

Analisis Tingkat Pencemaran Logam Berat pada Air Limbah Pengolahan Mangan (Mn) *(Analysis of Heavy Metal Contamination Levels in Manganese (MN) Processing Wastewater)*

Matilda Metboki¹ dan Chindy M. S. Funay²

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana¹

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Alberth Foenay²

matilda.metboki@staf.undana.ac.id

Abstrak

Aktivitas pertambangan merupakan salah satu sumber pencemaran penghasil logam berat jika tidak dikelola dengan baik. Logam berat dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, namun jika dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tingkat pencemaran logam berat pada kolam pengendapan limbah hasil pencucian bijih mangan. Metode yang digunakan yaitu penilaian kualitas air dengan CF (*contamination factor*) dan penilaian kualitas air terkait pencemaran logam berat indeks pencemaran logam (*metal pollution index*, MPI). Kemudian diseuaikan dengan baku mutu air limbah berdasarkan PP No 82 Tahun 2001. Hasil analisis diperoleh bahwa air limbah hasil pencucian bijih mangan pada kolam pengendapan mengandung logam berat Fe, Mn, Cu, Pb dan Zn yang masih melebihi baku mutu dan memiliki indeks pencemaran logam dari tingkatan tinggi sampai dengan sangat tinggi.

Kata Kunci: air limbah, CF, kolam pengendapan, logam berat, MPI

Abstract

Mining activities are a source of pollution that produces heavy metals if not managed properly. Heavy metals in certain amounts are needed by every living organism, but excessive amounts can cause toxic effects. This research aims to analyze the level of heavy metal pollution in waste settling ponds resulting from washing manganese ore. The methods used are water quality assessment using CF (contamination factor) and water quality assessment related to heavy metal pollution, metal pollution index (MPI). Then it was adjusted to the waste water quality standards based on PP No. 82 of 2001. The results of the analysis showed that the waste water resulting from washing manganese ore in settling ponds contained heavy metals Fe, Mn, Cu, Pb and Zn which still exceeded the quality standards and had a metal pollution index of high level to very high level.

Keywords: Waste Water, Contamination Factor, Settling Ponds, Heavy Metals, Metal Pollution Index

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 serta mempunyai nomor atom 22 hingga 92 dan terletak pada periode II sampai VII dalam sistem periodik unsur. Logam berat adalah senyawa kimia yang mempunyai potensi untuk menimbulkan masalah pencemaran lingkungan (Dahuri, 1996). Logam berat esensial dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, seperti seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan mangan (Mn), namun jika dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Palar, 2008). Pencemaran yang disebabkan oleh logam dapat mengubah struktur komunitas perairan, jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetic dan resistensi (Racmansyah dkk, 1998). Keberadaan logam berat pada perairan dapat berasal dari dua sumber yaitu alam dan dari aktivitas manusia.

Salah satu aktivitas manusia yang dapat menghasilkan logam berat yaitu aktivitas penambangan. Tujuan utama dari kegiatan penambangan adalah pengambilan endapan dari batuan induknya. Pada aktivitas penambangan mangan, salah satu metode pengolahannya yaitu dengan cara mereduksi ukuran dan membersihkan permukaan mangan dari pengotornya. Dalam tahap pembersihan permukaan mangan dari pengotornya ini dilakukan proses pencucian yang menghasilkan limbah tailing berupa air dan akan ditampung pada kolam pengendapan sebelum dilepaskan ke lingkungan sekitar ataupun digunakan kembali. Disamping tempat pengendapan, kolam pengendapan juga dapat berfungsi sebagai tempat pengontrol kualitas air dari air yang akan dialirkan keluar kolam pengendapan, baik itu kandungan materialnya, tingkat keasaman ataupun kandungan material lain yang dapat membahayakan lingkungan (Metboki, 2018).

