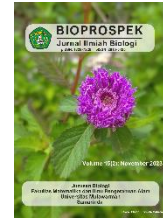




Bioprospek

<https://fmipa.unmul.ac.id/jurnal/index/Bioprospek>



PENURUNAN KADAR BESI (Fe) DAN MANGAN (Mn) PADA AIR ASAM TAMBANG PT. X MENGGUNAKAN VARIASI KONSENTRASI *BACILLUS CEREUS* & VARIASI DOSIS KAPUR Ca(OH)₂

Rizqi Nadhirawaty¹, Yus Santo², Dhany Achmad Wicaksono^{1*}, Umi Sholikah¹

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Kota Balikpapan - 76127
2. Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta, Kota Yogyakarta - 55171

INFO ARTIKEL

Disubmit **20 Oktober 2023**
Diterima **08 Desember 2023**
Terbit Online **12 Desember 2023**

Kata kunci: Air asam tambang, *Bacillus cereus*, besi (Fe), kapur Ca(OH)₂, mangan (Mn)

ABSTRAK

Air asam tambang memiliki efek negatif terhadap pencemaran lingkungan. Air asam tambang memiliki nilai pH yang rendah dan parameter logam yang tinggi seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Bakteri *Bacillus cereus* dapat digunakan untuk menurunkan kadar besi dan mangan pada air asam tambang yang memiliki persentase hingga 98% sehingga dilakukan pengujian dalam penelitian ini. Netralisasi pH menggunakan kapur Ca(OH)₂ memiliki persentase netralisasi hingga 95%. Dosis Bakteri *Bacillus cereus* yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 5% dan 10% yang dikombinasikan dengan dosis kapur Ca(OH)₂ sebanyak 0,049 gram dan 0,061 gram. Kombinasi tersebut akan dilakukan pengadukan cepat 150 rpm dan pengadukan lambat 100 rpm serta pengendapan selama 30 menit. Hasil dari pengujian pH dengan kapur Ca(OH)₂ sebanyak 0,049 gram mendapat hasil pH 6,60 dan 6,97. Sedangkan pada pengujian pH dengan kapur Ca(OH)₂ sebanyak 0,061 gram mendapat hasil pH 6,99 dan 7,40. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur Ca(OH)₂ dapat menaikkan pH air asam tambang hingga mencapai baku mutu yang berlaku yaitu 6-9. Hasil dari analisis dosis optimum bakteri *Bacillus cereus* terhadap penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) didapatkan variasi dosis air asam tambang ditambah dengan konsentrasi bakteri 5% dan kapur Ca(OH)₂ sebanyak 0,061 gram dapat menurunkan kadar besi (Fe) dari 6,02 mg/L hingga 0,28 mg/L dan efisiensi penyisihan sebesar 91,89%. Sedangkan untuk penurunan kadar mangan (Mn) pada air asam tambang didapatkan variasi dosis air asam tambang dengan konsentrasi bakteri 5% dan kapur Ca(OH)₂ sebanyak 0,061 gram dapat menurunkan kadar mangan (Mn) dari 7,9 mg/L hingga 6,98 mg/L dan efisiensi penyisihan sebesar 11,89%.

*Email Corresponding Author: dhanyahmad54@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan saat ini tengah terjadi hampir di seluruh negara di dunia. Faktor penyebab terjadinya pencemaran lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti kegiatan industri, kegiatan sarana transportasi, kegiatan domestik, dan aktivitas makhluk hidup lainnya. Pencemaran air dari aktivitas industri salah satunya berasal dari industri pertambangan batu bara dalam bentuk air asam tambang. Air asam tambang (AAT) adalah limpasan air yang terbentuk dari proses oksidasi mineral sulfida yang terekspos dengan udara di atmosfer dan bercampur dengan air. Proses oksidasi sulfida ini menghasilkan cairan yang mengandung asam sulfat dan meningkatkan konsentrasi logam seperti besi, mangan, aluminium, kadmium dan lainnya (Utami, 2020). Beberapa parameter yang terkandung dalam air asam tambang secara umum yaitu mangan (Mn) dan besi (Fe) (Kiswanto, 2020). Karakteristik AAT mempunyai nilai parameter yang tidak sesuai dengan baku mutu AAT yaitu nilai pH yang rendah berkisar dari 2,56 – 3,38 dan nilai Fe dan Mn yang tinggi masing-masing 35 mg/l dan 8,833 mg/l (Nadhirawaty, 2022).

