terkait aplikasi endapan, alternatif agen presipitasi, dan keamanan filtrat. Hasil ini penting sebagai referensi pengelolaan limbah B3 berkelanjutan, khususnya di industri berbasis logam.

Kata kunci*—Limbah Logam Berat, Presipitasi Kimia, Tembaga (Cu), Efisiensi NaOH, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

Abstract

The increase in heavy metal waste Cu from the electroplating industry has the potential to pollute the environment and threaten human health, so it needs to be managed further. This study aims to reduce the levels of Cu in liquid waste from CV Elmech Technology using the chemical precipitation method with NaOH. This method was chosen because of its ability to convert heavy metals into insoluble hydroxide compounds that are easily separated. Independent variables are NaOH volume (120, 150, 180, 210, 240 ml) and sedimentation time (40, 60, 80, 100, 120 minutes). Cu content analysis was carried out using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed a decrease in Cu levels from 22.637 mg/L to 0.23 mg/L (efficiency 99.999%) at a NaOH volume of 240 ml, although the weight of the sediment decreased due to the formation of soluble hydroxide complex compounds. The relatively optimal sedimentation time was achieved at 120 minutes. This study proves the effectiveness of the precipitation method in significantly reducing Cu waste. However, further studies are needed regarding the application of sediment, alternative precipitation agents, and filtrate safety. These

Received: March 10, 2025; Online Available: April 11, 2025

results are important as a reference for sustainable B3 waste management, especially in metal-based industries.

Keywords—*Heavy Metal Waste, Chemical Precipitation, Copper (Cu), NaOH Efficiency, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan aktivitas industri telah meningkatkan keberadaan logam berat dalam lingkungan. Industri-industri seperti *electroplating*, metalurgi, dan proses *smelting* merupakan beberapa contoh industri kimia yang banyak menghasilkan limbah logam berat [1]. Limbah-limbah ini tergolong sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) yang memiliki potensi berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem karena kandungan toksiknya jika tidak dikelola dengan baik. Limbah tembaga (Cu) merupakan salah satu limbah B3 [2], sehingga sangat penting untuk dilakukan penelitian mengenai cara mereduksi limbah logam berat Cu dari limbah industri.

Secara umum terdapat dua metode yang sering digunakan untuk menurunkan kadar logam pada limbah yaitu metode fisika dan metode kimia. Metode fisika memanfaatkan prinsip-prinsip fisika untuk memisahkan logam berat dari larutan atau limbah, sedangkan metode kimia memanfaatkan prinsip penggunaan reaksi kimia yang memungkinkan pengendapan, pengikatan, atau transformasi logam berat [3]. Dalam metode kimia, salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi pencemaran logam berat adalah melalui proses presipitasi kimia. Metode presipitasi kimia menjadi fokus penelitian ini dalam upaya menghilangkan logam berat dari limbah. Proses presipitasi melibatkan penggunaan reagen kimia tertentu yang mampu mengubah logam berat menjadi senyawa yang kurang larut dalam air sehingga dapat diendapkan dan dipisahkan dari larutan. Penggunaan reagen seperti sulfida, hidroksida, atau karbonat sering digunakan dalam proses ini untuk menghasilkan endapan logam berat dalam bentuk senyawa yang lebih aman atau dalam bentuk padatan yang bisa diolah lebih lanjut untuk dikembalikan ke dalam proses industri atau dibuang dengan aman [4].

Pemahaman yang lebih mendalam tentang proses presipitasi kimia dalam menghilangkan logam berat dari limbah industri merupakan langkah penting dalam penelitian ini. Faktor-faktor seperti pH larutan, konsentrasi logam berat, jenis reagen yang digunakan, dan kondisi operasional lainnya memainkan peran krusial dalam efisiensi proses presipitasi [5].

Beberapa penelitian terdahulu di Indonesia telah mengeksplorasi penggunaan metode presipitasi untuk mengatasi limbah logam berat. Penelitian [6] membahas efektivitas presipitasi dengan berbagai metode, salah satunya metode sulfida dengan agen presipitasi natrium sulfida dalam menurunkan konsentrasi logam berat seperti tembaga, seng, timbal, krom, nikel, dan lain sebagainya. Didapatkan penurunan konsentrasi logam Cu sebesar 76,37%. Sedangkan [7] melakukan presipitasi logam berat Cu dengan menggunakan agen presipitasi kalsium hidroksida dan ditambah dengan larutan kapur didapatkan penurunan kadar Cu hingga 99,997%. Demikian juga [8] mengeksplorasi penggunaan metode presipitasi kimia untuk menghilangkan logam berat seperti krom dan nikel dari limbah cair industri *electroplating*. Bahkan [9] menyebutkan bahwa proses presipitasi Cu dengan agen presipitan NaOH dapat dilakukan dan memperoleh hasil 99,993%. Demikian juga [7] menjelaskan bahwa logam-logam berat ini sangat stabil dalam larutan dan tidak dapat membentuk suatu padatan.

