

PERBAIKAN SIFAT KIMIA RED MUD(RM) DENGAN MENGUNAKAN BAKTERI PROBIOTIK (IMPROVEMENT CHEMICAL PROPERTIES OF RED MUD (RM) BY USING PROBIOTIC BACTERIAL)

Lelly Marini¹⁾, Susi Hariyani²⁾, Irene Anggraini³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

E-mail: lelly.marini@gmail.com

²⁾Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak

E-mail: Susihariyani73@yahoo.com

³⁾Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak

E-mail: irene_anggraini@ymail.com

ABSTRAK

Red mud (RM) merupakan limbah dari rangkaian proses pertambangan bauksit, dengan jumlah RM yang dihasilkan sekitar 1,2 – 1,4 ton dari setiap 1 ton alumina yang dihasilkan. RM mempunyai sifat kimia yang cukup berbahaya karena selain mengandung banyak logam tak terurai juga mengandung basa kuat dengan diketahui pH nya sekitar 13 – 14. Jika dilepas dalam kondisi asli, RM ini sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan pencemaran air dan tanah di lingkungan sekitar pertambangan serta dapat menimbulkan penyakit bagi manusia. Selama ini penanganan RM adalah dengan dibuat kolam-kolam penampungan ataupun menjadi timbunan lapisan tanah dasar jalan raya di daerah sekitar pertambangan yang memakan biaya tidak sedikit untuk memulihkan keadaan pH mendekati netral sebelum digunakan karena persyaratan untuk dilepas ke lingkungan sekitar nilai pH yang diijinkan adalah minimal 9. Oleh karena itu, pada penelitian disini penulis menggunakan solusi yaitu dengan memanfaatkan aktivitas biologis mikroorganisme bakteri probiotik yang dapat hidup di lingkungan basa dan aman digunakan bagi manusia serta ramah lingkungan. Dengan cara mencampur RM dengan bakteri probiotik yang telah diaktifkan yang selanjutnya akan dilakukan pengamatan langsung sampel serta mengukur nilai pH. Dengan jumlah sampel sebanyak 27 sampel berdasarkan variasi jumlah bakteri probiotik aktif yang dicampurkan serta waktu inkubasi bakteri didapatkan hasil bahwa semakin banyak jumlah bakteri probiotik aktif yang dicampurkan ke RM dan semakin lama waktu inkubasi bakteri maka indikator pH menunjukkan mendekati netral yaitu 8-9. Serta didukung dengan hasil pengamatan langsung yang diamati berdasarkan bentuk, warna, bau dan sentuhan menunjukkan bahwa sifat kimia berbahaya dari RM semakin berkurang.

Kata Kunci: Red mud, Bakteri probiotik, pH

ABSTRACT

Red mud (RM) is waste from a series of bauxite mining processes, with the amount of RM produced around 1.2 – 1.4 tons for every 1 tonne of alumina produced. RM has chemical properties that are quite dangerous because in addition to containing a lot of non-degradable metals, it also contains a strong base with a pH of around 13-14. If released in its original condition, RM is very dangerous because it could cause water and soil pollution in the mining environment and could cause disease in humans. All the time, the handling of RM is by making tailing dam or piling up the subsoil of the highway in the area around the mine which costs a lot of money to restore the pH close to neutral before use because the requirement to be released into the environment around the allowable pH value is a minimum of 9. Therefore, in this study, the author uses a solution, namely by utilizing the biological activity of probiotic bacteria microorganisms, it could live in an alkaline environment and are safe for humans and environmentally friendly. By mixing RM with activated probiotic bacteria which will be carried out direct observation of the sample and measuring the pH value. With a total sample of 27 samples based on variations in the number of active probiotic bacteria mixed and the incubation time of bacteria, the results showed that the more active probiotic bacteria were mixed into the RM and the longer the incubation time of the bacteria, the pH indicator showed close to neutral, namely 8-9. It is also supported by direct observations based on shape, color, smell and touch, showing that the harmful chemical properties of RM are decreasing.

Key words: Red Mud, Probiotic Bacteria, pH

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Provinsi Kalimantan Barat saat ini merupakan salah satu daerah penghasil bauksit yang cukup berkembang pesat pembangunan smelternya. Bauksit merupakan batuan mineral yang menjadi sumber logam aluminium. Menurut pusat data dan teknologi informasi energy dan sumber daya mineral kementerian ESDM tahun 2016, cadangan bauksit di Kalimantan Barat sejumlah 0,84 milyar ton dari total cadangan nasional 1,26 milyar ton. 66,77 % cadangan bauksit nasional ada di Kalimantan Barat [1]. Diharapkan dengan eksplorasi yang agresif, jumlah cadangan akan semakin meningkat.

Untuk mendapatkan logam aluminium, bijih bauksit umumnya diproses dengan cara Proses Bayer yaitu proses yang menggunakan sodium hidoksida yang sudah umum digunakan dan lebih menguntungkan untuk memproduksi alumina (Al_2O_3) murni karena dapat dioperasikan pada suhu yang lebih rendah, endapan yang didapat mudah di saring dan dicuci, dan biaya untuk proses ini terhitung lebih murah dibandingkan dengan proses lainnya [2]. Selain alumina yang didapatkan dari proses Bayer tersebut juga menghasilkan sisa berupa lumpur merah yang dikenal dengan istilah *Red Mud* (RM) yang mempunyai sifat basa kuat yang cukup berbahaya jika tercemar ke lingkungan sekitar. RM yang dihasilkan sekitar 1,2 – 1,4 ton untuk setiap 1 ton alumina yang dihasilkan [3][4][5][6].



Gambar 1. lokasi Unit Bisnis Pertambangan (UBP) Bauksit PT Antam TBK di Kecamatan Tayan, Kabupaten Sanggau, Kalbar

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan dalam usaha mencari solusi untuk menetralkan sifat basa kuat dari RM. Penelitian yang dilakukan dengan mencampurkan RM dengan bahan adiktif kapur [7], ada juga campuran RM dengan kapur dan zeolite [8], campuran RM dan material limbah dari industri kerikil (gravel sludge) [9], campuran RM dengan mineral apatit [10], campuran RM dengan gypsum [11], campuran RM dengan kombinasi lumpur pengolahan air dan gypsum merah [12], campuran RM dengan abu layang sisa pembakaran batu bara [13], dan campuran RM dengan abu bahan bakar bubuk, bubuk cangkang dan Na_2S [5], telah pun dilaporkan. Penelitian-penelitian tersebut bertujuan sama yaitu mencoba mencari solusi untuk menetralkan sifat basa RM dan membuatnya menjadi bahan yang dapat digunakan kembali baik secara aman terhadap lingkungan sekitar, murah dan praktis. Namun kekurangan pada penelitian-penelitian tersebut adalah penggunaan bahan tambah yang tidak sedikit juga biayanya baik dari segi perolehan maupun dari proses sebelum diaplikasikan, cara-cara pemulihan yang kurang praktis selain itu ada juga yang menimbulkan dampak sekunder yang tidak ramah lingkungan dan sebagian besar masih berskala laboratorium.