Limbah *tailing* berupa air dari hasil pencucian bijih mangan mengandung logam berat yang belum memenuhi standar baku mutu sehingga jika dilepaskan ke lingkungan sekitar ataupun untuk digunakan kembali akan berdampak negatif terhadap populasi tanah, air, tanaman, hewan dan manusia disekitarnya. Oleh sebab itu limbah hasil pencucian mangan perlu dilakukan penanganan khusus terlebih dahulu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air limbah dengan metode faktor kontaminasi (*contamination factor*, CF) dan indeks pencemaran logam (*metal pollution index*, MPI) pada kolam pengendapan.

METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada beberapa titik kolam pengendapan yaitu pada zona inlet (In), kolam pengendapan pertama (KI), kolam pengendapan kedua (KII), kolam pengendapan ketiga (KIII) dan zona outlet (Ot). Penentuan titik sampling dipilih secara acak atau sengaja (*purposive sampling*). Teknik *purposive sampling* yaitu Teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu (Sugiyono, 2008). Jumlah sampel pada masing-masing titik adalah 3 sampel, kemudian dilakukan analisis kandungan logam berat dengan metode AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*). Logam berat yang dianalisis yaitu Mn, Fe, Pb, Cu dan Zn.

Metode Analisis Data

Pendekatan untuk penentuan kualitas air adalah indeks kualitas air. Indeks kualitas air merupakan mekanisme matematis untuk menghitung data kualitas air menjadi sederhana misalnya *excellent*, *good*, dan *bad*. Faktor kontaminasi (*contamination factor*, CF) merupakan metode penilaian kualitas air tunggal untuk satu lokasi sampling dengan persamaan (Hakanson, 1980):

$$CF = \frac{C_{logam}}{C_{baku\ mutu}}$$

Keterangan:

- CF : Faktor kontaminasi
 C_{logam} : konsentrasi logam berat dalam sampel (mg/kg)
 $C_{baku\ mutu}$: konsentrasi satandar baku mutu logam (mg/kg)

Tabel 1. Kelas Penilaian Kualitas Air dengan CF (Hakanson, 1980)

Nilai CF	Tingkat Pencemaran
$CF < 1$	Rendah
$1 \leq CF < 3$	Sedang
$3 \leq CF < 6$	Tinggi
$CF \geq 6$	Sangat tinggi

Indeks pencemaran logam (*metal pollution index*, MPI) merupakan metode penilaian kualitas air terkait pencemaran logam berat yang menggunakan data lebih dari satu titik sampling. Metode ini dikembangkan oleh (Thomilson dkk, 1980) dengan persamaan sebagai berikut:

$$MPI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times CF_n)^{1/n}$$

Keterangan:

- MPI : Indeks pencemaran logam
 n : Banyaknya titik sampel yang diambil
 CF (1, 2, 3) : Nilai faktor kontaminasi logam berat pada tiap titik sampel

Tabel 2. Kelas penilaian kualitas air dengan MPI (Thomilson dkk, 1980)

Nilai MPI	Tingkat Pencemaran
0	Tidak tercemar
= 1	Tingkat perbatasan
>1	Tercemar

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan (PP Nomor 82 Tahun 2001). Dalam penelitian ini digunakan

baku mutu air kelas I yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Baku mutu air ditunjukkan pada **Tabel 3**

Tabel 3. Baku Mutu Air (PP Nomor 82, 2001)

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum
1	pH		6-9
2	Mangan (Mn)	mg/l	0,1
3	Fe (Besi)	mg/l	0,3
4	Pb (Timbal)	mg/l	0,03
5	Cu (Tembaga)	mg/l	0,02
6	Zn (Zinc)	mg/l	0,05