AAT dapat dilakukan dengan metode yang berbeda, yaitu secara fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan secara fisika dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa kompartemen yang diberi pintu air secara *zig-zag* supaya memperkecil kecepatan aliran air. Hal tersebut menyebabkan air yang keluar dari kolam pengendapan menjadi lebih lama (Sinaga, 2021). Pengolahan AAT secara biologis membutuhkan biaya yang lebih sedikit karena pengolahannya yang menggunakan mikroba yang secara alami dapat menurunkan kadar Fe dan Mn yang ada di dalam AAT. Pengolahan AAT secara biologi berbasis bioremediasi merupakan metode alternatif yang dapat memiliki keunggulan yaitu biaya yang lebih rendah dan lebih ramah lingkungan. Menurut Khairunnisa (2019), bakteri *Bacillus cereus* dapat menurunkan parameter yang terdapat pada air asam tambang termasuk besi (Fe) dan mangan (Mn). Akinpelu (2021) menjelaskan bahwa efisiensi sistem remediasi air asam tambang dengan menggunakan bakteri *Bacillus cereus* memiliki presentase hingga 98%. Adapun netralisasi pH air asam tambang dapat dilakukan dengan penambahan kapur Kalsium hidroksida atau Ca(OH)_2 . Pada penelitian (Nadhirawaty, 2022), tentang potensi dari bakteri *Bacillus cereus* dapat menurunkan kandungan logam besi (Fe) dan mangan (Mn) serta dapat menaikkan nilai pH mencapai baku mutu.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)_2 dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) serta pengaruh terhadap pH air asam tambang hingga mencapai pH normal.

2. MATERI DAN METODE

Metode Penelitian yang dilakukan menggunakan referensi dari penelitian (Nadhirawaty, 2022; Kurniawan, 2022) dan bersifat eksperimental dengan variabel sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variable Terikat	Variabel Bebas
Besi (Fe)	Ca(OH)_2 0,049 gr; <i>B.cereus</i> 5% Ca(OH)_2 0,061 gr; <i>B.cereus</i> 5%
Mangan (Mn)	Ca(OH)_2 0,049 gr; <i>B.cereus</i> 10% Ca(OH)_2 0,061 gr; <i>B.cereus</i> 10%
pH	

Berdasarkan Tabel 1, variabel terikat berasal dari parameter yang terkandung di dalam air asam tambang, seperti besi, mangan, dan pH. Variabel bebas yang digunakan adalah dosis dari bakteri *Bacillus cereus* sebanyak 5% dan 10%, sedangkan untuk dosis dari kapur Ca(OH)_2 dengan dosis 0,049 gr dan 0,061 gr.

Analisis data

Alat yang digunakan seperti: *Autoclave*, *Laminar air flow*, *Centrifuge*, *Centrifuge tube*, Spektrofotometer UV-VIS, Kuvet, pH meter (merk Hanna Instrument), Neraca digital, *Magnetic stirrer bar*, *Hotplate*, Gelas beaker, Tabung reaksi, Cawan petri, Corong kaca, Kaca arloji, Spatula besi, Erlenmeyer, Botol sampel, dan Jarum ose. Penelitian ini menggunakan bahan-bahan yaitu: Sampel air asam tambang, Media agar *Bacillus cereus* (Himedia), Nutrient broth (Himedia), Akuades, kertas saring kasar, dan Kapur Ca(OH)_2 .

Persiapan Stok Bakteri

Menurut penelitian (Nadhirawaty, 2022) Stok bakteri yang dibuat menggunakan metode media agar *Bacillus cereus*. Isolasi bakteri dilakukan dengan memasukkan 1 ml air asam tambang dengan 9 ml media agar steril kedalam cawan petri lalu di inokulasi selama 24 jam.

Media miring *selectif media agar Bacillus cereus* di inokulasi dengan menggunakan metode streak jarum ose dan di inokulasi selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya membuat media cair dengan menggunakan *nutrient broth* sebanyak 1 L, lalu ambil bakteri yang tumbuh di media miring menggunakan jarum ose untuk dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 1 L *nutrient broth* dan di inokulasi selama 12-13 jam untuk dilakukan pengecekan OD₆₀₀ menggunakan alat spektrofotometer. Jika nilai OD₆₀₀ sudah mencapai 1, lalu diambil 2 ml dari larutan *nutrient broth* yang mempunyai nilai OD₆₀₀ = 1 untuk dipindahkan ke dalam larutan *nutrient broth* baru sebanyak 100 ml dan di inokulasi kembali selama 24 jam. Setelah *nutrient broth* di inokulasi selama 24 jam maka larutan *nutrient broth* dimasukkan ke centrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 18 menit. Supernatan kemudian diolah untuk digunakan dalam penelitian utama (Nadhirawaty, 2022).

