

# KARAKTERISASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH TIMBUNAN BABALESY YANG BERDASAR DARI LIMBAH BAUKSIT DAN BAKTERI PROBIOTIK

(*CHARACTERISTIC OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF  
BABALESY LANDFILL BASED ON BAUXITE WASTE AND PROBIOTIC BACTERIA*)

Lelly Marini<sup>(1)</sup>, Susi Hariyani<sup>(2)</sup>, Ikhwan Arif Purnama<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

E-mail: [lelly.marini@gmail.com](mailto:lelly.marini@gmail.com)

<sup>(2)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak

E-mail: [Susihariyani73@yahoo.com](mailto:Susihariyani73@yahoo.com)

<sup>(3)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak

E-mail: [ikhwanariefpurnama@gmail.com](mailto:ikhwanariefpurnama@gmail.com)

## ABSTRAK

*Limbah bauksit yang berupa lumpur merah diketahui sebagai limbah yang dapat mencemarkan air dan tanah dilingkungan sekitar area pertambangan serta dapat membahayakan kesehatan masyarakat jika tidak diberi tindakan pencegahan sebelumnya. Dengan jumlah limbah yang semakin meningkat sejalan dengan jumlah produksi bauksit yang semakin berkembang maka permasalahan ini juga menjadi pusat perhatian baik bagi pihak pertambangan, pemerintah maupun masyarakat sekitar yang langsung terdampak. Pemanfaatan dalam skala besar dan ramah lingkungan menjadi poin dalam solusi limbah bauksit ini. Tanah timbunan Babalesi untuk konstruksi jalan raya menjadi pertimbangan dalam memanfaatkan limbah bauksit dengan menggunakan bakteri probiotik sebagai agen pengubahnya. Pengujian kelayakan dan potensi dari Tanah Babalesi ini dilakukan dengan uji fisik dan mekanik tanah berdasarkan Standar ASTM. Pengujian tersebut menghasilkan parameter yang mengacu pada Klasifikasi AASHTO dan USCS untuk menentukan persyaratan tanah timbunan. Untuk uji fisik pada pengujian awal kondisi lumpur merah parameternya menunjukkan klasifikasi A-7-6 yaitu tanah lempung dengan kualitas buruk. Selanjutnya uji fisik pada tanah Babalesi menunjukkan klasifikasi A-4 yaitu tanah lanau dengan kualitas sedang. Sedangkan uji mekanik untuk kedua kondisi yaitu kondisi asli lumpur merah dan kondisi Tanah Babalesi tidak dapat dilakukan karena walaupun pada kondisi kering, Tanah Babalesi terbukti sangat keras tetapi jika dalam kondisi berair sebagai prosedur dalam uji mekanik tidak dapat dicetak sehingga parameter mekanik tidak dapat terukur. Hasil uji fisik menyimpulkan bahwa Tanah Babalesi memenuhi syarat untuk menjadi tanah timbunan konstruksi jalan raya. Pembuatan Tanah Babalesi dapat dilakukan langsung di lapangan dengan cara berlapis dengan menggunakan alat berat sebagai pengaduk larutan bakteri dan limbah bauksit.*

**Kata Kunci:** *Lumpur Merah, Bakteri Probiotik, Tanah Timbunan Babalesi*

## ABSTRACT

*Bauxite waste in the form of red mud is known as waste could pollute water and soil in the environment around the mining area and endanger public health if not given advance prevention. By the increasing amount of waste and the growing amount of bauxite production, this problem become important issue for the mining sector, the government and the surrounding public directly affected. Utilization on a large scale and environmentally friendly are the points in this bauxite waste solution. The Babalesi landfill for road construction is a consideration in utilizing bauxite waste by using probiotic bacteria as a modifier. The feasibility and potential testing of Babalesi soil is carried out by physical and mechanical tests of the soil based on ASTM Standards. These tests produce parameters that refer to the AASHTO and USCS Classifications to determine the requirements for embankment*

soil. For the physical test in the initial test of the red mud condition, the parameters indicated the A-7-6 classification, namely clay with poor quality. Furthermore, the physical test on Babalesi soil showed A-4 classification, namely silt soil with medium quality. Meanwhile, the mechanical test for both conditions, namely the original red mud condition and the Babalesi soil condition, could not be carried out because even in dry conditions, Babalesi soil proved to be very hard, but if it was in watery conditions as a procedure in the mechanical test, it could not be formed and the mechanical parameters could not be measured. The results of the physical test concluded that Babalesi landfill meet the requirements and could be recommended as a road construction embankment. The manufacture of Babalesi soil could be carried out directly in the waste pond by layered way using heavy equipment as a stirrer of bacterial solution and bauxite waste.