Metode presipitasi dipilih untuk menurunkan kadar logam berat Cu karena memiliki beberapa keunggulan yaitu penanganan yang mudah, konsentrasi akhir yang rendah, biaya yang relatif murah dan bahan presipitan yang digunakan juga mudah diperoleh. Tujuan penggunaan hidroksida sebagai agen pengendap ini adalah meningkatkan pH (konsentrasi H^+) dari air sehingga logam-logam berat akan mengendap. Dari uraian tersebut maka usaha untuk menurunkan kadar Cu dengan agen presipitan NaOH dalam air limbah *electroplating* dengan metode presipitasi merupakan hal yang bisa dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan sebagai alternatif mengurangi pencemaran lingkungan akibat logam berat, khususnya Cu dalam limbah industri *electroplating*. Penelitian ini juga berfungsi untuk

mengetahui serta mempelajari bagaimana efektivitas NaOH terhadap Cu dengan variabel volume agen presipitasi. Perbedaan utama penelitian ini dari penelitian terdahulu terletak pada variabel yang digunakan yaitu volume agen presipitasi. Pada penelitian ini akan disebutkan dan dijelaskan pengaruh volume agen presipitasi selama proses presipitasi hingga hasil yang diperoleh. Hal tersebut belum dijelaskan pada penelitian terdahulu, sehingga penelitian ini dapat menyempurnakan penelitian terdahulu.

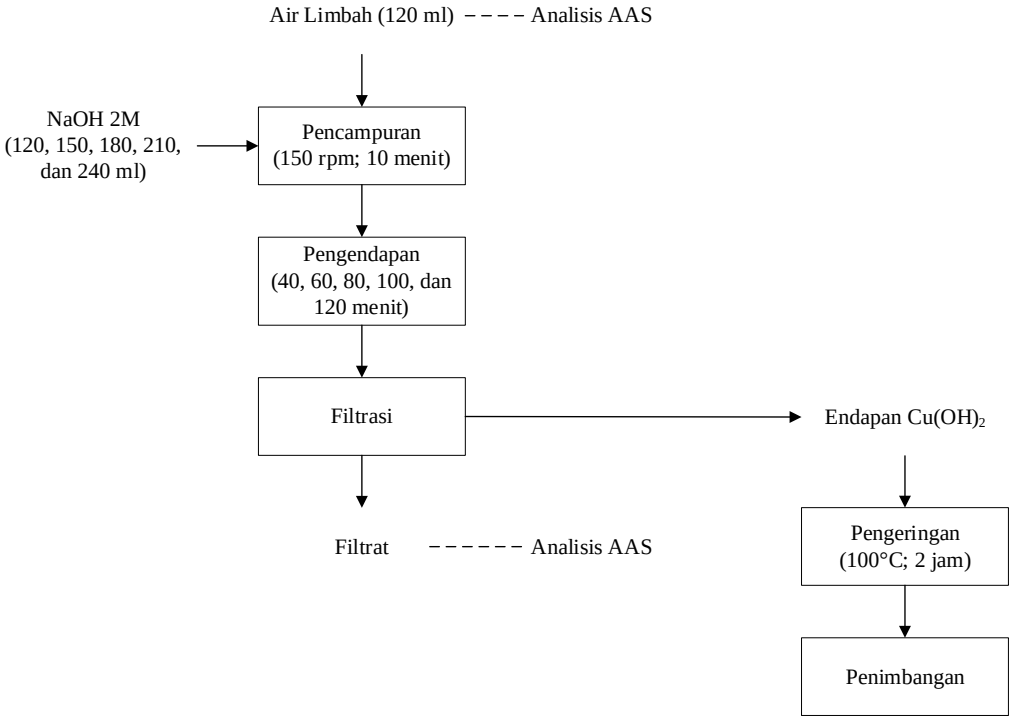
2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah limbah cair industri elektronik CV Elmech Technology, NaOH, dan aquadest. Alat yang digunakan adalah *magnetic stirrer*, *beaker glass*, gelas ukur, kertas pH, kertas saring, dan oven.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap meliputi persiapan sampel, percobaan dan analisis hasil yang dapat dilihat seperti Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Proses Presipitasi dengan NaOH