Dalam penelitian ini penulis mempertimbangkan solusi yang lebih ramah lingkungan, aman, mudah, praktis dan murah yaitu dengan menggunakan bakteri probiotik aktif yang dapat bertahan hidup dalam lingkungan basa kuat, proses pengaktifan bakteri sederhana dan praktis serta bahan tambah juga mudah didapatkan dimana saja sehingga murah. Dengan menggunakan cara biologis diharapkan dapat meminimalisir dampak yang akan mempengaruhi lingkungan serta dapat mengurangi kondisi berbahaya akibat RM terhadap kesehatan dan lingkungan. Alasan utama digunakannya bakteri probiotik adalah bakteri tersebut aman digunakan dan tidak akan menimbulkan penyakit yang berbahaya bagi manusia maupun dampak negative bagi lingkungan. Proses yang dilakukan juga tergolong mudah diaplikasikan karena dengan bahan yang mudah didapat dan murah dari segi biaya, baik untuk proses pengaktifan bakteri maupun dalam masa inkubasi.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Sifat-sifat kimia apa saja yang membahayakan dari RM bagi kesehatan maupun lingkungan sekitar?
- Adakah perbedaan sifat kimia sebelum dan sesudah mencampur bakteri probiotik aktif ke dalam RM?
- Apakah ada dari sifat-sifat kimia yang membahayakan dari RM tersebut berkurang atau hilang?

Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental sehingga akan dilakukan pengamatan antar variable sebelum dan sesudah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dapat mengetahui sifat-sifat kimia RM yang dapat membahayakan kesehatan maupun lingkungan sekitar.
- Dapat mengetahui apakah ada perbedaan yang terjadi akibat pencampuran bakteri probiotik aktif ke dalam RM.
- Dapat mengetahui sifat-sifat kimia yang berbahaya dari RM apakah dapat dikurangi maupun dihilangkan.

Hipotesis

Untuk mengetahui apa saja variable yang diamati dalam penelitian ini, maka penulis membuat beberapa hipotesis yang akan dijawab hasilnya pada akhir dari penelitian. Adapun beberapa hipotesis tersebut adalah sebagai berikut:

- Sifat basa kuat terjadi akibat dari proses Bayer.
- Bakteri probiotik aktif yang digunakan dapat bertahan hidup dalam kondisi basa kuat di RM.
- Dengan dicampurnya bakteri probiotik aktif tersebut akan menghasilkan pH mendekati netral pada RM.

Rancangan Penelitian

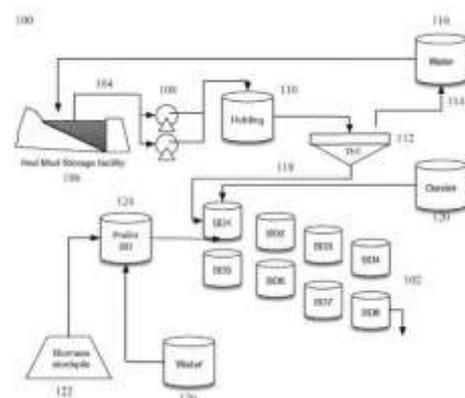
Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan studi literatur dan metode eksperimen. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik penelitian yang selanjutnya dijadikan sebagai referensi. Sedangkan metode eksperimen akan dilakukan pengujian pada 2 kondisi yaitu pada

kondisi asli atau kondisi RM yang baru diambil dari lokasi pertambangan dan kondisi RM setelah dicampur bakteri probiotik aktif. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan cara pengamatan panca indera langdung dari segi bentuk, warna, bau dan sentuhan serta pengukuran pH dengan menggunakan kertas indicator pH sebagai petunjuk sifat asam basa dari RM.

TINJAUAN PUSTAKA

Bioremediasi RM

Pada penelitian ini yang menjadi ulasan utama adalah sifat kimia dari RM yang dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan sekitar pertambangan yang akan diubah dengan menggunakan bakteri probiotik aktif yang akan dicampurkan ke dalam RM [14][15]. Untuk menjadi acuan dan perbandingan dalam penelitian ini adalah sebuah paten yang bernomor US 2020 0148569A1 yang berjudul “Bioremediation of Red Muds” [16]. Dalam penelitiannya menggunakan RM yang berasal dari 2 lokasi yang berbeda yaitu Alpart (Red Mud Karibia 1 dengan pH 11,1) dan Jamaica (Red Mud Karibia 2 dengan pH 12,3). Untuk bahan organik pengaktif bakteri yaitu Lucerne hay (tanaman ternak sapi) dan ampas tebu yang dikeringkan dengan oven suhu 65° selama 72 jam, selain itu juga ditambahkan molase, beras merah, dan ekstrak vitamin dan gula lainnya yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memunculkan bakteri sebagai agen pengubah. Setelah bakterinya tumbuh dan berkembang aktif selanjutnya dicampurkan ke sampel RM [16].



Gambar 2. ilustrasi dari proses pengolahan RM sesuai paten ini menggunakan kereta bio-digester tangki berpengaduk [16].

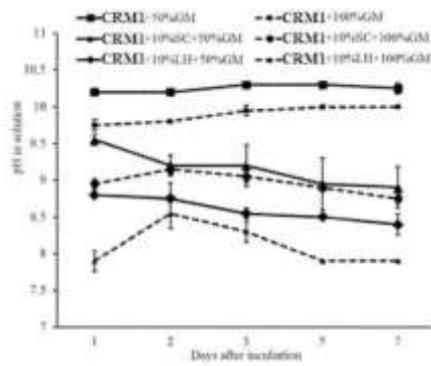
Dalam paten tersebut terdapat beberapa kesimpulan yang menjadi hasil penelitiannya, diantaranya seperti dibahas berikut ini. Pengurangan pH RM yang diubah menggunakan bahan organik disebabkan oleh produksi asam organik (yaitu asam laktat dan asam asetat) dari dekomposisi (perubahan menjadi bentuk yang lebih sederhana) dari bahan organik yang ditambahkan, yang bereaksi dengan ligan (molekul sederhana) basa di dalam RM. Meskipun hasil asam organik terbatas, kehadirannya konsisten dengan proses fermentasi di bawah kondisi anoksik dalam sistem bio-reaksi dan adanya mikroba dominan. Level tertinggi asam laktat dan asetat terdeteksi pada Hari ke-1 pemberian larutan organik (Molase MS dan Glukosa GC), yang bertepatan dengan penurunan pH terbesar pada hari yang sama. Sebaliknya, media tumbuh Lucerne Hay LH dan Ampas Tebu SC tampaknya menghasilkan lebih lama efek penetral yang bertahan lama, tetapi pada intensitas yang lebih rendah.

Agen-agen pengubah dengan larutan organik (MS, GC dan bahan organik biomasa (LH, SC) secara signifikan menurunkan pH sebesar 1,5-3,0 unit di RM Karibia 1 dan 0,5-1,0 unit di RM Karibia 2 setelah 5-14 hari inkubasi. Larutan organik (MS dan GC) menghasilkan jumlah asam asetat terbesar pada hari ke-1, bertepatan dengan menghasilkan pengurangan pH, tetapi efek ini tidak bertahan seterusnya, sementara bahan organik padat tampaknya menghasilkan efek netralisasi yang berlangsung lebih lama. Kegunaan dari media tumbuh dalam sistem bioremediasi hidupnya singkat dan terbatas, jika bahan organik padat (misalnya, LH dan SC) digunakan dalam remediasi [16].