**Key words:** Red Mud, Probiotic Bacteria, Babalesi Landfill

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Limbah dari hasil pengolahan bauksit menjadi aluminium dikenal dengan istilah “Lumpur Merah” (*Red Mud*) yang mempunyai sifat alkalinitas tinggi. Lumpur merah ini disimpan oleh pihak pertambangan di kolam-kolam penampungan secara kumulatif. Limbah ini termasuk kategori cukup berbahaya karena dapat mencemari tanah dan air di lingkungan sekitarnya. Pihak pertambangan selain mempunyai resiko meningkatkan deforestasi daerah akibat aktivitas pertambangannya juga memberikan permasalahan limbah akibat dari hasil produksinya. Karena itulah perusahaan harus bertanggung jawab atas penanganan aktivitas pertambangan dan limbah yang dihasilkan. Jika perusahaan tersebut tidak dapat memenuhi persyaratan yang diberikan maka akan dikenakan sanksi biaya yang cukup tinggi untuk tujuan pemulihan lingkungan, resiko kerusakan lingkungan dan kesehatan penduduk sekitar.

Salah satu perusahaan pertambangan bauksit yang berada di Kalimantan Barat tepatnya di daerah Tayan, Kabupaten Sanggau yaitu PT.ICA (*Indonesia Chemical Alumina*) yang merupakan anak perusahaan PT. Antam Tbk dan Showa Denko, ditetapkan target produksi sebesar 30.000 ton WBx/bulan. WBx (*Washed Bauxite*) merupakan bauksit bersih yang sudah tercuci [1]. Proses pencucian ini dikenal dengan istilah “Proses Bayer” yaitu mencuci bijih bauksit yang kotor yang mengandung tanah liat (*clay*) dan pasir kuarsa dengan natrium hidroksida. Hasil dari proses pencucian inilah yang akhirnya menghasilkan limbah lumpur merah padat yang diperkirakan

jumlahnya dua kali lipat dari jumlah produksi [2][3].

Meskipun sudah banyak penelitian yang membuktikan kelayakan penggunaan lumpur merah ini menjadi bahan keramik, bahan semen dan bahan untuk jalan, namun tidak ada aplikasi dalam skala besar. Selain itu dengan sifat alkalinitasnya yang tinggi, maka area untuk penggunaan lumpur merah ini rentan terkontaminasi. Sehingga dengan alasan inilah yang menjadi latar belakang penelitian disini untuk mempertimbangkan membuat tanah timbunan baru yang berbasis lumpur merah dengan bantuan bakteri probiotik dalam pembuatan tanah timbunan dan pemulihan sifat alkalinitasnya. Dengan berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak terbukti bahwa aktivitas dari mikroorganisme dapat memulihkan nilai pH lumpur merah walaupun masih dalam skala laboratorium [4][5][6]. Bakteri probiotik dipertimbangkan sebagai agen dalam penelitian ini karena bakteri tersebut aman digunakan dan dapat membunuh bakteri patogen lainnya, selain itu bakteri ini juga tidak menimbulkan dampak sekunder bagi lingkungan serta mudah didapatkan dan praktis pengaktifannya tanpa diperlukan peralatan laboratorium maupun bahan tambahan lain yang akan menambah biaya. Singkatnya bakteri probiotik ini setelah diaktifkan dapat diaplikasikan langsung di lapangan yaitu di kolam-kolam penampungan limbah.

Penting sekali bagi pihak perusahaan pertambangan memastikan bahwa limbah lumpur merah padat yang akan digunakan di lingkungan sekitar harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Peraturan

Menteri Negara Lingkungan Hidup, salah satunya adalah parameter pH yang mempunyai kadar maksimum ijin sekitar 6 – 9 [7]. Oleh karena itu, penelitian disini diharapkan dapat menjadi solusi bagi pihak pertambangan dalam mengatasi permasalahan lumpur merah ini agar dapat memenuhi persyaratan kelestarian lingkungan dan area bekas pertambangan juga masih dapat diperbaiki dengan cara penanaman kembali flora yang dapat tumbuh setelah area tersebut terpulihkan.