Persen penurunan kadar logam Cu dapat dihitung seperti Rumus (1) [4].

$$\%\ Penurunan = \frac{Kadar\ awal - kadar\ akhir}{Kadar\ awal} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Bahan Baku

Bahan baku limbah cair *electroplating* (PCB) diuji kandungan dan kadarnya dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), diperoleh hasil bahwa dalam limbah cair *electroplating* (PCB) memiliki kadar tembaga (Cu) sebesar 22.637 mg/L, nikel (Ni) sebesar 0,75 mg/L, timbal (Pb) sebesar < 0,016 mg/L, dan timah (Sn) sebesar 0,029 mg/L [10]. Berdasarkan

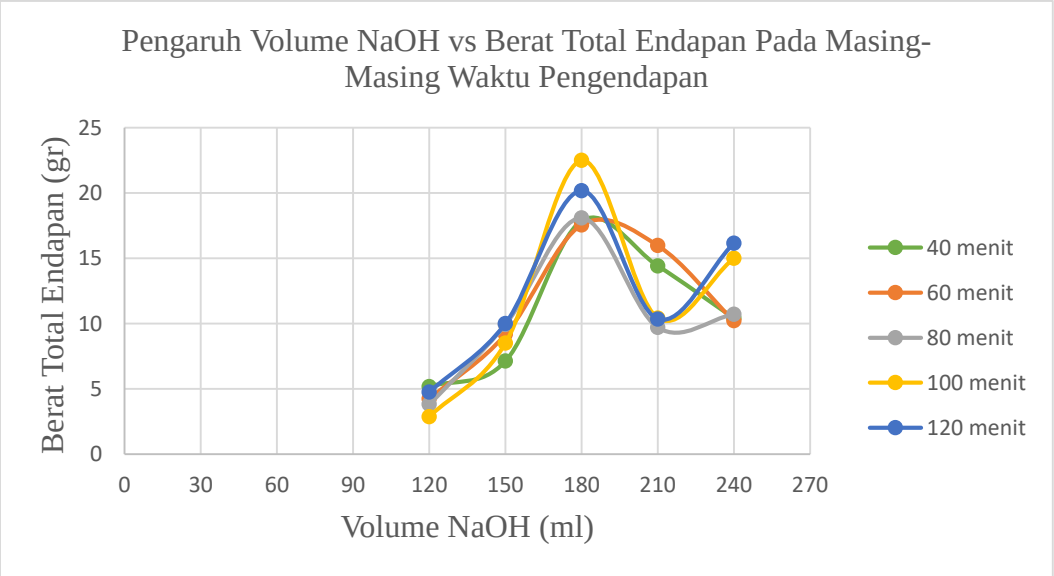
hasil uji tersebut, maka kadar Cu limbah cair *electroplating* (PCB) masih perlu diturunkan sebelum dibuang ke sungai hingga standar baku mutu yang telah ditentukan Pergub Jatim Nomor 72 Tahun 2013 yaitu sebesar 0,6 mg/L [11].

3.2 Hasil Pengamatan

Hasil pengamatan berat total endapan pada masing-masing variabel dilakukan dengan menyaring larutan yang telah didiamkan menggunakan kertas saring, kemudian endapan yang diperoleh dikeringkan dengan menggunakan oven [12] selama 2 jam pada suhu 100°C. Setelah itu, endapan ditimbang dan hasilnya dapat dilihat seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Hasil Pengamatan Volume NaOH Terhadap Berat Total Endapan Pada Masing-Masing Waktu Pengendapan

Volume NaOH (ml)	Waktu Pengendapan (menit)	pH	Berat Total Endapan (gram)
120	40	5	5,18
	60		7,14
	80		17,87
	100		14,43
	120		10,43
150	40	7	4,25
	60		9,19
	80		17,57
	100		15,99
	120		10,22
180	40	9	3,83
	60		9,94
	80		18,09
	100		9,72
	120		10,72
210	40	13	2,88
	60		8,51
	80		22,5
	100		10,43
	120		15
240	40	14	4,77
	60		10,01
	80		20,18
	100		10,36
	120		16,16