Dalam percobaan pendahuluan jangka pendek (hingga 7 hari) dalam kondisi anoksik (padat:larutan = 1:1), pH di RM Karibia 1 turun menjadi sekitar 8,0 dalam 5-7 hari perawatan dengan 10% (b/b) Lucerne hay (LH) (sebelumnya diinkubasi dengan inokulum tanah selama 24 jam sebelum digunakan), tetapi pHnya hanya sampai 9,0 dengan 5% LH. Mulsa tebu (10 % b/b) kurang efektif dibandingkan LH dalam menurunkan pH RM, menghasilkan penurunan pH dari sekitar 10,5 menjadi sekitar 9,0 dalam 7 hari di

RM Karibia 1. Di percobaan hari ke-14 berikutnya, efektivitas SC dan LH (dipreinkubasi selama 18 hari dengan inokulum tanah sebelum digunakan) muncul serupa di RM Karibia 1, menurunkan pH dalam larutan pasta (atau air pori) menjadi sekitar 9,0. Sebaliknya, di RM Karibia 2 yang lebih basa, SC dan pengubah LH hanya menghasilkan 0,5-1,0 unit pH reduksi, dengan larutan pH 10 dan 9,5 pada hari ke-14, masing-masing secara aktif. Tanpa ingin terikat oleh teori, perbedaan penting dalam efektivitas netralisasi pH antara jangka pendek (5-7 hari) dan jangka panjang (14 hari) eksperimen diperkirakan disebabkan oleh (1) menipisnya asam/molekul organik dalam SC dan LH yang telah dipreinkubasi untuk 18 hari karena respirasi mikroba dan konsumsi C, (2) penipisan/ketidakeimbangan beberapa faktor pertumbuhan dan (3) gabungan komposisi komunitas mikroba dan dominasi mikroba fungsional untuk produksi asam organik.

Perilaku buffering pH yang kuat ditunjukkan dalam RM, sebagai tanggapan terhadap perawatan, karena adanya alkalinitas tinggi dalam larutan, yang sudah ada sebelumnya (misalnya, dalam kasus RM Karibia 2) dan terus diisi ulang dari pemisahan sodalite di RM (misalnya, dalam kasus RM Karibia 1 dan RM Karibia 2). Ini diusulkan dengan kecepatan pemulihan pH di RM Karibia 1 setelah hari ke-1 dan kecilnya pengurangan pH sebagai respons terhadap bahan organik sebagai pengubah selama 14 hari. Sampel RM dari Alpart (RM Karibia 1) dan Jamalco (RM Karibia 2) bendungan kaya akan mineral lempung (Al/Fe oksida) dan salinitas tinggi, sodisitas dan alkalinitas, dengan pH sekitar 10,5. Namun, RM Karibia 2 mengandung larutan Na yang tingkatnya jauh lebih tinggi (10,2% dalam larutan pasta), yang mungkin menjadi salah satu faktor yang berkontribusi pada kapasitas buffer pH lebih kuat dari RM Karibia 1, dan total logam(loid)s (misalnya, As, Pb, dan Zn) dan proporsi yang lebih tinggi Al-oksida, dibanding RM Karibia 1 (3,8% larutan Na dalam larutan pasta).



Gambar. 3 menunjukkan perubahan pH dalam larutan pasta RM Karibia 1 diubah dengan Lucerne hay dan ampas tebu yang disiram dengan 125 (50 %) dan 250 ml (100 %) medium pertumbuhan (GM) dalam uji pendahuluan selama periode 7 hari [16].

Meskipun kondisi yang tidak menguntungkan di RM, banyak kelompok bakteri terdeteksi tetapi rendah kelimpahan, seperti *Alkalibacterium*, *Enterobacter* dan *Klebsiela*. Namun, keragaman dan kelimpahan bakteri dan jamur yang mengkatalisis dekomposisi bahan organik tidak muncul di RM, kecuali diubah dengan LH atau SC (membawa mikroba alami) dan diinokulasi dengan tanah mikroba. Komunitas mikroba di kedua RM Karibia 1 dan Karibia 2 sangat didominasi oleh *Gammaproteobacteria* dan spesies toleran, yang tidak berubah secara signifikan dalam RM diubah dengan larutan pengubah organik (misalnya, molase dan glukosa dalam penelitian ini). Komposisi dan sifat bahan organik padat (LH dan SC) yang digunakan dalam RM yang diubah secara signifikan mengubah keragaman, kelimpahan dan dominasi mikroba dalam sistem bioreaksi. Pengubah Luzern hay dan ampas tebu meningkatkan keanekaragaman spesies, kekayaan dan pemerataan di RM yang diubah, terutama di waktu awal selama 3 hari pertama (untuk kedua RM Karibia 1 dan Karibia 2). Tanpa ingin terikat menurut teori, penemunya berpandangan bahwa ini terkait dengan sifat biokimia LH (misalnya, rasio C:N). Kelimpahan jamur dan bakteri secara signifikan bertambah di RM yang diubah dengan ampas tebu (untuk kedua RM Karibia 1 dan Karibia 2).

Komposisi dan sifat bahan organik yang digunakan dalam pengubah RM secara signifikan mengubah keanekaragaman, kelimpahan dan dominasi mikroba di sistem bioreaksi. Penambahan larutan bahan organik (yaitu, glukosa (sebagai pengganti Dunder), molase) tidak mengubah struktur dan komposisi komunitas mikroba dalam RM, tetapi sangat meningkatkan kelimpahan *Gammaproteo* bakteri. Sebaliknya, pengubah SC dan LH relative meningkatkan kelimpahan *Firmicutes*, *Actinobacteria*, bakteroidet, dan jamur. Dalam RM yang diubah dengan yang larutan organik (MS, GC), bakteri yang mengkatalisis OM-degradasi, *Enterobacter* sp. dan bakteri pembentuk biofilm, *Serratia* sp. adalah spesies dominan dalam komunitas mikroba. Dalam pengubah RM, SC dan LH, spesies yang melimpah termasuk bakteri pengurai bahan organik (misalnya, *Lysobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Nocardiosis* sp.), bakteri toleran (misalnya, *Alkalibacterium* sp., *Enterobacter* sp., *Pseudohongi ella* dan *Stenotrophomonas* sp.), bakteri yang hidup diakar tanaman (misalnya, *Streptomyces* sp., *Aspergillus* sp.), dan jamur. Di dalam pengubah RM, LH dan SC, kelimpahan *Betaprobacteria*, *Firmicutes* dan *Actinobacteria* meningkat dan kelimpahan *Gammaproteo* yang toleran (patogen) bakteri menurun dengan perjalanan waktu inkubasi. Begitupula, hal ini tidak terjadi pada pengubah RM berupa larutan organik.