Tanah timbunan yang merupakan produk yang ingin dicapai dalam penelitian disini tujuannya adalah sebagai tanah timbunan yang dapat diaplikasikan sebagai tanah dasar (sub grade) pada konstruksi jalan raya. Karena selain tujuannya adalah pemanfaatan limbah dalam skala besar juga diharapkan dapat menggantikan sumber daya alam lain yang biasa digunakan sebagai tanah timbunan pada tanah dasar jalan raya yaitu tanah merah, pasir, kerikil dan batu yang jumlahnya semakin lama semakin berkurang akibat dari eksploitasi terus menerus sejalan dengan pembangunan infrastruktur jalan raya yang semakin berkembang dewasa ini. Oleh karena itu dengan memanfaatkan lumpur merah yang sudah aman dari segi dampak terhadap lingkungan juga membantu pengurangan aktivitas deforestasi alam dari pertambangan material konstruksi lain agar alam tetap terjaga kelestariannya untuk waktu yang lebih lama merupakan tujuan dari penelitian ini. Selanjutnya karena tanah timbunan ini merupakan tanah timbunan buatan oleh peneliti maka diberikan nama “Tanah Babalesi” berdasarkan dari bahan dasarnya yaitu lumpur merah limbah bauksit dan bakteri probiotik.

Tanah timbunan merupakan material yang sangat penting dalam konstruksi bidang teknik sipil dikarenakan fungsinya sebagai perbaikan daya dukung. Banyak ditemukan di lapangan dimana kondisi tanah asli yang labil dan mempunyai daya dukung yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan untuk menahan beban struktur yang ada di atasnya. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan timbunan tanah di atas lapisan tanah asli tersebut dengan tanah yang memiliki potensi daya dukung yang lebih baik. Tanah inilah yang dikenal dengan istilah tanah timbunan (*landfill*) yang dari segi biaya juga tidak sedikit untuk penyediaannya. Untuk

mengetahui kelayakan dan potensi dari Tanah Babalesi untuk tanah timbunan maka diperlukan beberapa pengujian sifat fisik dan mekanis sebagai parameter penentuan daya dukung.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan berikut ini yang akan dicari solusinya setelah penelitian berlangsung.

- Apakah bakteri probiotik mampu mengubah lumpur merah menjadi tanah timbunan?
- Apakah ada perubahan sifat fisik dan mekanis dari lumpur merah menjadi Tanah Babalesi?
- Apakah Tanah Babalesi ini layak dan punya potensi sebagai tanah timbunan untuk tanah dasar konstruksi jalan raya?

### Tujuan Penelitian

Penelitian disini menggunakan studi eksperimental dengan melakukan pengujian pada kondisi asli lumpur merah dan kondisi lumpur merah setelah diberi bakteri probiotik aktif. Adapun tujuan penelitian dapat dianalisa dari hasil yang didapat untuk mengetahui bahwa:

- Bakteri probiotik mampu mengubah lumpur merah menjadi tanah timbunan
- Ada perubahan lebih baik dari sifat fisik dan mekanis lumpur merah menjadi Tanah Babalesi
- Tanah Babalesi layak dan berpotensi menjadi tanah timbunan untuk tanah dasar konstruksi jalan raya.

### Hipotesis

Ada beberapa hipotesis yang muncul sebelum penelitian berlangsung. Hal ini terjadi berdasarkan studi literature dari beberapa penelitian sebelumnya mengenai topik lumpur merah yang dapat diperbaiki dengan aktivitas dari mikroorganisme serta pengamatan langsung di area pertambangan. Hipotesis-hipotesis tersebut dapat dirumuskan seperti berikut ini,

- Bakteri probiotik sebagai agen pengubah mampu memulihkan sifat alkalinitas pada Tanah Babalesi.