Pengujian Variasi Konsentrasi *Bacillus cereus* & Variasi Dosis Kapur Ca(OH)₂

Pengujian Variasi Konsentrasi *Bacillus cereus* & Variasi Dosis Kapur Ca(OH)₂ menggunakan alat reaktor erlenmeyer ukuran 250 ml yang berisi 200 ml AAT ditambah hasil centrifuge, lalu dilakukan pengadukan cepat dengan kecepatan 150 rpm selama 2 menit lalu 100 rpm selama 10 menit dan didiamkan 30 menit (Kurniawan et al. 2022 dan Nadhirawaty, 2022). Setelah itu, dilakukan penelitian utama dengan 3 kali pengulangan (triplo).

Penentuan dosis 5% dan 10% dosis bakteri *Bacillus cereus* adalah penambahan supernatan dan air asam tambang, dari volume total 200 ml di dalam reaktor memiliki komposisi sebagai berikut:

1. Dosis 5% bakteri *Bacillus cereus* adalah dengan menambahkan 10 ml supernatan dengan 190 ml air asam tambang di dalam reaktor erlenmeyer.
2. Dosis 10% bakteri *Bacillus cereus* adalah dengan menambahkan 20 ml supernatan dengan 180 ml air asam tambang di dalam reaktor erlenmeyer.

Dalam analisis dan pembahasan untuk melihat pengaruh dari dosis kapur dan bakteri *Bacillus cereus* dalam penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) serta netralisasi pH air asam tambang dimuat dalam bentuk grafik dan tabel hasil perhitungan %Removal sebagai berikut.

Menurut Akinpelu (2021) rumus untuk menentukan efisiensi penyisihan besi (Fe) dan mangan (Mn) sebagai berikut:

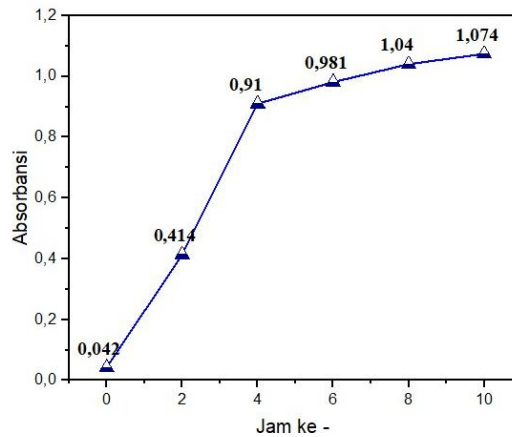
$$Removal (\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

Dimana (Co) adalah konsentrasi awal yang dikurangi (Cf) atau konsentrasi akhir dan dibagi dengan konsentrasi awal lalu dikalikan dengan 100 untuk mendapatkan hasil % *Removal*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Bakteri *Bacillus cereus*

Bakteri *Bacillus cereus* dikembangbiakkan terlebih dahulu menggunakan selektif media agar dan media cair sebelum digunakan untuk menurunkan konsentrasi besi dan mangan. Menurut penelitian dari (Jiang, 2019) tentang karakteristik bakteri *Bacillus cereus* menggunakan OD₆₀₀ untuk melihat pertumbuhan dari *Bacillus cereus* dalam mendegradasi parameter mangan. Hasil pengukuran pertumbuhan bakteri *Bacillus cereus* tumbuh didalam media cair Nutrient broth baru dapat dilihat perkembangannya dari OD₆₀₀ pada alat Spektrofotometer UV-VIS dan dimasukkan ke dalam grafik pada Gambar 1.