Mengingat hal di atas, percobaan-percobaan tersebut telah menunjukkan bahwa bio-netralisasi melalui pemulihan mikroba dekomposisi bahan organik sangat efektif menurunkan pH dalam RM, tapi besaran pH yang direduksi bervariasi dengan mineralogy dan geokimia RM, sifat dan komposisi bahan organik serta komposisi dan fungsi komunitas koloni mikroba dalam system bio-reaksi. System bioreaksi terlihat menjadi anoxic dan proses fermentasi terlihat lebih unggul [17][18][19].

Dekomposisi bahan organik sebagian besar bergantung pada rekolonisasi bakteri organotrofik yang toleran terhadap alkalinitas

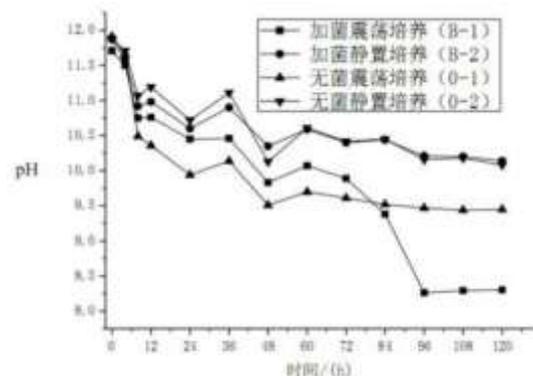
dan salinitas (kadar garam) yang menguraikan bahan organik menjadi asam organik dan molekul dengan ligan (molekul sederhana) fungsional, dibandingkan bakteri litotrofik yang menggunakan substrat anorganik (seperti: yang ada di RM segar tanpa nutrisi dan karbon organik, terutama *Bacillus* pembentuk spora dan *Lactobacillus* pembentuk nonspora) [20][21].

Secara keseluruhan dalam paten tersebut, faktor kunci yang mempengaruhi efek bionetralisasi dari pengubah organik dapat mencakup (1) sifat dan komposisi bahan organik (2) kelimpahan mikroba fungsional dalam inokulum tanah dan pengubah RM yang toleran terhadap alkalinitas dan salinitas tinggi, oksigen rendah dan fungsional dalam produksi asam organik, dan (3) mineralogi dan geokimia RM yang bersangkutan.

Dapat dipahami bahwa penemuan itu diungkapkan dan didefinisikan dalam spesifikasi ini mencakup semua alternative kombinasi dari dua atau lebih fitur individu yang disebutkan atau terbukti dari teks atau gambar. Semua kombinasi yang berbeda ini merupakan berbagai aspek alternative dari penemuan. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat mencari sumber pengubah dan cara maupun metode yang lebih sederhana dan praktis tentunya diharapkan akan mendapatkan hasil yang lebih baik dari paten ini.

Selain itu sebagai referensi dalam penelitian ini digunakan juga paten dengan nomor CN 107309270 A, yang berjudul "Application of a BB strain in reducing the pH value of red mud" [22]. Dalam paten tersebut digunakan strain *Pannonibacter phragmitetus* BB, Bakteri *Pannonibacter phragmitetus* BB (selanjutnya disebut bakteri BB) dari pabrik garam kromium Changsha asli di Kota Changsha, Provinsi Hunan yang diisolasi dari tanah dan nomor pelestariannya adalah CGMCC No. 3052, dan tempat pelestariannya adalah pelestarian dan pengelolaan strain mikroba umum di Cina. Pusat dan waktu pelestarian adalah 5 Mei 2009. Hasil dari penelitiannya memberikan beberapa

kesimpulan berikut. Penerapan galur BB dalam menurunkan nilai pH RM ditandai dengan asam oksalat dan asetat yang dihasilkan oleh metabolisme galur BB. Aplikasi strain bakteri BB dalam menurunkan nilai pH RM dimana RM dan rasio cairan pengubah yang mengandung bakteri BB adalah 1 g : 2 ml. Media kultur tubuh pertama terdiri dari 3,0 g/L glukosa; 5,0 g/L ekstrak ragi dan 3 g/L NaCl, dan sisanya adalah air. Media kultur tubuh kedua terdiri dari 2,5-15 g/L glukosa; 1,5-9 g/L ekstrak ragi, dan sisanya adalah air. Invensi ini menggunakan metabolisme bakteri BB mikroorganisme toleran garam untuk meningkatkan RM, yang memiliki lingkungan yang sangat basa untuk RM. Bakteri ini memiliki toleransi yang kuat, yang dapat mengurangi nilai pH RM lebih dari 3 unit, dan pada saat yang sama dapat secara efektif meningkatkan kandungan bahan organik dalam RM sebagai dasar untuk restorasi ekologi berikutnya. Metode ini tidak perlu menggunakan reagen kimia atau energy, biayanya rendah, dan tidak akan menyebabkan pencemaran sekunder RM merupakan metode remediasi yang ramah lingkungan. Ekstrak ragi dalam media kultur digunakan sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhan bakteri BB, dan glukosa digunakan sebagai pertumbuhan bakteri BB.



Gambar 4. Grafik yang menunjukkan perubahan nilai pH kedua medium cair selama kultivasi bakteri BB [22].

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, seluruh kultur selama proses tersebut, perubahan pH pada perlakuan 0-2

dan B-2 dari kultur statis hampir sama, dan akhirnya keduanya stabil pada 10,1. Dari pertumbuhan bakteri BB berdasarkan analisis kurva, perlakuan pengocokan berpengaruh besar terhadap bakteri BB, karena perlakuan B-2 penambahan bakteri dan kultur statis sedang dalam proses kultur. Bakteri BB tidak tumbuh dalam jumlah besar, dan nilai pH-nya tidak turun secara signifikan. Dan perawatan B-1 dengan kultur pengocok yang ditambahkan bakteri, setelah periode adaptasi 72 jam Kemudian, dengan proliferasi bakteri BB, nilai pH-nya mulai turun dengan cepat, turun menjadi 8,3 pada 96 jam, dan kemudian stabil. Kultur pengocokan aseptik Nilai pH 0-1 turun dari 11,91 menjadi 9,61 antara 0-72 jam, dan kemudian stabil.

Kolom kromatografi adalah ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1×100mm, 1.8µm) (id, Waters, USA), fase gerak untuk larutan buffer KH₂PO₄ (asam fosfat 1,0mol·L⁻¹ untuk mengatur pH menjadi 2,0) dan asetonitril. Prosedur elusi gradien adalah sebagai berikut: 0~3.5 menit, larutan buffer KH₂PO₄ 99%; 3.5 ~ 4.0min, larutan buffer KH₂PO₄ dikurangi menjadi 80%; 4.0 ~ 5.5min, tambahkan Laju reduksi larutan buffer KH₂PO₄ yang cepat, berkurang dari 80% menjadi 20%; 5,5~15,0 menit, tingkatkan proporsi larutan buffer KH₂PO₄ Untuk 99%. Laju aliran 0,07ml·min⁻¹, volume injeksi 10µL, panjang gelombang deteksi UV 210nm, dan suhu kolom 30°C.