- Membuat Tanah Babalesi dengan menggunakan produk jadi bakteri probiotik yang umum digunakan untuk pertanian, perikanan dan peternakan prosesnya lebih mudah, praktis serta dapat dilakukan langsung dilapangan terutama di kolam – kolam penampungan lumpur merah.
- Tanah Babalesi mempunyai sifat fisik dan mekanis lebih baik dari lumpur merah kondisi asli.
- Tanah Babalesi memenuhi syarat menjadi tanah timbunan untuk tanah dasar konstruksi jalan raya.
- Tanah Babalesi dapat menjadi media tanam tumbuhan kembali karena kondisinya yang bukan basa kuat lagi.

### Rancangan Penelitian

Agar penelitian dapat berlangsung dengan terkoordinasi dan teratur, perlu dibuat rancangannya terlebih dahulu. Rancangan penelitian ini dimulai dari setelah pengambilan sampel di lokasi PT. ICA Kecamatan Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat. Sampel dalam kondisi asli diuji dan dilakukan pengukuran sifat fisik dan mekaniknya terlebih dahulu untuk mendapatkan data pembanding. Selanjutnya sebelum pembuatan Tanah Babalesi, bakteri probiotik akan diaktifkan terlebih dahulu dengan memberikan aktivatornya. Setelah mengalami fermentasi, bakteri tersebut dicampurkan ke dalam lumpur merah dengan berat limbah yang sama tetapi jumlah larutan bakteri yang bervariasi serta waktu inkubasi yang bervariasi pula. Kemudian dengan berbagai variasi tersebut akan dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik yang sama pada sampel Tanah Babalesi yang hasilnya nanti akan dianalisa dan dibandingkan.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Lumpur Merah

Limbah bauksit yang berupa lumpur merah adalah limbah padat yang berasal dari produksi bauksit menjadi aluminium. Prosesnya dikenal dengan istilah “Proses Bayer” yang memiliki empat tahapan utama terdiri dari ekstraksi, klarifikasi, pengendapan dan kalsinasi [8]. Pada tahap ekstraksi terdiri

dari reduksi granulometri bauksit. Pada tahap klarifikasi, bauksit direndam dalam larutan natrium hidroksida untuk memisahkan alumina dan pengotor (lumpur merah). Pengendapan merupakan tahapan mengeluarkan alumina dan memasukkannya ke kalsinasi, yang diberikan suhu lebih tinggi dari 1100° - 1300° C [9]. Tahap selanjutnya adalah proses reduksi dimana alumina diubah menjadi aluminium melalui prosedur elektrolisis [10]. Karena natrium hidroksida, lumpur merah memiliki sifat alkalinitas dan beberapa logam berat di dalam komposisinya [11]. Karakteristik ini membuat para peneliti mengklasifikasikan lumpur merah sebagai limbah berbahaya bagi lingkungan.

Beberapa penelitian telah membuktikan kelayakan penggunaan lumpur merah ini untuk bahan konstruksi seperti pembuatan atap, ubin, batu bata, sub lapisan jalan, campuran semen dan bitumen [12][13][14][15][16]. Namun belum ada kebijakan yang dapat menjadi acuan untuk penggunaan dalam skala besar maupun industry sehingga perlu adanya penelitian lanjut untuk mengaplikasikan lumpur merah ini selain berskala besar juga mudah dan praktis dalam proses penggunaan, murah dengan kata lain tidak menggunakan bahan tambahan yang sulit didapatkan dan mahal, serta yang paling penting adalah ramah lingkungan tanpa menimbulkan dampak sekunder bagi lingkungan sekitar maupun kesehatan masyarakat di area pertambangan. Karena itulah lumpur merah masih dalam kondisi tertampung di kolam-kolam penampungan secara kumulatif dan menempati wilayah yang semakin meningkat luas.

Walaupun disimpan secara efisien, lumpur merah itu adalah bahan berbahaya dan dapat menyebabkan masalah serius terhadap kerusakan lingkungan seperti pencemaran limbah permukaan dan bawah tanah, yang mempengaruhi kesehatan penduduk [17]. Oleh karena itu, situasi ideal sesuai dengan peraturan menteri negara lingkungan hidup [7] harus menemukan cara yang praktis dan aman untuk digunakan sebagai solusi lumpur merah limbah padat ini dibawa keluar dari tempat penampungan limbah dan diterapkan ke dalam siklus produksi. Industri konstruksi dianggap sangat mampu sebagai bidang yang ideal untuk menggunakan kembali lumpur merah, karena dapat mengkonsumsi bahan limbah

dalam jumlah yang lebih besar dan sebagian besar residu dapat digabungkan, mengingat kesamaan unsur kimia yang terkandung. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meninjau kemungkinan penggunaan lumpur merah menjadi bahan baru, mengevaluasi sifat fisik dan mekanisnya untuk diterapkan pada industri konstruksi.