Gambar 1. Pertumbuhan Bakteri *Bacillus cereus*

Dapat dilihat pada grafik Gambar 1 terdapat kenaikan nilai absorbansi dari jam ke-0 dengan nilai 0,042 sampai jam ke-2 dengan nilai 0,414 dimana bakteri yang tumbuh masih pada fase eksponensial atau masa pertumbuhan bakteri yang cepat. Setelah itu pada jam ke-4 kenaikan nilai absorbansi mulai tinggi hingga 0,91 dan pada jam ke-10 nilai absorbansi sudah mencapai 1, yang menyatakan bahwa pertumbuhan bakteri berada pada fase eksponensial yang menuju fase stasioner dimana pertumbuhan bakteri mulai berkurang karena laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya sehingga jumlah bakteri yang ada akan tetap. Nilai $OD_{600} = 1$ adalah nilai yang dapat digunakan untuk menunjukkan fase pertumbuhan bakteri, pada $OD_{600} = 1$ bakteri berada pada fase pertumbuhan eksponensial yang berarti jumlah bakteri dapat bertambah dengan cepat untuk mencapai fase stasioner, pertumbuhan bakteri pada jam ke 0 hingga jam ke 9 nilai OD_{600} mulai mengalami kenaikan yang tinggi dan pada jam ke-10 nilai OD_{600} sudah mencapai 1.

Tahap Penelitian Utama

Parameter pH

Setelah dilakukan perlakuan dengan menambahkan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur $Ca(OH)_2$, didapatkan hasil rata-rata pH akhir yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH

Sampel	Rata-rata pH Akhir
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur $Ca(OH)_2$ 0,049 gr	6,60 ± 0,20
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur $Ca(OH)_2$ 0,061 gr	6,97 ± 0,06
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur $Ca(OH)_2$ 0,049 gr	6,99 ± 0,11
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur $Ca(OH)_2$ 0,061 gr	7,40 ± 0,08
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5%	5,09
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10%	5,64
AAT 250 ml	2,59

Berdasarkan Tabel 2 setelah dilakukan pengukuran 4 variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur $Ca(OH)_2$, dari parameter pH mengalami kenaikan di semua variasi kombinasi yang telah dilakukan dan dapat ditentukan untuk variasi konsentrasi yang paling tepat dan sudah sesuai baku mutu adalah variasi konsentrasi pertama yaitu air asam tambang ditambahkan dengan konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* 5% dan dosis kapur $Ca(OH)_2$ sebanyak 0,049 gram. Penentuan variasi tersebut juga tidak memerlukan dosis kapur yang lebih banyak untuk menaikkan pH diatas baku mutu yang telah ditetapkan sehingga tidak membutuhkan biaya yang lebih besar dan dapat meminimalisir penggunaan kapur $Ca(OH)_2$ sehingga dapat mengurangi biaya pemakaian.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur $Ca(OH)_2$ mengalami perubahan yang tinggi pada nilai pH, dimana kenaikan pH air asam tambang bertambah dan memenuhi baku mutu yang berlaku. Penggunaan kapur $Ca(OH)_2$ juga digunakan untuk mengurangi kadar logam dalam air asam tambang dengan cara meningkatkan pH

air hingga mencapai titik di mana logam-logam tidak dapat larut. Setelah pH air naik maka logam-logam akan mengendap didasar dan kadar logam pada AAT tersebut akan berkurang.

Pengujian sampel juga dilakukan tanpa menggunakan dosis kapur Ca(OH)_2 dan hanya menggunakan variasi konsentrasi bakteri 5% dan 10% untuk melihat perubahan pH awal dan pH setelah penambahan konsentrasi bakteri *Bacillus cereus*. Dapat dilihat pada Tabel 2 untuk pengukuran sampel menggunakan konsentrasi bakteri 5% dan 10% dapat menaikkan pH yang awalnya 2,59 menjadi 5,05 dan 5,64. Bakteri *Bacillus cereus* dapat menaikkan pH, bakteri ini tumbuh dan menghasilkan metabolitnya seperti asam organik yang membuat pH lingkungan sekitarnya dapat meningkat. Hal ini terjadi karena asam organik yang diproduksi oleh *Bacillus cereus* dapat bereaksi dengan basa dalam media, sehingga menghasilkan senyawa yang dapat meningkatkan pH.