Deteksi dalam pengocokan kultur media tumbuh ada tiga asam: asam oksalat, asam asetat dan asam sitrat. Hanya asam oksalat dan asam sitrat yang terdeteksi selama kultur statis. Produksi asam secara signifikan meningkatkan kultur. Kandungan bahan organik dalam media nutrisi. Kandungan asam oksalat lebih tinggi dalam dua metode kultur, tetapi selama proses kultur kocok keseluruhan, kandungan asam oksalat internal lebih tinggi daripada kultur statis; kandungan asam sitrat lebih rendah dalam dua metode kultur, dan tren keseluruhan meningkat.

Keberadaan asam asetat juga terdeteksi dalam kultur pengocokan, tetapi kandungannya nol pada 72 jam pertama, dan asam asetat baru terdeteksi setelah 72 jam. Dengan adanya, kandungannya tetap stabil pada 1,33 mg/L sampai akhir kultur. Selama seluruh proses kultur, kultur dikocok dan kultur statis Kandungan asam total terus meningkat, dan kandungan asam total dalam kultur pengocokan lebih tinggi daripada kultur statis.

Pertumbuhan bakteri BB perlu dilakukan dalam kondisi dikocok. Hal ini disebabkan oleh reaksi bersama asam oksalat dan asam asetat yang dihasilkan selama proses pertumbuhan. Oleh karena itu, bakteri BB dapat digunakan untuk menurunkan pH RM. Dalam aplikasi praktis, bakteri BB tidak mungkin tumbuh di RM dalam kondisi dikocok, sehingga bakteri BB dipilih untuk berada di tempat budidaya pertama. Setelah ditumbuhkan dalam media cair dalam jangka waktu tertentu, kemudian baru ditambahkan RM [13].

Selain itu, dengan mengukur kandungan bahan organik dalam ketiga jenis RM diatas, kandungan bahan organik dalam RM terendah mencapai 1,17% dan tertinggi mencapai 1,96%. Dibandingkan dengan kandungan bahan organik 1,13% pada RM sebelum perbaikan, RM setelah perbaikan Kandungan bahan organik total lumpur meningkat sebesar 73,45% paling tinggi. Kurangnya bahan organik dalam RM merupakan faktor pembatas utama bagi pertumbuhan tanaman [13].

Bahan organik tidak hanya dapat memberikan kesuburan, tetapi juga bertindak sebagai agen penyemen utama, yang dapat menstabilkan struktur aglomerat di RM dan meningkatkan sifat fisik substrat RM mendukung pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penggunaan bakteri BB sebagai pengubah RM dapat digunakan untuk perbaikan ekologi selanjutnya yang memberikan kenyamanan dan memiliki keuntungan yang jelas. Dari paten tersebut telah memberikan sebuah dasar perumusan

sebuah solusi bahwa dengan menggunakan mikroorganisme sebagai agen dan bahan organik sebagai media tumbuh atau budidaya dapat memperbaiki sifat kimia yakni menurunkan pH dari RM secara signifikan dan tidak membatasi untuk penelitian selanjutnya mengeksplorasi mikroorganisme dan bahan organik lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan metode yang mungkin dapat lebih sederhana dan mudah didapatkan dalam arti murah dari segi biaya. Hal inilah yang menjadi pertimbangan bagi penulis untuk mencari bagaimana solusi untuk menggunakan metode yang lebih sederhana dalam membuat bakteri yang memang terbukti berperan besar sebagai agen pemulih, tidak membahayakan manusia sebagai pengguna dan yang terpenting adalah dapat tumbuh dan berkembangbiak di kondisi basa kuat sehingga tujuan dari perbaikan sifat pH ini dapat mendekati netral dapat tercapai. Karena itulah dipilih bakteri probiotik yang benar-benar aman dan memang sudah tersedia dalam bentuk yang mudah didapat sebagai agen pemulih dan biasa digunakan di bidang pertanian, perikanan dan peternakan. Dengan metode yang lebih sederhana diharapkan dapat diaplikasikan oleh siapapun dengan mudah dan praktis tanpa harus menggunakan laboratorium terlebih dahulu tetapi dapat langsung dilakukan di area pertambangan terutama di kolam-kolam penampungan limbah RM.

METODOLOGI

Pada bagian ini menjelaskan tentang lokasi dan waktu penelitian, macam/sifat penelitian, teknik pengumpulan data, serta metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini.

Lokasi Penelitian

Berhubung dikarenakan penelitian ini berlangsung dalam kondisi Pontianak berada di zona merah dan PPKM Darurat COVID 19 sehingga diputuskan bahwa lokasi penelitian dilakukan di dua tempat berbeda. Dan dikarenakan kondisi khusus tersebut

membatasi gerak dan ruang untuk melakukan penelitian hanya dapat dirancang secara sederhana tetapi hasilnya cukup dapat dipertanggungjawabkan. Lokasi pertama yaitu di rumah ketua peneliti, sedangkan lokasi kedua adalah Laboratorium Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Pontianak Kalimantan Barat.

Waktu Penelitian

Waktu penelitian dimulai di bulan Juni hingga bulan Juli 2021. Pengamatan yang dilakukan dirancang meliputi dua kondisi yaitu kondisi sampel asli dan kondisi sampel setelah diberi bakteri. Pengamatan pertama dilakukan tidak lama setelah sampel diambil dari lokasi karena menjaga sifat dari sampel tidak banyak berubah yaitu pada bulan Juni 2021. Selanjutnya untuk pengamatan kedua dilakukan dengan variasi waktu fermentasi sampel setelah diberi bakteri probiotik aktif hari ke-7 dan ke-28 yaitu pada bulan Juli 2021.

Macam/Sifat Penelitian

Material/Bahan

Red Mud (RM)

Red mud (RM) atau limbah bauksit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. ICA (*Indonesia Chemical Alumina*) yang bertempat di Tayan, Kabupaten Sanggau Kalimantan Barat. Perusahaan ini akan memproses cadangan Bauksit Antam untuk memproduksi 300.000 ton CGA (Chemical Grade Alumina) per tahun. Produk CGA ini akan diekspor ke Jepang dan negara-negara lain, dan juga untuk dijual di pasar domestik Indonesia. Perkiraan dari RM yang dihasilkan adalah 750.000 ton, jumlah yang sangat besar dan perlu tindakan serius untuk mengelola limbah agar aman. Sampel RM diambil langsung dari lokasi pertambangan yang kemudian dibagi untuk 2 kondisi yaitu kondisi asli dan kondisi berbakteri. Pada sampel kondisi asli dengan secepatnya diamati oleh peneliti sebelum diberikan perlakuan apapun. Untuk sampel berbakteri sebelumnya dilakukan terlebih dahulu tindakan pengaktifan bakteri sebelum dicampur ke sampel RM.

Selanjutnya waktu inkubasi diambil dua variasi yaitu pada hari ke-7 dan hari ke-28.

Bakteri Probiotik

Bakteri probiotik yang digunakan adalah produk jadi yang biasa digunakan sebagai pupuk untuk pertanian, perikanan dan peternakan. Kandungan dari pupuk tersebut merupakan bakteri probiotik yang bermanfaat yang terdiri dari bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, ragi, aktinomydetes, dan jamur peragian. Penelitian yang dilakukan disini adalah berdasarkan pengamatan secara langsung terhadap sampel dan kertas indikator pH.