Gambar 2 Pengaruh Volume NaOH Terhadap Berat Total Endapan Pada Masing-Masing Waktu Pengendapan

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 1, diketahui bahwa berat total endapan tertinggi pada masing-masing waktu pengendapan diperoleh pada volume NaOH 180 ml dengan pH larutannya 9. Penambahan volume NaOH berpengaruh terhadap berat total endapan yang diperoleh dan perubahan pH yang terjadi pada larutan. Menurut [13] senyawa cupri oksida memiliki pH optimum untuk presipitasi Cu antara pH 9 hingga 10. Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [6] bahwa sebagian besar logam berat terendapkan dengan baik pada pH 9. Secara teori, reaksi yang terjadi sebagai berikut:

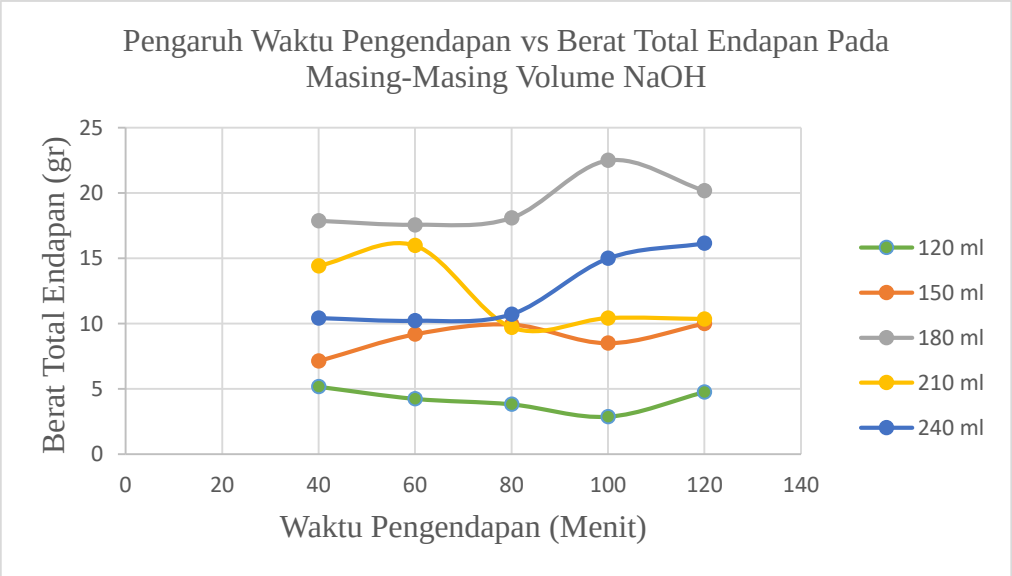
$$2NaOH(aq) + Cu^{2+}(aq) \leftrightharpoons Cu(OH)_2(s)\downarrow + 2Na^{+}(aq)$$

(Natrium Hidroksida) (Tembaga) (Tembaga (II) Hidroksida) (Natrium) [9]

Terdapat fenomena yang terjadi pada proses penambahan volume NaOH yang berpengaruh terhadap berat total endapan yang dihasilkan. Diketahui bahwa berat total endapan pada volume NaOH 240 ml dengan pH larutannya 14 diperoleh hasil yang lebih rendah dibandingkan pada volume NaOH 180 ml dengan pH larutannya 9. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan pada pH di atas 9, ion Cu^{2+} akan terlarut kembali pada larutan karena kondisi larutan yang tidak sesuai [6]. Kondisi ini terjadi karena penambahan senyawa basa secara berlebih menyebabkan terjadinya pembentukan senyawa kompleks hidroksida logam. Senyawa ini bersifat mudah larut dalam air dan meningkatkan pula kelarutan logam secara keseluruhan [12], sehingga endapan yang dapat tersaring akan berkurang dan berat total endapan yang diperoleh akan lebih rendah. Dengan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa penambahan volume NaOH yang berlebih tidak menghasilkan endapan yang maksimal.