### Aplikasi Bakteri pada Lumpur Merah

Berbagai upaya telah banyak dilakukan sebelumnya untuk memodifikasi atau menstabilkan karakteristik lumpur merah baik di bidang teknik dan sains lainnya. Hingga ditemukannya upaya untuk mengurangi alkalinitas lumpur merah hingga parameter pH nya menuju netral yang dikenal dengan istilah bioremediasi. Teknologi ini adalah memanfaatkan aktivitas biologi dari mikroorganisme yang dapat mengurangi atau menghilangkan bahaya lingkungan akibat akumulasi bahan kimia beracun dan limbah berbahaya lainnya yang tidak aman di tanah dan air. Perlu diketahui bahwa seluruh mikroskopis organisme menghasilkan eksopolisakarida akibat kelimpahan gula atau sumber pelarut karbon lainnya yang berasal dari nitrogen. Enzim inilah yang berperan sebagai pengental, penstabil, emulsifier, gelling agent dan dapat mengikat air sehingga dapat digunakan sebagai pembentuk tekstur [18]. Berdasarkan penelitian inilah dapat menjadi acuan bahwa lumpur merah akan berubah teksturnya kemungkinan akan berubah lebih baik dari kondisi aslinya lumpur padat.

Pada penelitian lainnya yang menggunakan *bioleaching* sebagai pendekatan inovatif untuk mengekstrak lumpur merah. Percobaan menggunakan kultur mikroba yang berbeda dan rasio limbah padat terhadap cair (S/L). Ekstraksi maksimum yang didapat sebesar 42% adalah yang menggunakan bakteri *Acetobacter tropicalis*. Asam organik utama yang dihasilkan oleh mikroorganisme adalah asetat, oksalat dan sitrat, hal inilah yang menunjukkan kemungkinan efek sinergis dalam mempengaruhi lumpur merah [19].

Residu bauksit (lumpur merah) yang dihasilkan dari ekstraksi alumina dari bijih bauksit memiliki pH tinggi, konsentrasi tinggi ion yang terlarut hampir tidak ada bahan

organik. Kondisi ekstrim ini adalah dimana nutrisi sangat kurang, mikroba dan vegetasi yang dapat hidup juga terbatas. Pada penelitian lainnya telah menyelidiki keragaman bakteri yang dapat dibudidayakan dan yang tidak dapat dibudidayakan dalam lumpur merah. Bakteri yang dapat dibudidayakan adalah diidentifikasi sebagai *Agromyces indicus*, *Bacillus litoralis*, *B. anthracis*, *Chungangia koreensis*, *Kokuria flava*, *K. polaris*, *Microbacterium hominis*, *Planococcus plakortidis*, *Pseudomonas alcaliphila* dan *Salinococcus roseus* berdasarkan analisis urutan 16S rDNA-nya. Isolat bakteri ini toleran alkali, positif untuk satu atau lebih enzim aktivitas diuji, mampu menghasilkan asam organik dan dapat mengoksidasi berbagai substrat karbon. Untuk keragaman bakteri yang tidak dapat dibudidayakan, DNA diekstraksi dari sampel residu bauksit dan persediaan klon 16S rDNA dibuat. Klon 16S rDNA dari penelitian ini menunjukkan afiliasi dengan tiga filum utama yang dominan yaitu *betaproteobacteria* (41,1%), *gammaproteobacteria* (37,5%) dan *bacteroidetes* (21,4%) [20].

Ada juga penelitian yang menggunakan produk limbah susu dan laktosa untuk fermentasi bakteri sebagai agen pengubah lumpur merah. Hasil pengujian laboratorium berupa morfologi, kimia dan sifat indeks geologi lumpur merah yang telah dinetralkan dengan bakteri dapat dijadikan tanah sebagai material konstruksi, dan hanya 5% dari red mud yang dapat digunakan bahan bangunan alternative [4].

