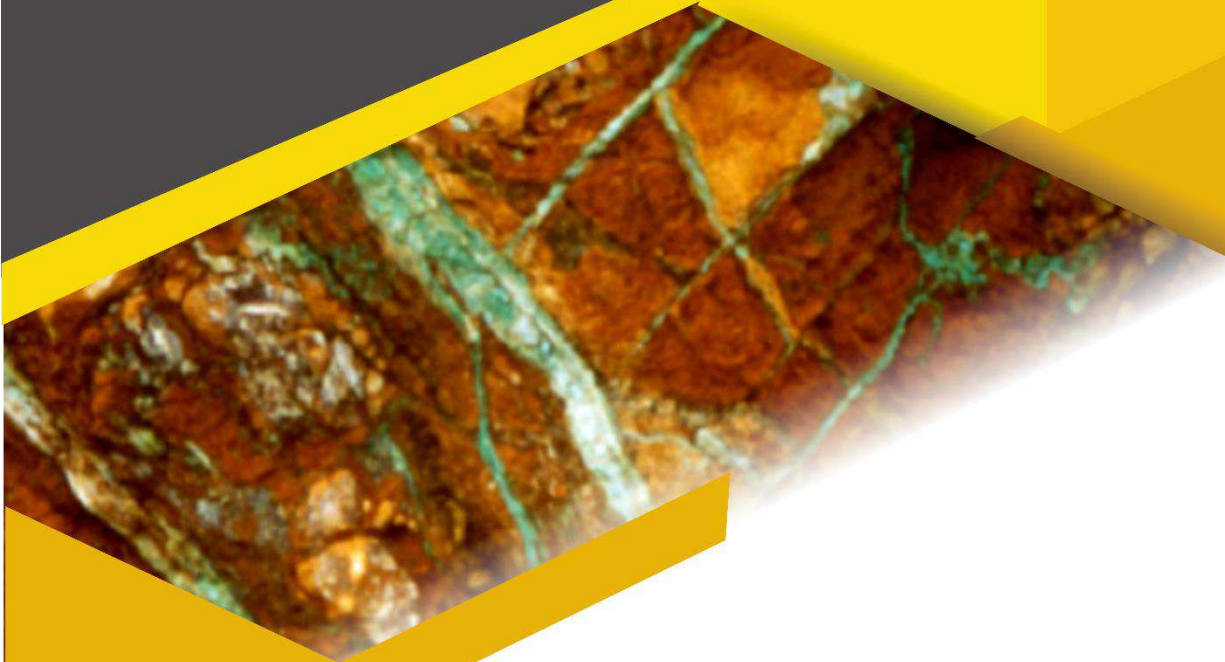


ISBN 978-623-389-202-5



Prosiding Seminar Nasional "40 Tahun Pandu Berbakti"



**TEKNIK PERTAMBANGAN, FTM-LPPM
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

2022

Prosiding Seminar Nasional “40 Tahun Pandu Berbakti”

Steering Committee

Ir. Priyadi (Komting 82, Dirut PT. Adaro, Tbk.)

Ir. Putra Slamet Abadi

Ir. Yosep Yudianto

Organizing Committee

Ketua Pelaksana : Ir. Bambang Purwono

Wakil Ketua I : Dr. Ir. Waterman Sulistyana Bargawa, MT., IPM.

Sekretaris : Ir. Amiseno, Ir. Heru Siswandono, Ir. Heru Siswandono,
Ir. Purwoko Yulianto

Bendahara : Ir. Iryono Adi, Ir. Oki Widiyanto

Humas & Publikasi : Ir. Basuki Trubus Wicaksono

Acara : Ir. Agus Panca Suchafo, MT., Ir. M. Mochtar Chodlari, MBA

Kesekretariatan : Agus Sugiharto, MT

Distribusi : Ir. Bagus Wiyono, MT

Reviewer

Dr. Arifudin Idus UGM

Dr. Nur Heriawan ITB

Dr. Syafrizal ITB

Dr. Supandi ITNY

Dr. Waterman Sulistyana Bargawa UPNVY

Dr. Shofa Rijalul Haq UPNVY

Dr. Aldin Ardian UPNVY

Dr. Nur Ali Amri UPNVY

Editor

Ir. Saiful Kirom

Ir. Trisno Yuwono

Ir. Florentinus Agung Widodo

Ir. Heru Siswandono

Managing Editor

Ir. Eka Budhi Mahatma

Ir. Arif Budi Prasetyanto

Ir. Dadik Kiswanto

Ir. Henrico Syambastian

Risal Gunawan, ST.