Tabel 2 Hasil Pengamatan Waktu Pengendapan Terhadap Berat Total Endapan Pada Masing-Masing Volume NaOH

Waktu Pengendapan (Menit)	Volume NaOH (ml)	Berat Total Endapan (gram)
40	120	5,18
	150	7,14
	180	17,87
	210	14,43
	240	10,43
60	120	4,25
	150	9,19
	180	17,57
	210	15,99
	240	10,22
80	120	3,83
	150	9,94
	180	18,09
	210	9,72
	240	10,72
100	120	2,88
	150	8,51
	180	22,5
	210	10,43
	240	15
120	120	4,77
	150	10,01
	180	20,18
	210	10,36
	240	16,16



Gambar 3 Pengaruh Waktu Pengendapan Terhadap Berat Total Endapan Pada Masing-Masing Volume NaOH

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 2, diketahui bahwa berat total endapan relatif tertinggi pada masing-masing volume NaOH diperoleh pada waktu pengendapan 120 menit. Durasi waktu pengendapan berpengaruh terhadap berat total endapan yang diperoleh. Menurut [8] semakin lama waktu pengendapan maka akan semakin banyak jumlah endapan yang diperoleh karena ikatan-ikatan logam dengan presipitan akan semakin banyak terbentuk. Hal tersebut juga didukung dengan pelaksanaan pra laboratorium, di mana waktu pengendapan 120 menit memperoleh hasil endapan yang konstan. Hal tersebut menjadi indikasi bahwa waktu pengendapan yang relatif optimal terjadi pada waktu 120 menit.

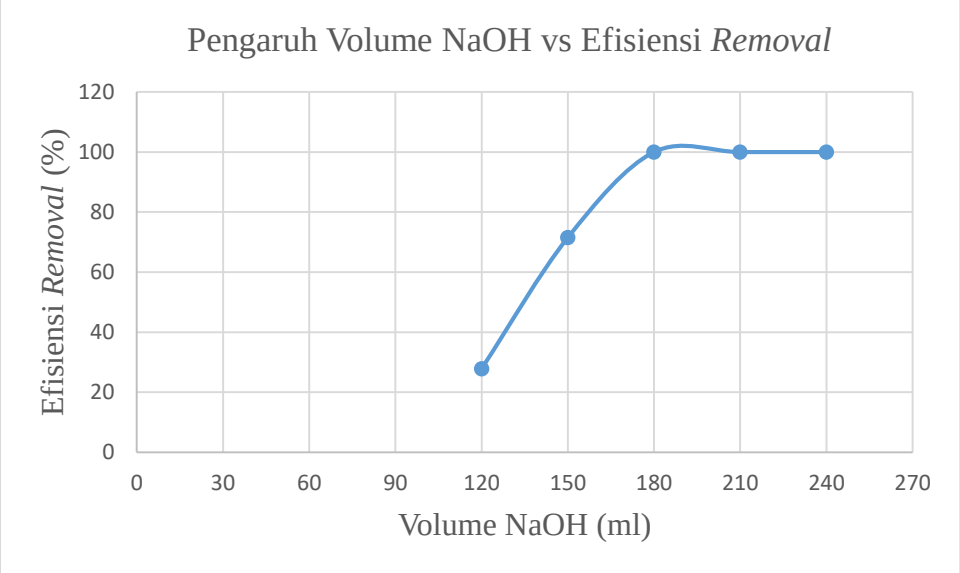
Terdapat fenomena yang terjadi pada proses pengendapan yang berpengaruh terhadap berat total endapan yang dihasilkan. Seperti pada volume NaOH 120 ml, di mana berat total endapan pada waktu pengendapan 120 menit diperoleh hasil yang lebih rendah dibandingkan pada waktu pengendapan 40 menit. Hal tersebut dapat terjadi ketika endapan $Cu(OH)_2$ terbentuk, senyawa ini tidak sepenuhnya stabil. Endapan terus menerus berada dalam kesetimbangan dinamis dengan ion-ionnya. Ion-ion Cu^{2+} dan OH^- di permukaan endapan dapat berdifusi ke larutan jika konsentrasinya di larutan lebih rendah dibandingkan di permukaan endapan. Proses ini berlangsung perlahan seiring waktu, karena senyawa $Cu(OH)_2$ yang terbentuk sudah melewati batas kelarutan sehingga dengan penambahan waktu pengendapan yang semula terbentuk bisa kembali larut. Faktor lain yang dapat terjadi adalah proses penyaringan yang kurang efektif dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan, sehingga proses penyaringan membutuhkan waktu yang lama yang menyebabkan penambahan waktu pengendapan sehingga endapan $Cu(OH)_2$ kembali larut.