Keterangan: mg (milligram), l liter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan mangan menghasilkan dua produk yaitu konsentrat berupa mangan yang sudah sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan dan *tailing* berupa limbah air. *Tailing* berupa limbah air akan ditampung pada kolam pengendapan sebelum dilepaskan ke lingkungan sekitar. Pada umumnya terdapat tiga kolam pengendapan dimana setiap kolam memiliki fungsi tersendiri. Kolam pertama berfungsi sebagai tempat awal diendapkannya material-material baik itu pasir (*sand*), lumpur (*slime*) dan lumpur pasiran (*sandy slime*) sebagai sisa hasil pencucian mangan dan air. Kolam kedua berfungsi sebagai endapan suspensi dan *treatment* menggunakan ijuk, serta kolam ketiga diasumsikan bahwa air yang masuk ke kolam ini sudah bebas dari endapan lumpur sehingga air dari kolam ini akan digunakan kembali untuk proses pencucian mangan ataupun dialirkan ke lingkungan sekitar. Berikut rata-rata kandungan logam berat dalam air ditampilkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rata-rata Konsentrasi Logam Berat Dalam Air

No	Kode Sampel	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)
	Standar baku mutu (mg/l)	0,3	0,1	0,05	0,02	0,03
1	In	1,23	9,13	0,443	0,72	0,004
2	K I	1,953	9,11	0,46	0,82	0,005
3	K II	1,096	1,85	0,513	0,54	0,006
4	K III	1,043	0,906	0,126	0,17	0,007
5	Ot	1,013	0,82	0,06	0,11	0,009

Keterangan: In: inlet, K: kolam pengendapan, Ot: outlet

Berdasarkan hasil analisis kandungan logam berat dengan metode AAS terlihat bahwa logam Fe, Mn, Zn, dan Cu melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan, dibandingkan dengan konsentrasi logam Pb yang berada dibawah standar baku mutu. Meskipun pada kolam pengendapan II telah dilakukan *treatment* dengan menggunakan ijuk, akan tetapi konsentrasi logam berat tidak mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan ijuk yang hanya berfungsi sebagai media penyaring partikel berukuran lebih besar, bukan berfungsi sebagai material adsorben yang dapat menurunkan konsentrasi logam berat dalam air (Kumalasari dan Satoto, 2011). Sehingga diperlukan *treatment* khusus selain menggunakan ijuk. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Goa, dkk, 2014) menyebutkan bahwa filter ganda yang terdiri dari 2 media filter yaitu zeolit dan arang aktif tempurung lontar mampu menurunkan konsentrasi logam Mn dan Fe pada air limbah hasil cucian mangan. Selain itu, dalam penelitian (Pinandari, dkk, 2011) membuat filter biomassa menggunakan sabut kelapa sebagai *bioremoval* untuk menurunkan kadar logam Fe dan Cu yang terbukti efektif dan efisien pada limbah air asam tambang batubara. Ketersediaan sabut kelapa yang melimpah dan diperoleh dengan mudah dapat digunakan sebagai biomassa penjerap logam pada alat filter penjernih air. Dari beberapa material yang digunakan, maka dapat dilakukan kombinasi untuk membuat filter dengan media yang paling efektif dalam penerapan *treatment* khusus untuk menurunkan konsentrasi logam berat Mn, Fe, Cu, Zn.

Tabel 5. Nilai Faktor Kontaminasi Logam Berat di Air

No	Kode Sampel	Nilai CF				
		Fe	Mn	Zn	Cu	Pb
1	In	4,1	91,3	8,86	36	0,13
2	K I	6,51	91,1	9,2	41	0,16
3	K II	3,65	18,5	10,26	27	0,2
4	K III	3,47	9,06	2,52	8,5	0,23
5	Ot	3,37	8,2	1,2	5,5	0,3

Berdasarkan perhitungan nilai CF untuk mengetahui kualitas air hasil pencucian bijih mangan pada 5 titik sampling diperoleh nilai CF berkisar antara 0,13 – 91,3 dengan kategori kontaminasi rendah hingga sangat tinggi. Dari hasil penilaian faktor kontaminasi akan digunakan untuk menghitung indeks tingkat pencemaran (MPI). Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah terjadi pencemaran logam berat atau tidak. Nilai indeks pencemaran logam Mn, Fe, Cu, Pb dan Zn pada air dapat dilihat pada **Tabel 6**.