Arhya Pramesti Putri Arindry, ST.

Anisyah Alqurani, ST.

Sofiannur, ST.

Cetakan Tahun 2022

Katalog Dalam Terbitan (KDT):

Prosiding Seminar Nasional “40 Tahun Pandu Berbakti”

Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta vi + 140 hlm; (21 × 29.7) cm².

ISBN: 978-623-389-202-5

Redaksi

Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Sekretariat: Gd. Ari F. Lasut ALC I UPN “Veteran” Yogyakarta

Jl. Padjadjaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283

Telepon (0274) 486733, ext 154, Fax. (0274) 486400

E-mail: lppm@upnyk.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apa pun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit.

**PRAKATA KETUA PANDU TEKNIK PERTAMBANGAN FTM
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2022**

Puji syukur tim editor panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Seminar Nasional 40 Tahun Pandu Berbakti dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Seminar ini bertema “*Fleksibilitas Alumni Tambang dalam Berkarya dengan Semangat Bela Negara*” yang diselenggarakan dalam rangka reuni Alumni Tambang “82” Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta Tahun 2022.

Pada seminar dipresentasikan hasil penelitian, review, dan hasil pengabdian yang dilakukan oleh peneliti yang berasal baik dari perguruan tinggi maupun praktisi perusahaan pertambangan. Hasil seminar tersebut kemudian didokumentasikan dalam prosiding ini.

Seminar ini dapat terlaksana dengan sukses atas bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu kami ucapkan terima kasih pihak-pihak yang telah membantu terselenggaranya acara ini.

Semoga prosiding ini bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Yogyakarta, 09 Desember 2022

Ketua Pandu 82
Ir. Putra Slamet Abadi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN IDENTITAS PROSIDING	ii
PRAKARTA KETUA ALUMNI TAMBANG ANGKATAN "82"	iv
DAFTAR ISI	v
Analisis Kelas Massa Batuan dengan Metode Q-System Terowongan Tambang Bawah Tanah Ardy Pramesti Putri Arindry, Singgih Saptono dan Barlian Dwinagara	1
Analisis Jarak Lubang Bor untuk Klasifikasi Sumberdaya Batubara Studi Kasus Cekungan Tarakan Kalimantan Utara Septi Wulandari, Eddy Winarno, dan Nur Ali Amri	8
Pentingnya Perencanaan Lahan Pascatambang Literatur Review Risal Gunawan, Rika Ernawati dan Rahmat Fauzan Izza	16
Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Nikel pada Pengolahan Biji Nikel Laterit (Studi kasus Pengolahan Biji Nikel Laterit Halmahera Selatan), Sahrul Huda, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	25
Pengelolaan Lahan Pascatambang Berbasis Berkelanjutan Literatur Review Risal Gunawan, Waterman Sulistyana Bargawa, dan Nur Ali Amri	32
Comparison of VES and IPI2WIN Result with Drilling Groundwater at Wonogiri Garmen Factory Project Site Winda	41
Studi Karakteristik Geologi Dalam Penentuan Lokasi As Calon Bendungan Di Sungai Nungga Kota Bima Husni Randa, Barlian Dwinagara, Muhammad Fathin Firaz dan Arif Wijaya	50
Analisis Penurunan Muka Tanah Akibat Beban Fondasi Dangkal Pada Calon Bendungan Dodu Rasanae Timur Kota Bima Nusa Tenggara Barat Husni Randa, Barlian Dwinagara, Muhammad Fathin Firaz, Diah Rahmawati dan, Alpiana	60
Literatur Review Pemanfaatan Limbah Slag Nikel pada Kegiatan Pengolahan Bijih Nikel Sahrul Huda Ode Sam, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	70