3.3 Hasil Analisis Filtrat

Berdasarkan hasil pengamatan waktu pengendapan terhadap berat total endapan pada masing-masing volume NaOH diketahui berat total endapan dengan nilai relatif tertinggi adalah dengan waktu pengendapan 120 menit. Maka dari itu, untuk analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dilakukan terhadap filtrat pada waktu pengendapan 120 menit dengan penambahan volume NaOH sebesar 120, 150, 180, 210, dan 240 ml. Efisiensi *removal* dihitung untuk mengetahui berapa persen Cu yang terendapkan dengan cara kadar awal dikurangi kadar akhir dibagi dengan kadar awal dan dikali seratus persen [4] sehingga akan diketahui efisiensi dan efektifitas dari agen presipitasi yang digunakan yaitu NaOH.

Tabel 3 Hasil Analisis Filtrat dalam Variabel Volume NaOH dengan AAS pada Waktu Pengendapan 120 Menit

Volume NaOH (ml)	pH	Kadar Cu (mg/L)	Efisiensi *Removal* (%)
0	4	22.637	0
120	5	16.341	27,813
150	7	6.458	71,471
180	9	4,03	99,982
210	13	3,66	99,984
240	14	0,23	99,999



Gambar 4 Pengaruh Volume NaOH Terhadap Efisiensi *Removal* Cu Pada Waktu Pengendapan 120 Menit

Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui pengaruh volume NaOH terhadap efisiensi *removal* Cu yaitu berbanding lurus. Semakin banyak volume NaOH yang ditambahkan, maka semakin besar efisiensi *removal* yang diperoleh. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi *removal* tertinggi diperoleh pada volume NaOH 240 ml yaitu sebesar 99,999% dengan kadar 0,23 mg/L. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, standar baku mutu Cu pada air limbah *electroplating* yaitu sebesar 0,6 mg/L [11].

Terdapat fenomena yang terjadi antara berat total endapan dan kadar Cu yang diperoleh. Berdasarkan pembahasan pada Gambar 2, telah dijelaskan bahwa berat total endapan tertinggi diperoleh pada volume NaOH 180 ml. Namun, kadar Cu terendah yang diperoleh justru pada volume NaOH 240 ml. Menurut [13] bahwa semakin tinggi pH, maka efisiensi *removal* logam akan semakin tinggi juga. Namun, untuk mendapatkan pH yang tinggi diperlukan volume NaOH yang lebih banyak juga dan seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa penambahan ion OH^- yang berlebihan dapat membentuk senyawa kompleks hidroksida logam, dalam hal ini $[Cu(OH)_4]^{2-}$ yang larut dalam air [14]. Hal tersebut menyebabkan berat total endapan yang diperoleh pada volume NaOH 240 ml lebih rendah dibandingkan dengan volume NaOH 180 ml. Ketika dilakukan analisis AAS, kadar Cu pada volume NaOH 240 ml memperoleh hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan volume NaOH 180 ml dikarenakan kemampuan deteksi pada alat AAS hanya terbatas pada ion Cu bebas [15], sehingga kadar Cu yang terdeteksi lebih rendah dari sebenarnya.

Endapan yang dihasilkan pada proses presipitasi ini dapat dimanfaatkan kembali agar tidak menimbulkan masalah baru, di antaranya yaitu sebagai campuran beton dengan perbandingan tertentu [7], pelapisan benda kerja dari besi [16], *antifouling* dalam industri cat,

industri insektisida dan fungisida, baterai, elektroda, penarik sulfur, dan sebagai pigmen serta pencegah pertumbuhan lumut [17].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil menurunkan kadar Cu dalam limbah cair *electroplating* dari kadar awal 22.637 mg/L hingga mencapai 0,23 mg/L.
2. Volume NaOH yang ditambahkan dan waktu pengendapan sangat memengaruhi penurunan kadar Cu. Pada volume NaOH 180 ml, diperoleh kadar Cu sebesar 4,03 mg/L dan berat endapan tertinggi. Namun, pada volume 240 ml, diperoleh kadar Cu sebesar 0,23 mg/L, tetapi berat endapan menurun karena pembentukan senyawa kompleks hidroksida logam yang larut dalam air. Serta waktu yang relatif optimal terjadi pada waktu pengendapan 120 menit.
3. Efisiensi NaOH terhadap penurunan kadar Cu terbukti sangat tinggi, terutama pada volume NaOH 240 ml, di mana efisiensi mencapai 99,999%, tetapi dengan konsekuensi pembentukan senyawa kompleks hidroksida yang mengurangi berat endapan.