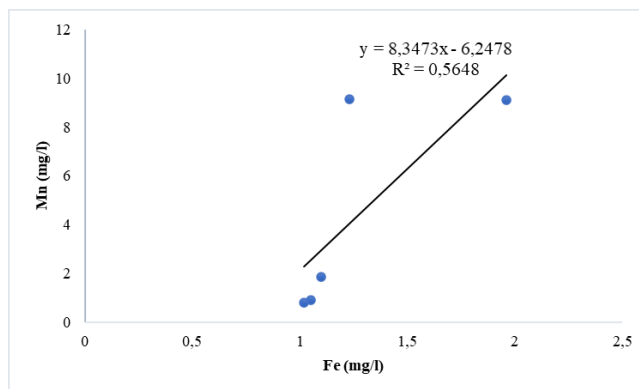
Tabel 6. Tingkat Pencemaran Logam Berat di Air

No.	Logam Berat	MPI	Tingkat Pencemaran
1	Fe	4,08	T
2	Mn	25,8	T
3	Zn	4,79	T
4	Cu	17,9	T
5	Pb	0,19	TT

Keterangan; T: Tercemar, TT: Tidak Tercemar

Berdasarkan hasil analisis, diketahui logam berat yang tercemar adalah Fe, Mn, Zn, dan Cu dengan indeks pencemaran tertinggi yaitu logam Mn sebesar 25,8. Sedangkan logam Pb tergolong dalam kategori tidak tercemar, karena hasil perhitungan rata-rata konsentrasi logam Pb pada semua titik pengambilan sampel berada dibawah ambang batas sehingga memenuhi standar baku mutu. Tercemarnya logam berat Fe, Mn, Zn, dan Cu dapat berpengaruh pada perubahan kualitas air permukaan dan kualitas tanah sekitar seperti keracunan pada tanaman karena kelebihan unsur hara mikro (Sari, dkk, 2020). Pada lokasi penelitian, sampel diambil dari hasil pencucian bijih mangan, sehingga pengaruh konsentrasi logam Mn terhadap tingkat pencemaran logam lainnya dianalisa menggunakan regresi linier.

Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Fe

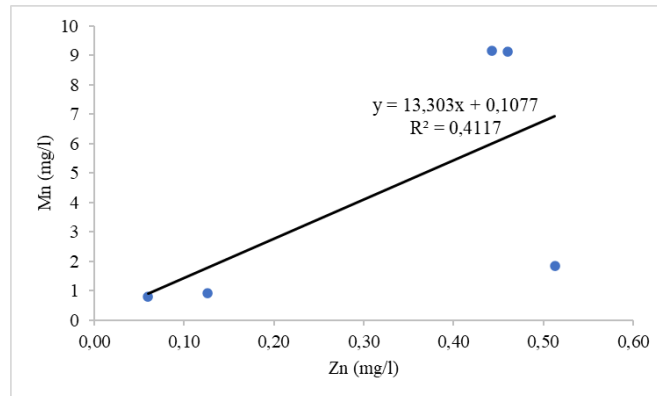


Gambar 1. Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Fe di Air

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam Fe pada titik sampling inlet, K1, K2, K3, dan outlet berpengaruh terhadap konsentrasi logam Mn. Sesuai dengan hasil persamaan regresi linier yang terbentuk adalah $y = 8,3473x - 6,2478$, dengan koefisien korelasi 0,752 yang artinya bahwa terdapat korelasi atau hubungan yang kuat dan negatif antara konsentrasi logam Fe terhadap logam Mn dengan persentase sebesar 56,5% sedangkan 43,5% sisanya dipengaruhi oleh variabel (logam) lain yang tidak termasuk dalam analisis. Tingginya konsentrasi Fe juga dipengaruhi oleh nilai pH. Rendahnya nilai pH yang kurang dari 7 menyebabkan larutnya Fe dan logam lainnya dalam air. Berdasarkan hasil pengukuran pH secara langsung di lapangan, diperoleh nilai pH pada 5 titik sampling berkisar antara 6,6 – 6,9. Dalam keadaan pH rendah, besi yang ada dalam air berbentuk ferro dan ferri, dimana bentuk ferri akan

mengendap dan tidak larut dalam air serta tidak dapat dilihat dengan mata sehingga mengakibatkan air menjadi berwarna, berbau dan berasa (Suhernomo, dkk, 2014). Berdasarkan tingkat pencemaran, logam Fe masih dibawah logam Mn yaitu sebesar 4,08. Namun kedua logam tersebut masuk dalam kategori tercemar. Selain itu, tingginya kandungan Fe yang terdapat pada sampel diduga karena adanya faktor alami seperti jenis tanah dan batuan yang menyusun wilayah tersebut (Aisyah, 2017).

Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Zn

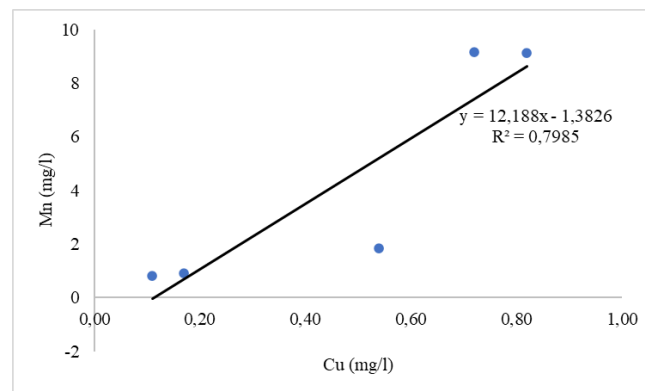


Gambar 2. Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Zn di Air

Berdasarkan hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa konsentrasi logam Zn di air hasil pencucian mangan berkisar antara 0,06-0,51 (mg/l) dan berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan. Dilihat dari hasil penilaian dan tingkat pencemaran logam Zn tergolong dalam kelas tingkat pencemaran sedang hingga sangat tinggi. Namun, jika dibandingkan dengan kelarutan logam Mn pada air untuk klasifikasi MPI masih lebih tinggi daripada logam Zn (lihat **Tabel 6**).

Dari hasil analisa regresi linier sederhana diperoleh persamaan $y = 13,303x + 0,1077$, dengan koefisien korelasi 0,642 yang artinya bahwa terdapat korelasi atau hubungan yang kuat antara konsentrasi logam Zn terhadap logam Mn dengan persentase sebesar 41,2% sedangkan 58,8% sisanya dipengaruhi oleh variabel (logam) lain yang tidak termasuk dalam analisis. Menurut Fatmawinir, dkk (2015), pada pH 6-12 logam Zn akan sedikit larut dalam air, sehingga akan mengalami pengendapan pada kolam. Dengan bervariasinya nilai pH maka berpengaruh pada kelarutan logam Zn. Selain itu, ion Zn juga mudah terserap ke dalam sedimen dan tanah.

Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Cu

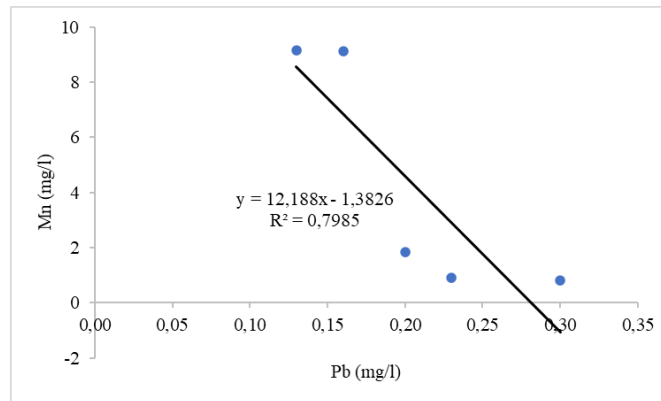


Gambar 3. Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Cu di Air

Tembaga secara alami dapat berasal dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh hujan. Sumber lain berasal dari aktivitas kegiatan masyarakat seperti buangan rumah tangga dan kegiatan industri. Pada kondisi normal keberadaan tembaga di perairan ditemukan dalam bentuk ion CuCO_3 dan CuOH^+ (Husaini, 2019 dalam Mangalik, dkk, 2023). Selanjutnya, Yunus (2020) menyebutkan bahwa di alam umumnya air mengandung logam Mn yang disebabkan oleh adanya kontak langsung antara air tersebut dengan lapisan tanah yang mengandung Mn. Berdasarkan hasil analisis rata-rata konsentrasi logam Cu berada dibawah konsentrasi logam Mn. Hal tersebut sesuai dengan indeks tingkat pencemaran, logam Mn yang memiliki kontaminasi sangat tinggi yaitu 25,8 dibandingkan logam Cu yang berada pada kelas kontaminasi tinggi-sangat tinggi. MPI yang tinggi juga dihasilkan dari proses pencucian

bijih mangan. Dari hasil analisa regresi linier diperoleh persamaan $y = 12,188x - 1,3826$, dengan koefisien korelasi 0,894 yang artinya bahwa terdapat korelasi atau hubungan yang sangat kuat antara konsentrasi logam Cu terhadap logam Mn dengan persentase sebesar 79,9% sedangkan 20,1% sisanya dipengaruhi oleh variabel (logam) lain yang tidak termasuk dalam analisis.

Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Pb



Gambar 4. Hubungan Konsentrasi Logam Mn Dengan Logam Pb di Air

Pada lokasi pengambilan sampel nilai kontaminasi logam Pb tergolong dalam kelas rendah, karena rata-rata konsentrasi logam Pb berkisar antara 0,004 – 0,009 mg/L. Konsentrasi tersebut mengalami kenaikan dari titik inlet hingga outlet, tetapi tidak melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan sehingga MPI untuk logam Pb yaitu tidak tercemar. Berdasarkan hasil analisis regresi linear, diperoleh persamaan $y = 12,188x - 1,3826$, dengan koefisien korelasi 0,856 yang artinya bahwa terdapat korelasi atau hubungan yang sangat kuat dan negatif antara konsentrasi logam Pb terhadap logam Mn dengan persentase sebesar 73,2% sedangkan 26,8% sisanya dipengaruhi oleh variabel (logam) lain yang tidak termasuk dalam analisis. Hal ini membuktikan, bahwa konsentrasi logam Pb berpengaruh secara signifikan dengan arah negatif terhadap konsentrasi logam Mn. Artinya berbanding terbalik, semakin kecil konsentrasi logam Mn maka semakin besar konsentrasi logam Pb (lihat **Tabel 4**).

Peningkatan konsentrasi logam berat dipengaruhi oleh faktor lingkungan fisika kimia perairan misalnya seperti salinitas, pH dan kandungan bahan organik (Najamuddin dkk., 2016). Semakin dekatnya sumber polutan dengan titik pengambilan sampel juga menjadi penyebab meningkatnya keberadaan logam berat di dalam air (Maslukah dkk., 2019). Jika dilihat secara keseluruhan, limbah hasil pencucian bijih mangan tercemar oleh logam berat Fe, Mn, Zn, dan Cu sehingga perlu dilakukan pengelolaan untuk menurunkan konsentrasi logam berat sebelum air limbah dialirkan ke lingkungan sekitar atau dipergunakan kembali.