Study of the Mineralogical Characteristics of Laterite Nickel Deposit Wailukum Block PT. Aneka Tambang Tbk. Geomin Units East Halmahera District North Maluku Province Fahrudin Sahid dan Jeha Kunramadi	79
Overview Metode Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Bakteri Pereduksi Sulfat Anisyah Alquran Ni, Rika Ernawati, Tedy Agung Cahyadi, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	89
Estimasi Sumberdaya Batubara berdasarkan Uji Prospek Beralasan Kode KCM I 2017 Eko Wicaksono	96
Tinjauan Literatur Identifikasi dan Potensi Rare Earth Element Epafras Meihaga dan Waterman Sulistyana Bargawa	104
Overview Metode Pengelolaan Limbah Tailing Akibat Kegiatan Pertambangan Emas Fitra Kurniawan, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Waterman Sulistyana Bargawa, dan Nur Ali Amri	111
Perbandingan Hasil Estimasi Kadar Bijih Nikel Laterit dengan Metode Inverse Distance Weighting dan Ordinary Kriging Berdasarkan Literatur Review Muh Ardian Syaputra, Aviv Alansyah dan Muh Nuzul Haq	116
Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode metode inverse distance weighted Gede Yangda Sugianto, Waterman Sulistyana Bargawa, Dahono Haryanto	122
Estimasi cadangan memakai pendekatan lerch Grossman Studi Kasus Bijih Nikel Laterit di Bahodopi Sulawesi Tengah Muh. Ardian Syaputra, Risal Gunawan, Waterman Sulistyana Bargawa	128
Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode Ordinary Kriging Gede Yangda Sugianto, Waterman Sulistyana Bargawa, Dahono Haryanto	135

Overview Metode Pengelolaan Limbah Tailing Akibat Kegiatan Pertambangan Emas

Fitra Kurniawan^{1, a)}, Tedy Agung Cahyadi^{2, b)}, Rika Ernawati^{3, c)}, Waterman Sulistyana Bargawa^{4, d)} Nur Ali Amri^{5, e)}

¹Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Korespondensi : fitrakrn17@gmail.com : tedyagungc@upnyk.ac.id : rika.ernawati@upnyk.ac.id : waterman.sb@upnyk.ac.id : nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Pengelolaan limbah *tailing* adalah masalah lingkungan utama dalam industri pertambangan khususnya tambang emas. Limbah *tailing* tambang emas dapat mencemari tanah, udara dan air yang pada akhirnya mengancam ekosistem alam. Dampak limbah *tailing* penambangan emas terhadap lingkungan telah menciptakan tekanan sosial karena limbah mempengaruhi kesehatan dan keselamatan manusia. Oleh karena itu diperlukan metode yang efektif dan efisien dalam pengelolaan limbah *tailing* tambang emas. Metode yang mudah dalam aplikasinya, berbiaya rendah, dan ramah lingkungan sangat diharapkan untuk pengelolaan limbah *tailing* tambang emas sehingga konsep *good mining practice* dapat diterapkan *sustainable development*. Jurnal ini mengulas tentang metode pengelolaan limbah *tailing* tambang emas yang telah diterapkan diberbagai negara. Metode yang paling efisien dan efektif diterapkan untuk pengelolaan limbah tambang adalah metode pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan zeolite kombinasi pasir silika. Hasil penelitian menyatakan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH meningkat dari 2,96 menjadi 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda dan menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya.

Kata kunci: Air limbah, penambangan emas, pH.

Abstract. *Tailings waste management is a major environmental issue in the mining industry, particularly gold mining. Gold mine tailings waste can pollute soil, air and water which ultimately threatens natural ecosystems. The impact of gold mining tailings waste on the environment has created social pressure as the waste affects human health and safety. Therefore, an effective and efficient method is needed in the management of gold mine tailings waste. Methods that are easy to apply, low cost, and environmentally friendly are highly expected for gold mine tailings waste management so that the concept of good mining practice can be applied sustainable development. This journal reviews the methods of gold mine tailings waste management that have been applied in various countries. The most efficient and effective method applied for mine waste management is the tailings waste management method using silica sand combination zeolite. The results stated that the best association for the remediation of this contaminated water was the relationship with the highest zeolite content, obtaining an increased pH value from 2.96 to 7 and an average iron value of < 0.07 mg/L for different trial days and demonstrating the efficiency of low-cost natural zeolite-rich tuff for cost-effective mine drainage treatment.*

Keywords: Waste water, gold mining, pH.