Teknik Pengumpulan Data

Data yang diambil selama penelitian berlangsung merupakan data primer. Selain itu data sekunder juga digunakan sebagai referensi atau pembanding untuk data yang diambil selama pengamatan. Dalam penelitian ini, untuk teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif yang diambil adalah nilai pH untuk dua kondisi sampel. Selanjutnya untuk data kualitatif yang diamati pada kedua sampel adalah dari bentuk, bau, warna, dan rasa pada kulit.

Sampel yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan berat dari limbah Red Mud untuk keseluruhan adalah sama yaitu 200 gram dan diatur berdasarkan jumlah variasi bakteri probiotik yang diberikan serta waktu lamanya fermentasi yang dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 1. Variasi sampel

No.	Nama	Jumlah	Berat Bakteri	Lama Fermentasi
1.	RM	3	0	0
2.	A1	3	25 ml	7 hari
3.	A2	3	50 ml	7 hari
4.	A3	3	75 ml	7 hari
5.	A4	3	100 ml	7 hari
6.	B1	3	25 ml	28 hari
7.	B2	3	50 ml	28 hari
8.	B3	3	75 ml	28 hari
9.	B4	3	100 ml	28 hari
Jumlah		<u>27 sampel</u>	<u>1500 ml</u>	

Teori Dasar pH

pH yang merupakan singkatan dari *potential of Hydrogen* atau *power of Hydrogen* adalah derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. Jangkauan nilai pH adalah 0 – 14. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $pH > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $pH < 7$ menunjukkan keasaman. $pH = 0$ menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan $pH = 14$ menunjukkan derajat kebasaan tertinggi. Untuk mengukur nilai pH dalam penelitian ini digunakan kertas indikator universal. Kertas ini berupa kertas serap berbentuk strip dan tiap kotak kemasan indikator dilengkapi dengan peta warna. Caranya adalah dengan mencelupkan sehelai kertas indikator ke dalam sampel yang akan diukur pH nya. Jika kertas berubah menjadi merah, berarti sampel tersebut asam, jika berwarna biru maka sampel tersebut basa.

Basa

Basa adalah suatu zat yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidroksida (OH^-) sehingga rumus kimia basa selalu mengandung senyawa OH. Sifat licin dan rasanya yang pahit merupakan cara mudah untuk mengenali zat basa. Kekuatan suatu basa dapat ditentukan dari kemampuannya melepaskan ion hidroksida yang bermuatan negative (ion OH^-) ketika dilarutkan dalam air. Semakin banyak ion OH^- yang dilepaskan, semakin kuat sifat basanya. Basa yang larut dalam air disebut alkali. Berdasarkan kekuatannya, basa dibedakan menjadi basa lemah dan basa kuat. Makin besar nilai pH-nya, maka semakin kuat basa tersebut. Basa lemah memiliki pH sekitar 9 – 11, sedangkan basa kuat memiliki pH dari 12 hingga 14. Secara umum ciri dari basa adalah pH-nya lebih dari 7, bersifat pahit, korosif atau kaustik dapat merusak jaringan kulit / iritasi, dan licin atau menyebabkan gatal bila disentuh.

HASIL DAN ANALISIS

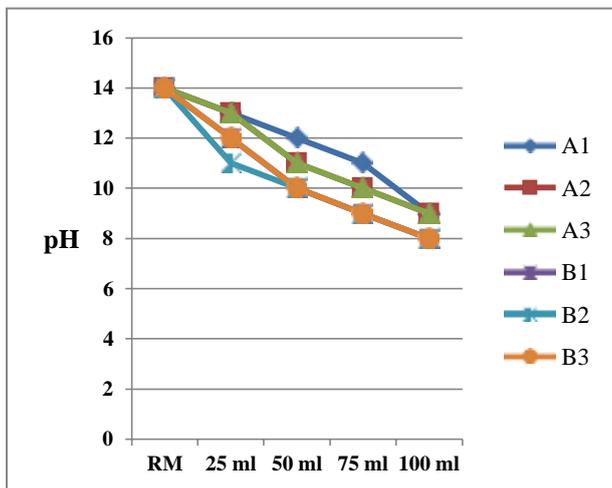
Sampel disiapkan dalam dua kondisi yaitu kondisi asli tanpa perlakuan apapun dan kondisi diberi bakteri probiotik aktif. Pengamatan yang dilakukan adalah dengan menggunakan kertas indikator pH dan

pengamatan secara langsung terhadap bentuk, warna, bau dan sentuhan. Untuk data kuantitatif berupa nilai pH dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran pH

Sampel	RM	25 ml	50 ml	75 ml	100 ml
A1 (7 hari)	14	13	12	11	9
A2 (7 hari)	14	13	11	10	9
A3 (7 hari)	14	13	11	10	9
B1 (28 hari)	14	12	10	9	8
B2 (28 hari)	14	11	10	9	8
B3 (28 hari)	14	12	10	9	8

Hasil pengukuran nilai pH diatas dapat terlihat lebih jelas pada gambar grafik dibawah ini:



Gambar 5. Grafik nilai pengukuran pH

Pada table 2 maupun gambar 5 terlihat bahwa dari kondisi asli RM sebelum diberi bakteri dan kondisi RM setelah diberi bakteri probiotik aktif mendapat nilai pH turun yang cukup signifikan. Pada kondisi inkubasi bakteri 7 hari dan 28 hari, nilai pH semakin menunjukkan cenderung terus turun. Hal ini dapat membuktikan bahwa dengan adanya bakteri probiotik aktif pada limbah RM dapat menurunkan nilai pH dari yang termasuk basa kuat hingga mencapai basa lemah dan semakin mendekati angka netral pada waktu inkubasi 28 hari yaitu 8.

Selain itu, hal ini juga didukung oleh pengamatan langsung yang menunjukkan bahwa kondisi asli limbah RM merupakan basa kuat dengan nilai pH=14, selain itu dari bau yang agak tajam serta disentuh dengan tangan terasa licin dan gatal. Ciri ini merupakan ciri basa kuat yaitu bersifat kaustik

licin, merusak kulit dan membuat iritasi. Kondisi setelah limbah RM diberi bakteri probiotik aktif, selain nilai pH yang semakin turun, bau juga semakin berkurang, serta pada saat disentuh tangan tidak terasa licin dan gatal, hal ini terjadi di hari ke-7 maupun hari ke-28. Walaupun dari segi bentuk dan warna tidak terlalu banyak berubah, karena bakteri yang diberikan juga berupa larutan sehingga tetap membuat kondisi lumpur lembek semakin lembek dan warna agak bertambah kehitaman karena disebabkan oleh warna dari bakteri probiotik aktif adalah coklat kehitaman.