Parameter Fe

Efisiensi penyisihan besi digunakan untuk melihat berapa persen penurunan konsentrasi besi sebelum perlakuan dan setelah perlakuan dengan menggunakan pengukuran 4 variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur Ca(OH)_2 , selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan dari penurunan kadar Fe untuk dapat menentukan variasi konsentrasi yang paling tepat dan memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi dalam penurunan konsentrasi Fe. Pada penelitian ini menggunakan rumus efisiensi penyisihan menurut (Akinpelu, 2021). Hasil dari perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Fe dan Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Sampel	Fe Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan Fe (%)
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur Ca(OH)_2 0,049 gr	1,15 ± 0,55	80,82 ± 9,15
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur Ca(OH)_2 0,061 gr	0,49 ± 0,14	91,89 ± 2,36
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur Ca(OH)_2 0,049 gr	0,60 ± 0,27	90,10 ± 4,41
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur Ca(OH)_2 0,061 gr	0,28 ± 0,07	95,28 ± 1,21
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5%	3,2	46,13
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10%	1,6	72,75
AAT 250 ml	6,02	0

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi penyisihan Fe pada Tabel 3 yang telah dilakukan dengan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur Ca(OH)_2 mengalami penurunan yang tinggi pada konsentrasi Fe dan hasil nilai pengujian efisiensi penyisihan pada semua kombinasi mengalami penurunan konsentrasi Fe yang tinggi berkisar antara 80,82% - 95,28%. Penurunan konsentrasi Fe air asam tambang dari nilai konsentrasi awal sebelum perlakuan yaitu 6,02 dan dibandingkan dengan setelah perlakuan dengan Bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)_2 yaitu 0,28 – 1,15 mg/L.

Pemilihan kombinasi yang dapat dilihat dari nilai efisiensi penyisihan yang tinggi yaitu kombinasi air asam tambang ditambah dengan konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* 5% dan kapur Ca(OH)_2 sebanyak 0,061 gram dengan hasil efisiensi penyisihan 91,89%. Kombinasi ini dipilih karena tidak memerlukan konsentrasi bakteri yang tinggi, hanya konsentrasi bakteri 5% sudah bisa menurunkan konsentrasi Fe hingga efisiensi penyisihan lebih dari 90%. Hasil pengujian dari sampel AAT dengan bakteri *Bacillus cereus* 5% dan 10% tanpa tambahan kapur dapat menurunkan konsentrasi Fe masing-masing efisiensi penyisihan sebesar 46,13% dan 72,75%. Proses yang terjadi pada penurunan kadar logam besi disebabkan dari bakteri yang menggunakan berbagai proses untuk mengurangi konsentrasi logam, termasuk biosorpsi dan bioakumulasi. Biosorpsi melibatkan pengikatan ion logam ke permukaan sel atau zat polimer ekstraseluler bakteri, sedangkan bioakumulasi melibatkan penyerapan dan akumulasi ion logam di dalam sel. Proses spesifik yang digunakan oleh bakteri untuk mengurangi konsentrasi logam dapat bervariasi tergantung pada jenis logam dan spesies bakteri yang terlibat (Saraswati, 2021).

Jika melihat hasil % removal Fe pada Tabel 3 untuk pH target 6 dengan kapur Ca(OH)_2 sebanyak 0,061 gram mendapat hasil efisiensi penyisihan lebih tinggi dari pH target 5, hal tersebut menyatakan bahwa kapur Ca(OH)_2 juga dapat menurunkan konsentrasi dari parameter Fe, semakin banyak penggunaan kapur Ca(OH)_2 maka semakin besar juga penurunan konsentrasi Fe pada air asam tambang. Konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dari 5% dan 10% tidak ada perbedaan yang besar karena pada hasil

konsentrasi bakteri 5% mendapatkan hasil 80,82% - 91,89% dan hasil dari konsentrasi bakteri 10% mendapatkan hasil 90,89 - 95,28.

Parameter Mn

Hasil pengukuran Mn air asam tambang sebelum dilakukan perlakuan penambahan bakteri *Bacillus cereus* memiliki konsentrasi 7,9 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi Mn sebelum dilakukan perlakuan masih belum sesuai baku mutu, dimana baku mutu dari mangan atau Mn adalah 4 mg/L. Pada penelitian ini melihat bagaimana variasi konsentrasi *Bacillus cereus* dan dosis kapur Ca(OH)₂ dapat menurunkan konsentrasi Mn pada air asam tambang PT X sampai dibawah baku mutu yang berlaku atau tidak.