14.1 PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah *tailing* adalah masalah lingkungan utama dalam industri pertambangan khususnya tambang emas. Limbah *tailing* tambang emas dapat mencemari tanah, udara dan air yang pada akhirnya mengancam ekosistem alam. Dampak limbah *tailing* penambangan emas terhadap lingkungan telah menciptakan tekanan sosial karena limbah mempengaruhi kesehatan dan keselamatan manusia. Penambangan emas dianggap berbahaya karena penggunaan merkuri dan sianida selama pemrosesan bijih, yang beracun bagi manusia dan bentuk kehidupan lainnya [1]. Untuk mencegah ataupun memulihkan lingkungan yang tercemar limbah *tailing* tambang emas diperlukan metode-metode yang ramah lingkungan dan *low-cost* sehingga dampak negatif yang ditimbulkan akibat kegiatan penambangan dapat

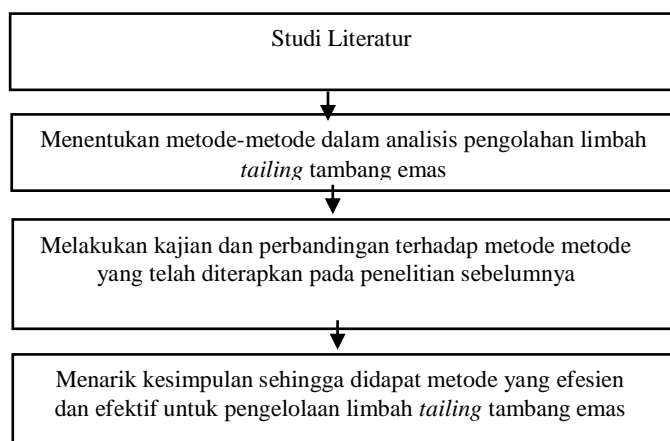
diminimalisir. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui metode pengelolaan air limbah tailing yang efektif, ramah lingkungan, dan biaya rendah.

14.2 KAJIAN PUSTAKA

Tailing tambang emas dihasilkan sebagai limbah selama penambangan tradisional dan kegiatan metalurgi [2]. Ukuran tailing tambang dan komposisinya tergantung pada mineralogi bijih, dan metode fisik dan kimia yang digunakan untuk mengekstraksi mineral. *Tailing* dalam jumlah besar dihasilkan sebagai hasil dari aktivitas mineral, namun demikian tailing tambang yang dihasilkan dari pengolahan bijih sebelumnya ini masih mengandung sejumlah besar Sr dan elemen tanah jarang (REEs) [3]. Namun, pemrosesan *tailing ini* hanya dapat bermanfaat jika manfaat lingkungan diberlakukan, karena pembuangan *tailing* tambang dapat mengakibatkan degradasi lingkungan dan efek kesehatan jangka panjang, seperti yang ditunjukkan selama beberapa dekade terakhir [4].

14.3 METODE DAN MATERIAL

Penelitian dilakukan berdasarkan *historical research* yang dirangkum dari beberapa karya ilmiah. Penelitian ini dilakukan bertujuan sebagai acuan dalam menentukan metode yang sesuai untuk kajian pengolahan limbah *tailing* tambang emas. Tahapan dalam penelitian yang dilakukan penulis dijabarkan dalam bentuk diagram alir yang terlihat pada Gambar 1. Tahapan Penelitian.



GAMBAR 1. Tahapan Penelitian

14.4 HASIL DAN ANALISIS

Metode yang di aplikasikan dalam analisis pengelolaan limbah *tailing* tambang emas dijabarkan pada beberapa sub bab dibawah ini.

1. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Zeolit Kombinasi Pasir Silika

Pada Pengolahan limbah tailing tambang emas menggunakan zeolit kombinasi pasir silika. Sampel-sampel ini dikarakterisasi sebelum dan sesudah perawatan dengan tuff kaya zeolit alami dan pasir silika dengan rasio berat yang berbeda dan hari durasi percobaan. Awalnya, analisis kimia dalam air menunjukkan pH asam 2,96, konsentrasi sulfida yang tinggi (162 mg S⁻²/L) dan Fe (10,41 mg Fe/L), diklasifikasikan sebagai air asam tinggi dan logam tinggi. Percobaan kolom mengungkapkan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH netral mendekati 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya [5].

2. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Membran Inklusi Polimer

Pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan metode berbasis membran kontinu dalam pembersihan lengkap tiosianat dalam konsentrasi ion setinggi 1000 mg L⁻¹ dari larutan berairnya telah dikembangkan. Penelitian ini menggunakan lembaran datar membran inklusi polimer (MIP) komposisi 70 wt% PVC, 20 wt% Aliquat 336 dan 10 wt% 1-tetradecanol yang memisahkan arus berlawanan dari larutan umpan tiosianat dan 1 M NaNO₃ menerima solusi. Sistem berbasis MIP telah dioperasikan secara terus menerus selama 45 hari dengan pemisahan 99% efisien. Volume larutan penerima telah dikurangi secara drastis dengan mensirkulkannya kembali dan terus menerus menghilangkan tiosianat dengan mengendapkannya dengan Cu(I) yang dihasilkan secara in-situ. Metode pembersihan tiosianat berbasis MIP yang baru dikembangkan ramah lingkungan dalam hal penggunaan reagen dan murah sehubungan dengan peralatan dan biaya operasional [6].

3. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan *Hyperspectral Imaging System* (HIS)

Penelitian ini menggunakan *hyperspectral imaging system* (HIS) untuk mengukur konsentrasi kromium (Cr) dalam sampel tanah yang diperoleh dari *tailing* tambang emas mengingat persaingan spektral antara elemen logam berat. Analisis kimia, mineralogi, dan spektroskopi di lingkungan laboratorium mengungkapkan bahwa perilaku geokimia kompetitif elemen logam berat dimanifestasikan sebagai kompetisi spektral antara elemen logam berat dalam *tailing*. Unsur-unsur logam berat dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan perilaku geokimianya: kromium-nikel (Cr-Ni) dan seng-arsenik-kadmium-timbal (Zn-As-Cd-Pb). Model prediksi konsentrasi Cr pada sampel *tailing* menggunakan *short wave infrared* (SWIR) HIS dikembangkan dari analisis data sampel. Model pencitraan konsentrasi Cr signifikan secara statistik dengan $R^2 = 0,7$ dan NRMSE = 11% hingga 12%. Penggunaan HIS di masa depan untuk akuisisi data besar-besaran konsentrasi logam berat di lingkungan alami dimungkinkan dengan analisis spektroskopi percontohan yang disajikan dalam penelitian ini. [7]

4. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan *Filter Press Backwash–Chemical Precipitation–Gaseous Membrane Absorption*

Berdasarkan proses *filter press backwash–chemical precipitation–gaseous membrane absorption*, perlakuan *tailing* sianida yang tidak berbahaya dilakukan dengan menggunakan *tailing* sianida dari perusahaan peleburan emas. Efek dari waktu pengeringan udara, parameter air *backwash*, pH awal pengasaman, dosis NaHS, laju aliran air yang mengandung sianida, dan tahap membran gas pada proses diselidiki. Komposisi kimia, difraksi sinar-X, dan analisis spektroskopi fotoelektron sinar-X dari produk tembaga dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan tembaga adalah 54,56%, dan komposisi kimianya terutama CuSCN, CuS, Cu₂S, dan CaSO₄. Siklus percobaan dilakukan dalam kondisi optimal, hasil penelitian menunjukkan bahwa proses tersebut dapat membuat *tailing* sianida yang diolah memenuhi persyaratan spesifikasi teknis untuk pengendalian pencemaran residu pencucian sianida dalam standar industri emas (TSPC) untuk disimpan di kolam *tailing* dan memiliki stabilitas tertentu. Tingkat pemulihan rata-rata tembaga dan total sianida dalam air elusi masing-masing adalah 97,8% dan 99,89%, dan tingkat penghapusan rata-rata tiosianat adalah 94,09% [8].

5. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Bakteri *Acidophilic*

Dalam penelitian ini, ekstraksi Ce dan Sr dari GMT menggunakan strain *acidophilic* sulfur oxidizers yang disesuaikan untuk mengembangkan *bioleaching* satu langkah dilakukan untuk pertama kalinya. Penentuan kondisi optimal dengan metodologi permukaan respons (RSM), untuk memaksimalkan pemulihan Ce dan Sr, dilakukan dengan menggunakan faktor-faktor yang berpengaruh dari konsentrasi sulfur awal, pH dan kepadatan *pulp*. Temuan signifikan: Nilai optimal pH, kepadatan *pulp* dan konsentrasi sulfur awal masing-masing adalah 1, 8, 2% (w v⁻¹) dan 0, 55% (w v⁻¹). Produksi sulfat tertinggi diperoleh dalam konsentrasi sulfur awal 0, 5% (w v⁻¹). Selain itu, di antara berbagai model kinetik penghambatan, model kinetik penghambatan tesserier adalah yang paling cocok berdasarkan data eksperimen. Dalam penelitian ini menyatakan bahwa studi kinetik dari proses tersebut menunjukkan bahwa pemulihan yang tinggi sebesar 75,8% dari Ce dan 86,4% dari Sr dicapai dari GMT dalam kondisi optimal, di mana reaksi kimia terungkap sebagai langkah pengendalian laju. *Bioleaching* GMT oleh A. Thiooxidans adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengurangi bahaya lingkungan dari limbah ini.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa GMT dapat menjadi sumber pasokan Ce dan Sr. [9] Adapun kelebihan dan kekurangan metode dapat dilihat pada tabel 1. Dibawah ini:

TABEL 1. Kelebihan dan Kekurangan Metode Pengelolaan *Tailing* Tambang Emas

Referensi	Metode	Kelebihan	Kekurangan
[5]	Zeolit Kombinasi Pasir Silika	Perawatan drainase tambang hemat biaya.	Waktu retensi yang cukup lama
[6]	Membran Inklusi Polimer	Teosianat berbasis MIP ramah terhadap lingkungan.	Memerlukan waktu yang cukup lama
[7]	<i>Hyperspectral Imaging System</i> (HIS)	Memiliki tingkat penghapusan rata-rata tiosianat sebesar 94,09%	Biaya pengelolaan yang cukup mahal
[8]	<i>Filter Press Backwash</i> <i>Chemical Precipitation</i> <i>Gaseous Membrane</i> <i>Absorption</i>	Memiliki stabilitas dan tingkat pemulihan yang tinggi	Tidak menunjukkan kapasitas adsorpsi yang signifikan dan memerlukan waktu yang lama
[9]	Bakteri Acidophilic	Memiliki tingkat pemulihan yang tinggi sebesar 75,8%	Memerlukan <i>effort</i> yang besar dalam pengelolaan

14.5 KESIMPULAN

Berdasarkan kajian dari beberapa studi literatur yang berkaitan dengan pengelolaan limbah *tailing* tambang emas dapat ditarik kesimpulan bahwa metode yang paling efisien dan efektif diterapkan untuk pengelolaan limbah tambang adalah metode pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan zeolite kombinasi pasir silika. Hasil penelitian menyatakan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH meningkat dari 2,96 menjadi 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda dan menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya.

14.6 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya kepada Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Varela, R. M. Balanay, and A. Halog. 2020 “The framework of waste management in gold mining towards building sustainable communities in Caraga Region, Philippines,” *Int. J. Conserv. Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 829– 838.
- [2] P. H. M. Kinnunen and A. H. Kaksonen. 2019. “Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization,” *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 153–160, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.171.
- [3] N. Araya, Y. Ramirez, A. Kraslawski, and L. A. Cisternas. 2021. “Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis,” *J. Environ. Manage.*, vol. 284, p. 112060, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112060.

- [4] A. E. Cenicerós-Gómez, K. Y. Macías-Macías, J. E. de la Cruz-Moreno, M. E. Gutiérrez-Ruiz, and L. G. Martínez-Jardines. 2018. “Characterization of mining tailings in México for the possible recovery of strategic elements,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 88, pp. 72–79, 2018, doi: 10.1016/j.jsames.2018.08.013.
- [5] V. Rey, C. A. Ríos, L. Y. Vargas, and T. M. Valente. 2020. “Use of natural zeolite-rich tuff and siliceous sand for mine water treatment from abandoned gold mine tailings,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 220, no. September 2020, p. 106660, 2021, doi: 10.1016/j.gexplo.2020.106660.
- [6] Y. Cho, R. W. Cattrall, and S. D. Kolev. 2018 “A novel polymer inclusion membrane based method for continuous clean-up of thiocyanate from gold mine tailings water,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 341, pp. 297–303, 2018, doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.07.069.
- [7] Y. Jeong, J. Yu, L. Wang, and K. J. Lee. 2021 “Bulk scanning method of a heavy metal concentration in tailings of a gold mine using SWIR hyperspectral imaging system,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 102, p. 102382, 2021, doi: 10.1016/j.jag.2021.102382.
- [8] N. Sinulingga, K. Nurtjahja, and A. Karim. 2015 “Fitoremediasi Logam Merku (Hg) pada Media Air oleh Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk),” *J. Biol. Lingkungan, Ind. dan Kesehat.*, vol. 2, no. 1, pp. 75–81.
- [9] S. M. Hosseini, F. Vakilchah, M. Baniyadi, S. M. Mousavi, A. Khodadadi Darban, and S. Farnaud., 2022 “Green recovery of cerium and strontium from gold mine tailings using an adapted acidophilic bacterium in one-step bioleaching approach,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 138, no. May, p. 104482, 2022, doi: 10.1016/j.jtice.2022.104482.