Gambar 6. Sampel yang sudah berbakteri

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan yang didapat untuk kondisi sampel asli dari bentuk adalah lumpur padat jika terkena air mudah tercampur dan meresap kedalam tanah, warna kemerahan, berbau tajam, jika dipegang terasa licin dan membuat gatal dan iritasi, jika tercemar masuk ke sumber air maka sangat berbahaya jika digunakan oleh masyarakat karena dapat menyebabkan penyakit kulit dan penyakit dalam. Selain itu tanah yang tercemar akan menyebabkan tanaman mati dan sulit untuk tumbuh dalam kondisi tanah basa kuat. Dan apabila limbah RM ini terbawa sampai ke sungai maka ikan-ikan yang hidup di sungai tersebut akan terakumulasi oleh logam-logam tertentu dari limbah dan akan menjadi penyakit jika dikonsumsi oleh manusia.

Warna merah pada RM menunjukkan akibat tingginya kadar besi oksida dalam kandungan limbah. Kadar besi yang berlebihan dapat menghambat fiksasi unsur lainnya. Bau yang dihasilkan juga sangat menusuk dan perlu diuji lagi apakah bau tersebut dapat menjadi polusi udara atau menjadi racun jika tercium secara terus menerus. Untuk

pengukuran nilai pH dengan menggunakan kertas indikator pH menunjukkan bahwa sampel kondisi asli ini nilai pH-nya 13 – 14. Nilai ini menunjukkan bahwa sampel termasuk basa kuat yang sangat berbahaya jika lepas ke sungai ataupun lingkungan sekitar area pertambangan karena dapat mencemari.

Pada sampel yang telah diberi bakteri pada hari ke-7 nilai pH yang diukur menunjukkan berkurang hingga 1–5 poin. Terlihat dari table 2 maupun gambar 5 dengan mencampurkan sampel RM dan larutan bakteri akan menghasilkan penurunan poin yang lebih besar pada penambahan larutan bakteri yang lebih banyak. Sehingga dengan menggunakan cara ini menunjukkan bahwa dengan mencampur bakteri probiotik aktif ini ke sampel RM dapat menurunkan nilai pH cukup signifikan. Dari bentuk tidak banyak berubah karena penambahan bakteri yang berupa larutan hanya menambah bentuk limbah lumpur padat menjadi lumpur padat agak encer. Hal ini disebabkan karena sampel berada pada tempat yang tertutup dan berongga, mungkin dapat menjadi saran untuk penelitian lebih lanjut untuk membuat kondisi sampel lebih terbuka sehingga memberi kesempatan untuk kontak dengan udara luar dan dapat mengering dengan sendirinya. Bau yang dikeluarkan sudah tidak terlalu menyengat seperti kondisi semula tetapi masih tercium sedikit. Warna sampel yang berbakteri ini agak lebih kehitaman dikarenakan larutan bakteri berwarna coklat kehitaman, sehingga sedikit banyak mempengaruhi warna merah asal dari RM menjadi lebih coklat. Dari sentuhan, di tangan terasa tidak terlalu licin jika dibanding dengan kondisi sampel asli, dan tidak terasa gatal atau iritasi lagi. Hal ini disebabkan karena sifat basa pada RM yang berbakteri ini menjadi basa lemah hingga mendekati pH netral. Sehingga ciri-ciri basa kuat yaitu bersifat kaustik dan korosif yang dapat merusak jaringan kulit telah pun berkurang.

Selanjutnya pada sampel RM yang berbakteri pada waktu inkubasi hari ke-28 pengamatan nilai pH semakin berkurang 1-2 poin dari nilai sebelumnya walaupun waktu pengamatan berlangsung lebih lama, ternyata proses pemulihan pH tersebut juga masih berlangsung dan nilai penurunannya semakin kecil. Dari bentuk dan warna tidak terlalu banyak perubahan, tetapi dari bau yang semula masih tercium, pada sampel dengan inkubasi

bakteri ke-28 hari ini tidak ada lagi. Begitu pula pada penciuman jarak dekat, bau sudah menghilang. Ketika disentuh tangan tidak ada terasa licin dan gatal-gatal lagi. Sehingga pada saat pengujian tanpa menggunakan sarung tangan, tidak ada terjadi apa-apa yang mengkhawatirkan, mencuci tangan juga tidak ada masalah licin membekas ataupun terkontaminasi dari bakteri, semuanya bersih.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas maka peneliti dapat menyimpulkan beberapa pernyataan berikut. Limbah RM merupakan limbah yang cukup berbahaya jika mencemari tanah dan air pada lingkungan sekitar pertambangan. Karena sifat kimianya yang terbukti basa kuat yaitu yang mempunyai sifat kaustik, korosif dapat merusak jaringan kulit manusia, gatal-gatal maupun iritasi selain itu pencemaran juga mengganggu ekosistem baik di air maupun di darat.

Setelah sampel RM diberi bakteri probiotik aktif, maka sifat basa kuat tersebut berubah menjadi basa lemah ataupun mendekati netral dibuktikan dengan perubahan nilai pH yang berkurang sekitar 1-5 poin pada hari ke-7 inkubasi bakteri berbanding lurus dengan jumlah larutan bakteri yang diberikan. Dan terus menurun pada hari ke-28 walaupun nilainya semakin kecil yaitu turun sekitar 1-2 poin lagi dari kondisi sebelumnya. Jumlah sampel dengan larutan bakteri untuk pencampuran jika menginginkan nilai pH turun dengan poin lebih banyak adalah 2 : 1, terbukti pada sampel RM 200 gram dan larutan bakteri 100 ml, nilai pH berkurang dari 14 menjadi 9 pada hari ke-7 menurun lagi menjadi 8 pada hari ke-28. Dengan berubahnya sifat menjadi basa lemah mendekati netral ini otomatis mengubah sifat yang berbahaya sebelumnya menjadi berkurang dan menghilang pada waktu inkubasi lebih lama.

Metode pengaplikasian juga tergolong mudah yaitu dengan menggunakan produk bakteri jadi untuk pertanian, perikanan dan peternakan, selanjutnya diaktifkan terlebih dahulu selama dua hari kemudian baru dicampur dengan sampel dan menunggu waktu inkubasi yang semakin lama sifat kimia berbahaya semakin pulih. Untuk aplikasi dalam skala besar, larutan bakteri aktif dapat dicampurkan ke kolam penampungan limbah RM secara berlapis agar didapatkan hasil yang

cukup signifikan. Dengan terbukti bahwa pada hari ke-28 bakteri tersebut masih hidup dan masih dapat mengubah nilai pH lebih turun lagi dengan jangka waktu yang lebih lama.

Kemungkinan kendala yang akan dihadapi dalam proses pengaplikasian di skala besar adalah harus dibantu dengan alat berat untuk dapat mengaduknya langsung di kolam-kolam penampungan, dan karena system pengadukan dengan cara berlapis maka diperlukan kolam penampungan tambahan untuk menampung hasil dari limbah RM yang sudah diberi bakteri probiotik.

Dengan keadaan di laboratorium bahwa sampel diamati dalam keadaan tertutup berongga dan jika dipelaksanaannya di kolam-kolam penampungan adalah dalam kondisi terbuka, maka perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengetahui hasil dari jika bakteri probiotik ini diaplikasikan ke dalam keadaan terbuka.