Pemilihan metode yang tepat dengan teknologi mengolah limbah yaitu menggunakan sistem fitoremediasi. Mekanisme dalam proses fitoremediasi adalah penggunaan tanaman lokal yang mampu menyerap logam dan mengakumulasi ke dalam biomas tanaman. Proses fitoremediasi dengan menyerap polutan disebut fitoekstraksi. Tanaman yang mempunyai mekanisme fitoekstraksi disebut akumulator (Chaney, 1995). Dalam penelitian Chen, dkk (2004) menunjukkan bahwa matriks tanah yang ditanami akar wangi dapat menyerap kembali 98%, 54%, 41%, dan 88% dari Pb, Cu, Zn, dan Cd yang diaplikasikan sehingga dapat mengurangi risiko logam berat mengalir ke bawah dan masuk ke dalam air tanah. Tanaman lokal seperti kirinyuh yang tumbuh pada tailing hasil pencucian mangan terbukti mampu menyerap unsur logam Mn, Fe, Ba, dan Ti pada bagian akar diatas 1% dan tajuk sebesar 0,3% (Mesalayuk, 2014). Pemanfaatan jenis tanaman lokal lainnya seperti cemara hutan, lamtoro, kersen, asam, kayu putih, dan akasia dapat menyerap kadar Mn pada batang kulit pohon dan daun (Ersam, 2015; Hanmina, 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, rata-rata konsentrasi logam berat Fe, Mn, Zn, dan Cu melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan, sedangkan konsentrasi logam Pb berada dibawah standar baku mutu. Selanjutnya, dari perhitungan faktor kontaminasi diketahui logam berat yang tercemar adalah Fe, Mn, Zn, dan Cu dengan indeks pencemaran tertinggi yaitu logam Mn sebesar 25,8. Sedangkan logam Pb tergolong dalam kategori tidak tercemar. Dengan analisis regresi linier diperoleh korelasi yang kuat hingga sangat kuat dan arah positif antara logam Fe, Zn, dan Cu terhadap Mn. Sedangkan logam Pb berpengaruh secara signifikan dengan arah negatif terhadap konsentrasi logam Mn. Artinya setiap peningkatan konsentrasi Mn,

terjadi penurunan konsentrasi Pb. Pengolahan limbah pada kolam pengendapan selain menggunakan ijuk, dapat dilakukan dengan menambah bahan yang lebih efektif seperti zeolit, arang aktif tempurung lontar, dan serbuk sabut kelapa. Alternatif lainnya dapat menerapkan fitoremediasi dengan menggunakan tanaman lokal seperti kirinyuh, lamtoro, kayu putih, asam yang terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat di air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penulisan artikel ini. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan artikel ini, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari seluruh pembaca demi perkembangan dan kemajuan penulisan di waktu yang akan datang. Semoga artikel ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, A. N. (2017). Analisis Dan Identifikasi Status Mutu Air Tanah Di Kota Singkawang Studi Kasus Kecamatan Singkawang Utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–10.
- Chaney, R. L. (1995). Potential Use of Metal Hyperaccumulators, *Mining Environ, Manag*, 3, 9 – 11.
- Dahuri, R. (1996). *Bahaya Logam Berat dalam Makanan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Damaianto, B., & Masduqi, A. (2014). Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Utara Kabupaten Tuban Dengan Parameter Logam. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1 – 4
- Ersam, M. K. (2015). *Analisis Kadar Mangan Pada Kulit Batang Pohon Cemara Hutan (Cisuarina equisetifolia) Lamtoro (Leucaena leucocephala L.), Kersen (Muntingla calabura) dan Asam (Tamarindus indica) Sebagai Alternatif Tanaman Fitoremediasi Untuk Mereduksi imbah Logam Berat Mangan*. Universitas Nusa Cendana.
- Fatmawinir, Suyani, H., & Alif, A. (2015). Analisis Sebaran Logam Berat Pada Aliran Air Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Air Dingin. *Jurnal Riset Kimia*, 8(2), 101 – 107.
- Goa, A. A., Gauru, I., Solo, A. A. M., & Mere, G. K. (2014). Pembuatan Filter Ganda Mangan-Zeolit dan Arang Aktif Tempurung Lontar Asal NTT untuk Menurunkan Kadar Logam Fe dan Mn dalam Limbah Cucian Mangan di Desa Noebesa Kabupaten Timor Tengah Selatan, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, (1): 13 – 19. Universitas Nusa Cendana.
- Hakanson, E., Nuraini, Y., Muddarisma, N., Syam, N., & Fiqri, A. (2017). *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Malang: University of Brawijaya Press.
- Hanmina, F. A. S. (2016). *Analisis Kadar Mangan Pada Daun Pohon Cemara Hutan (Cisuarina equisetifolia) Kayu Putih (Eucalyptus alba) Akasia (Acacia melanoxylon) Sebagai Alternatif Tanaman Fitoremediasi Untuk Mereduksi Limbah Logam Berat Mangan Pada Wilayah IUP PT.Bun Yan Hassanah Blok 1 Di Desa Oetalus Kabupaten Timor Tengah Utara*. Universitas Nusa Cendana.
- Kumalasari, F., & Satoto, Y. (2011). *Teknik Praktis Mengolah Air Kotor Menjadi Air Bersih*. Bekasi: Laskar Aksara.
- Mangalik, A. C. G., Asmawi, S., & Sofarini, D. (2023). Analysis of Heavy Metals Iron (Fe), Manganese (Mn), Copper (cu), in Negara River Waters, Hulu Sungai Selatan Regency, South Kalimantan Province. *AQUATIC Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 6(1), 25 – 45.
- Masluhah, L. (2013). Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3), 55 – 62. http://ejournal.undip.ac.id/index.php/bu_loma
- Masykur, A., Fatimah, N., & Prabawani, S. K. (2018). Fabrication of Sugar Palm Fiber/Andisol Soil Composite for Iron (III) ion removal from Aqueous Solution. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 346 – 51.
- Mesalayuk, J. A. (2014). *Analisis Fitoremediasi Tumbuhan Kirinyuh Terhadap Logam Berat Dominan yang Terdapat Pada Tailing Pencucian Bijih Mangan PT.Laksana Jaya di Kabupaten Belu Propinsi Nusa Tenggara Timur*. UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Metboki, M. (2018). Analisis Masa Pakai Kapur (CaCO₃) dan Zeolit Alam Sebagai Bahan Penetrat Air Asam Tambang dan Penyerap Kadar Logam Fe pada Kolam Pengendapan (Settling Pond) PT.SAG KSO PT. Semen Kupang, *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, pp.117 – 123. Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