5. SARAN

Perlu menggunakan agen presipitasi lain agar bisa membandingkan agen presipitasi mana yang lebih baik, perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut mengenai filtrat yang dihasilkan seperti adsorpsi dan lain sebagainya agar benar-benar aman ketika dibuang, perlu dilakukan pengujian kandungan terhadap endapan yang dihasilkan dengan XRD atau XRF agar diketahui secara detail kandungan yang mengendap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal Teknika Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberi memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Purwaningsih, I. M. Artika, T. Panji, dan Suharyanto, “Biosorption Copper (Cu) and Mercury (Hg) by Omphalina Sp. Using Batch, Rotary, Biotray, and Pack Bed Flow Methods,” *Curr. Biochem.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2016.

[2] K. R. Dhanti, F. Hibatulloh, A. Mulyanto, dan R. Sulistiyowati, “Analisis Timbal (Pb) Dalam Air Sumur dan Urine di Sekitar Tempat Pengolahan Limbah Bahan Bercaun Berbahaya Desa Karangdawa,” *BIOMA*, vol. 7, no. 2, pp. 1–7, 2022.

[3] I. Nurhayati, S. Vigiani, dan D. Majid, “Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium Dengan Pengenceran, Koagulasi dan Adsobsi,” *ECOTROPHIC*, vol. 14, no. 1, pp. 74–87, 2020.

[4] W. R. Anami, M. Maslahat, dan D. Arrisujaya, “Presipitasi Logam Berat Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Natrium Sulfida Dari Belerang Alam,” *J. Sains Nat. Univ. Nusa Bangsa*, vol. 10, no. 2, pp. 61–70, 2020.

[5] A. Pohl, “Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents,” *Water Air Soil Pollut*, vol. 231, no. 503, pp. 1–17, 2020.

[6] Wilyanda, Yelmida, dan Chairul, “Pengolahan Limbah Cair Logam Berat (Limbah B3) Secara Presipitasi dan Koagulasi di UPT Pengujian Dinas Pekerjaan Umum,” *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, pp. 1–23, 2015.

[7] C. T. Handoko, T. B. Yanti, H. Syadiyah, dan S. Marwati, “Penggunaan Metode Presipitasi Untuk Menurunkan Kadar Cu Dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotagede,” *J. Penelit. Saintek*, vol. 18, no. 2, pp. 51–58, 2013.

[8] H. S. R. Kristyaka, “Optimasi Kondisi Proses Pengendapan Hidroksida Logam-Logam

Berat Kromium dan Nikel Secara Bertingkat Dalam Limbah Cair Elektroplating," *J. Ilm. Kanderang Tingang*, vol. 9, no. 2, pp. 150–165, 2018.
[9] N. P. Asri, R. Abadi, A. Hasmawati, dan S. A. Mubarok, "Penurunan Kadar Logam Berat Limbah Cair Industri Emas (PT. X) di Surabaya," *J. Tek. Kim. Indones.*, vol. 9, no. 2, pp. 55–61, 2018.
[10] BSPJI, "Laporan Hasil Uji," Surabaya, 2024.
[11] Pergub Jatim, "Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya," 2013
[12] K. C. Wanta *et al.*, "Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak Spent Catalyst," *J. Rekayasa Proses*, vol. 13, no. 2, pp. 94–105, 2019.
[13] A. Rasmito dan Suhadi, "Penurunan Kadar Logam Berat Limbah Cair Industri Emas Dengan Kaustik Soda," *J. Tek. Ind. dan Kim.*, vol. 1, no. 2, pp. 16–29, 2018.
[14] I. Fadlilah, A. Prasetya, dan P. Mulyono, "Recovery Ion Hg^{2+} dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida," *J. Rekayasa Proses*, vol. 12, no. 1, pp. 23–31, 2018.
[15] A. Lolo, C. F. Patandean, dan E. Ruslan, "Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan," *J. Geocelebes*, vol. 4, no. 2, pp. 102–110, 2020.
[16] H. B. Cahyono dan R. Yuliastuti, "Pemanfaatan Limbah Cair Industri PCB Sebagai Larutan Elektrolit Copper Plating," *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 14, no. 1, pp. 27–35, 2020.
[17] D. R. Indah, "Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Pada Karbon Baggase Teraktivasi Natrium Hidroksida (NaOH)," *J. Ilm. IKIP Mataram*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2020.