Selain itu untuk mengamati aktivitas dari bakteri yang tidak dilakukan dalam penelitian ini maka sangat diperlukan pengamatan lebih lanjut untuk focus terhadap aktivitas bakteri di dalam Laboratorium Biologi karena gabungan dari bidang sains saat ini sudah menjadi pertimbangan solusi yang paling efektif untuk mengatasi dampak sekunder hingga tercapai hasil yang ramah lingkungan.

Walaupun dari bentuk maupun warna tidak terlalu banyak berubah tetapi dari bau yang menyengat lama kelamaan menghilang serta dari sentuhan kulit tangan yang awalnya sangat gatal dan perih karena iritasi, dan setelah diberi bakteri probiotik aktif ini pada kulit tidak terjadi apa-apa seperti sebelumnya. Fakta ini sangat mendukung bahwa pada sampel yang berbakteri probiotik sifat kimia yang berbahaya sudah berkurang atau menghilang.

SARAN

Dari pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa saran yang dapat disampaikan oleh peneliti untuk dapat dijadikan acuan dalam penelitian selanjutnya yang masih berkenaan dengan topik ini.

Untuk penelitian selanjutnya sampel yang sudah berbakteri dapat digunakan sebagai media pertumbuhan untuk tanaman dan diamati apakah tanaman dapat tumbuh pada sampel yang sudah tidak basa kuat tersebut.

Penelitian disini tidak menggunakan skala mikroskopik jadi tidak mengetahui secara jelas bagaimana aktivitas bakteri probiotik tersebut dalam pemulihan pH RM sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan skala mikro.

Perlu adanya pengujian lanjutan untuk dilaksanakan langsung di kolam-kolam penampungan limbah RM dengan mengikuti skala perbandingan dalam penelitian ini agar dapat mengetahui reaksi yang terjadi langsung pada kolam dalam kondisi yang sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan sebesar-besarnya pada pihak yang telah membantu karena penelitian ini dapat terlaksana atas bantuan yang diberikan melalui pembiayaan DIPA Politeknik Negeri Pontianak Program Penelitian Terapan yang dilaksanakan pada tahun anggaran 2021 dan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Pontianak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. ESDM, *Dampak Hilirisasi Bauksit Terhadap Perekonomian Regional Provinsi Kalimantan Barat*. 2016.
- [2] H. Husaini, D. Amalia, and Y. Yuhelda, "Pelarutan bijih bauksit dengan soda kaustik (NaOH) menjadi larutan sodium aluminat (NaAlO₂) skala pilot," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 12, no. 3, pp. 149–159, 2017, doi: 10.30556/jtmb.vol12.no3.2016.134.
- [3] S. Jain, "Red mud as a construction material by using bioremediation," p. 44, 2014.
- [4] M. Metboki, R. Ernawati, and J. T. Pertambangan, "Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tailing Pencucian Mangan PT . Anugerah Nusantara Sejahtera Di Kabupaten," vol. 2019, no. November, pp. 54–58, 2019.
- [5] Z. Zhang, H. Chen, G. Guo, and F. Li, "Amendments for simultaneous stabilization of lead, zinc, and cadmium in smelter-contaminated topsoils," *Environ. Eng. Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 326–334, 2019, doi: 10.1089/ees.2018.0231.
- [6] P. Oprčkal, A. Mladenović, N. Zupančič, J. Ščančar, R. Milačič, and V. Zalar Serjun, "Remediation of contaminated soil by red mud and paper ash," *J. Clean. Prod.*, vol. 256, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120440.
- [7] J. Kim, "In-Situ Stabilization of Arsenic-Contaminated Soil Using Industrial By-

- Products,” no. January, pp. 1–6, 2015.
- [8] C. S. Lwin, B. H. Seo, H. U. Kim, G. Owens, and K. R. Kim, “Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—a critical review,” *Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 64, no. 2, pp. 156–167, 2018, doi: 10.1080/00380768.2018.1440938.
- [9] W. Friesl-Hanl, K. Platzer, O. Horak, and M. H. Gerzabek, “Immobilising of Cd, Pb, and Zn contaminated arable soils close to a former Pb/Zn smelter: A field study in Austria over 5 years,” *Environ. Geochem. Health*, vol. 31, no. 5, pp. 581–594, 2009, doi: 10.1007/s10653-009-9256-3.
- [10] W. Shin and Y. K. Kim, “Stabilization of heavy metal contaminated marine sediments with red mud and apatite composite,” *J. Soils Sediments*, vol. 16, no. 2, pp. 726–735, 2016, doi: 10.1007/s11368-015-1279-z.
- [11] P. Segui, J. E. Aubert, B. Husson, and M. Measson, “Valorization of wastepaper sludge ash as main component of hydraulic road binder,” *Waste and Biomass Valorization*, vol. 4, no. 2, pp. 297–307, 2013, doi: 10.1007/s12649-012-9155-1.
- [12] V. P. Gadepalle, S. K. Ouki, R. Van Herwijnen, and T. Hutchings, “Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites,” *Soil Sediment Contam.*, vol. 16, no. 2, pp. 233–251, 2007, doi: 10.1080/15320380601169441.
- [13] V. Gardic and R. Markovic, “Immobilization of heavy metals from mining waste Slovak Society of Chemical Engineering Institute of Chemical and Environmental Engineering,” no. January 2018, 2015.
- [14] K. Kiskira *et al.*, “Study of microbial cultures for the bioleaching of scandium from alumina industry by-products†,” *Metals (Basel)*, vol. 11, no. 6, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/met11060951.
- [15] P. Krishna, A. G. Babu, and M. S. Reddy, “Bacterial diversity of extremely alkaline bauxite residue site of alumina industrial plant using culturable bacteria and residue 16S rRNA gene clones,” *Extremophiles*, vol. 18, no. 4, pp. 665–676, 2014, doi: 10.1007/s00792-014-0647-8.
- [16] P. A. Publication, “Bioremediation of Red Muds,” US 2020/0148569 A1.
- [17] R. Damayanti and H. Khareunissa, “Composition and characteristics of red mud: A case study on Tayan bauxite residue from alumina processing plant at West Kalimantan,” *Indones. Min. J.*, vol. 19, no. 3, pp. 179–190, 2017, doi: 10.30556/imj.vol19.no3.2016.660.
- [18] K. Kusmanto, A. F. Fauzi, G. S. Wibowo, and B. Aji, “Pengelolaan Air Dalam Menunjang Kegiatan Pencucian Pada Proses Penambangan Bauksit,” *Pros. Temu Profesi Tah. PERHAPI*, vol. 1, no. 1, pp. 739–750, 2020, doi: 10.36986/ptptp.v1i1.116.
- [19] P. Pemeriksaan, K. Mahasiswa, and B. Usu, “UNIVERSITAS SUMATERA UTARA Poliklinik UNIVERSITAS SUMATERA UTARA,” 2021.
- [20] A. R. Mohd Sam *et al.*, “Fresh and hardened properties of concrete containing effective microorganisms,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 220, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/220/1/012050.
- [21] V. Ivanov, *Construction Biotechnology*. 2020.
- [22] “Application of a BB strain in reducing the pH value of red mud,” 2020.