- Najamuddin, Prartono, T., Sanusi, H. S., & Nurjaya, I. W. (2016). Distribution and Behaviour of Dissolved and Particulate Pb and Zn in Jeneberang Estuary, Makassar. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(1), 11– 28. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v8i1.12494>
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Pinandari, W. A., Fitriana, N. D., Nugraha, A., & Suhartono, E. (2011). Uji Efektivitas dan Efisiensi Filter Biomassa Menggunakan Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera*) Sebagai Bioremoval Untuk Menurunkan Kadar Logam (Cd, Fe, Cu), Total Padat Tersuspensi (TSS), dan Meningkatkan pH Pada Limbah Air Asam Tambang Batubara. *Jurnal Prestasi*, 1(1), 1 – 12.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang “Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia”.
- Racmansyah, P. R. (1998). Uji Toksisitas Logam Berat Terhadap Benur Undang Windu dan Nener Bandeng. *Jurnal Perikanan Indonesia*.
- Sari, K. D., Kusniawati, E., & Srimardani, R. (2020). Peningkatan Kualitas Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit dan Bakteri Sebagai Media Adsorpsi Dengan Metode Sedimentasi Secara Anaerob di PT. Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sout Sumatera. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 11(1), 13 – 21.
- Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabet.
- Suhermono, Mursyid, A., Mahreda, S. E., & Chairuddin, Gt. (2014). Analisis Kandungan Besi (Fe), Mangan (Mn), dan pH Air Tanah Hasil Pemboran Geoteknik di Tambang Batubara PT Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong dan Balangan Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal EnviroScienteeae*, 10, 103 – 111.
- Thomilson, D. C., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffery, D. W. (1980). Problems in The Assessment of Heavy Metlas Levels in Estuaries and The Formation of a Pollution Index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, 33, 566 – 575.
- Yunus, R., Ariyani, D., & Rahayu, I. A. (2020). Analisis Kandungan Mangan (Mn) pada Air Sumur di Sekitar Kawasan Pertambangan Batubara di Kecamatan Simpang Empat, Kabupaten Banjar. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains Dan Terapan Kimia*, 14(1), 43 – 54. <https://doi.org/10.20527/jstk.v14i1.6480>