Setelah dilakukan pengukuran 4 variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur Ca(OH)₂, dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan penurunan konsentrasi Mn untuk dapat menentukan variasi konsentrasi yang paling tepat dan memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi dalam penurunan konsentrasi Mn. Pada penelitian ini menggunakan rumus efisiensi penyisihan menurut (Akinpelu, 2021). Hasil dari perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter mangan (Mn) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Mn dan Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Sampel	Mn Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan Mn (%)
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur Ca(OH) ₂ 0,049 gr	7,48 ± 0,05	5,59 ± 0,68
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5% + kapur Ca(OH) ₂ 0,061 gr	6,98 ± 0,65	11,89 ± 8,20
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur Ca(OH) ₂ 0,049 gr	7,09 ± 0,06	10,53 ± 0,71
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10% + kapur Ca(OH) ₂ 0,061 gr	6,99 ± 0,05	11,71 ± 0,60
AAT 190 ml + <i>B.cereus</i> 5%	7,5	5,79
AAT 180 ml + <i>B.cereus</i> 10%	6,9	12,32
AAT 250 ml	7,9	0

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi penyisihan Mn pada Tabel 4 yang telah dilakukan dengan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan dosis kapur Ca(OH)₂ mengalami penurunan yang rendah pada konsentrasi Mn. Hasil pengujian dari parameter mangan (Mn) nilai efisiensi penyisihan pada semua kombinasi mengalami penurunan konsentrasi Mn yang rendah berkisar antara 5,59% - 11,89%. Penurunan konsentrasi Mn air asam tambang dari nilai konsentrasi awal sebelum perlakuan yaitu 7,9 dan dibandingkan dengan setelah perlakuan dengan Bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)₂ yaitu 6,98 - 7,48. Pemilihan kombinasi yang dipilih dapat dilihat dari nilai efisiensi penyisihan tertinggi yaitu kombinasi air asam tambang ditambah dengan konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* 5% dan kapur Ca(OH)₂ pH 6 sebanyak 0,061 gram dengan hasil efisiensi penyisihan 11,89%.

Berdasarkan perhitungan efisiensi penyisihan, variasi dosis tersebut hanya dapat menurunkan kadar Mn sebesar 11,89% dan dapat disimpulkan bahwa Bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)₂ dapat menurunkan konsentrasi Mn pada air asam tambang PT X tetapi belum memenuhi baku mutu yang berlaku. Hasil pengujian dari sampel AAT dengan bakteri *Bacillus cereus* 5% dan 10% tanpa tambahan kapur dapat menurunkan konsentrasi Mn masing-masing efisiensi penyisihan sebesar 5,79% dan 12,32%. Ada berbagai mekanisme yang digunakan bakteri untuk mengurangi kadar logam, termasuk biosorpsi dan bioakumulasi. Biosorpsi melibatkan pengikatan ion logam ke permukaan sel atau zat polimer ekstraseluler bakteri, sedangkan bioakumulasi melibatkan penyerapan dan akumulasi ion logam di dalam sel. Pada penelitian parameter mangan yang hasilnya belum memenuhi baku mutu dikarenakan penurunan konsentrasi mangan pada pH yang tinggi yaitu 8 dan 9, sedangkan pada penelitian yang dilakukan pada kondisi pH 5 dan 6.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Nadhirawaty, 2022) dengan penelitian bakteri *Bacillus cereus* dapat menurunkan nilai Mn, pada penelitian tersebut efisiensi penyisihan konsentrasi Mn tidak tinggi karena pada dosis bakteri *Bacillus cereus* 5% nilai efisiensi penyisihan 6.58 - 10.00% dan pada dosis bakteri *Bacillus cereus* 10% nilai efisiensi penyisihan 14.52 - 18.02%. Oleh karena itu, penurunan konsentrasi mangan yang optimal dilakukan pada kondisi pH air yang sudah tinggi disebabkan oleh kapur Ca(OH)₂, jika penurunan kadar belum tinggi maka kondisi pH air AAT pada penelitian ini masih belum tinggi.

4. KESIMPULAN

Hasil dari dosis optimum didapatkan variasi dosis air asam tambang ditambah dengan konsentrasi bakteri 5% dan kapur Ca(OH)_2 sebanyak 0,061 gram dapat menurunkan kadar besi (Fe) dari 6,02 hingga 0,28 dan efisiensi penyisihan sebesar 91,89% dan dapat menurunkan kadar mangan (Mn) dari 7,9 hingga 6,98 dan efisiensi penyisihan sebesar 11,89%.

Hasil dari analisis dosis optimum untuk netralisasi pH air asam tambang dengan pH target 5 dan 6 dengan variasi dosis kapur Ca(OH)_2 sebanyak 0,049 gram untuk pH target 5 dapat menaikkan pH air asam tambang hingga melebihi baku mutu.

Bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)_2 berpengaruh untuk menurunkan kadar Fe dan Mn pada AAT PT. X. Hasil yang didapatkan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)_2 dapat menurunkan kadar Fe hingga 91,89% dan pada pengujian parameter Mn dengan variasi konsentrasi bakteri *Bacillus cereus* dan kapur Ca(OH)_2 dapat menurunkan kadar Mn hingga 11,89% serta dapat menaikkan nilai pH hingga memenuhi baku mutu yaitu 6,60 dan 6,97.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat melalui skema Penelitian Dosen Pemula SK No. 111/E5/PG.02.00.PL/2023 Perjanjian/Kontrak No.7699/IT10.II/PPM.04/2023 untuk mendanai penelitian ini.

KEPUSTAKAAN

- Akinpelu, A. (2021). Performance of Microbial Community Dominated by *Bacillus* spp. in Acid Mine Drainage Remediation Systems: A Focus on the High removal Efficiency of SO_4^{2-} , Al^{3+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , and Sr^{2+} . Bioresource Engineering Research Group (BioERG), Cape Peninsula University of Technology, Cape Town, 8000, South Africa.
- Cappuccino, J. G. & Sherman, N. (2014). Manual Laboratorium Mikrobiologi Edisi Kedelapan. Alih Bahasa: Nur Miftahurrahman. Jakarta: EGC.
- Ehling-Schulz, M., & Messelhäuser, U. (2013). *Bacillus cereus*—from beneficial to deadly. International Journal of Medical Microbiology, 303(6-7), 522-530.
- Fitriyanti. (2016). Pertambangan Batubara : Dampak Lingkungan, Sosial dan Ekonomi. Jurnal redoks. Universitas PGRI Palembang. 1(1)
- Florence, K. (2016). Iron-mineral Accretion from Acid Mine Drainage and Its Application in Passive Treatment. Environmental Technology 1(1), 1-10.
- Hariani. (2016). Combination of CaCO_3 and Ca(OH)_2 as agents for treatment acid mine drainage: MATEC Web of Conferences , 02004.
- Jiang, J. (2019). Identification and degradation characteristics of *Bacillus cereus* strain WD-2 isolated from prochloraz-manganese-contaminated soils: Key Laboratory of Nasihu Lake Wetland Ecosystem & Environment Protection, Qufu Normal University, Qufu, Shandong, China.
- Khairunnisa, K. (2019). Pengaruh Kulit Lengkek (*Euphoria Longan Lour*) yang Dimobilisasi dengan Natrium Silikat Terhadap Penyerapan Ion Logam Cu^{2+} dalam Larutan. Disertasi. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Kiswanto, Susanto, H., Sudarno. 2018. Karakteristik Air Asam Batubara di Kolam Bekas Tambang Batubara PT. Bukit Asam (PTBA). Dalam: Seminar dan Konferensi Nasional IDEC. (2018) Surakarta.
- Kurniawan, S. (2022). Treatment of Real Aquaculture Effluent Using Bacteria-based Biofloculant Produced by *Serratia Marcescens*. Jurnal Mikrobiologi, 1(1), 1-10
- Nadhirawaty, R. (2022). Potensi *Bacillus cereus* dan *Bacillus subtilis* Menurunkan Kandungan Logam Fe dan Mn pada Air Asam Tambang. Politeknik Pertanian Negeri Samarinda: Jurnal Agriment, 7(2), 106-111
- Peraturan Daerah Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pertambangan batubara.

- Peters. (2010). Comparison of Two Optical-Density-Based Methods and a Plate Count Method for Estimation of Growth Parameters of *Bacillus cereus*: Applied And Environmental Microbiology, 1(1), 13991-1405.
- Prianto, F. A. (2016) Rekayasa pengolahan air asam tambang secara pasif menggunakan biomassa serbuk gergaji, kotoran ayam dan bakteri pereduksi sulfat. Institut Pertanian Bogor.
- Said, N. I. & Widayat, W. (2019). Perencanaan dan Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob. Jakarta: Gosyen Publishing.
- Saraswati, S. (2021). Potensi Bakteri Probiotik *Pediococcus Acidilactici* dalam Mereduksi Logam Berat (Pb) Pada Media Susu Skim Secara In Vitro. Disertasi. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Seo, E.Y. (2016). Recovery of Fe, Al and Mn in acid coal mine drainage by sequential selective precipitation with control of pH. Jurnal Mikrobiologi, 1(1), 1-10