Selain penelitian yang telah dilaporkan melalui jurnal, ada juga paten yang sudah menyelidiki topik bioremediasi lumpur merah ini, diantaranya adalah paten dengan nomor US20200148568A1. Dalam penelitiannya menggunakan lumpur merah yang berasal dari 2 lokasi yang berbeda yaitu *Alpart* (Lumpur merah Karibia 1 dengan pH 11,1) dan *Jamaica* (Lumpur merah Karibia 2 dengan pH 12,3). Untuk bahan organik pengaktif bakteri menggunakan *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 serta gula lainnya yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memunculkan bakteri sebagai agen pengubah. Setelah bakterinya tumbuh dan berkembang aktif selanjutnya

dicampurkan ke sampel lumpur merah [5]. Paten lain dengan nomor CN 107309270 A yang menggunakan bakteri *Pannonibacter phragmitetus* (Bakteri BB) menghasilkan asam oksalat dan asetat yang berperan menurunkan nilai pH dimana rasio lumpur merah dan larutan 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. 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 [6].

### Tanah timbunan (*Sub Grade*)

Tujuan yang diharapkan dapat tercapai dalam penelitian ini adalah dapat memanfaatkan lumpur merah menjadi tanah timbunan untuk tanah dasar konstruksi jalan raya. Terkadang di lokasi proyek konstruksi jalan raya diketahui bahwa tanah dasarnya kurang stabil dan daya dukungnya rendah sehingga solusinya adalah dengan memperbaiki secara fisik daya dukung tanahnya hingga mendekati stabil dengan menambahkan tanah timbunan diatas tanah dasar tersebut. Tanah timbunan sebagai pelapis tersebut harus mempunyai karakteristik lebih baik dari tanah dasarnya, baik dari segi sifat fisik maupun mekaniknya. Pengujian sifat fisik dan mekanik perlu dilakukan dengan tujuan dapat memperhitungkan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam memutuskan bahwa tanah tersebut layak dan mempunyai potensi menjadi tanah timbunan jalan raya [21].

Selama ini tanah timbunan yang digunakan sebagai tanah timbunan adalah berupa tanah lanau berpasir, pasir batu, kerikil dan batu yang kualitasnya lebih baik dari tanah dasar. Yang menjadi permasalahan bahwa tanah timbunan tersebut sangat mengeksploitasi hutan dan jumlah sumber dayanya juga semakin menipis, serta dengan luas konstruksi jalan yang lebih besar tentunya biaya untuk penyediaan material juga tidak sedikit. Sehingga peneliti mempertimbangkan untuk memanfaatkan limbah lumpur merah yang walaupun sifat alkalinitasnya tinggi

tetapi dapat direduksi dengan menggunakan mikroorganisme hanya pengujian sifat fisik dan mekaniknya yang perlu diuji lebih lanjut apakah layak direkomendasikan sebagai tanah timbunan [17].

Menurut Departemen Pekerjaan Umum [22], timbunan atau urugan dibagi dalam 2 macam sesuai dengan maksud penggunaannya yaitu:

#### 1. Timbunan Biasa

Adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade*. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material *existing subgrade* yang tidak memenuhi syarat.

- a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari tanah yang disetujui oleh pengawas yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen.
- b. Bahan yang tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi, yang diklasifikasi sebagai A-7-6 dari persyaratan (AASHTO, *American Associatio of State Highway and Transportation Officials*, M 145) atau sebagai CH dalam system klasifikasi “*Unified*”. Sebagai tambahan, urugan ini harus memiliki CBR (*California Bearing Ratio*) yang tak kurang dari 6% setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100% kepadatan kering maksimum (MDD, *Maximum Dry Density*).
- c. Tanah yang pengembangannya tinggi yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25 bila diuji dengan (AASHTO T 258), tidak boleh digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif diatur sebagai indeks plastisitas (PI) – (AASHTO T 90) dan presentase ukuran lempung (AASHTO T 88).

#### 2. Timbunan pilihan

Adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya untuk mengurangi tebal lapisan pondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan tanah

dibelakang dinding penahan tanah talud jalan.

Bahan timbunan pilihan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai “timbunan pilihan” bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh pengawas.
- b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah berpasir (*sandy clay*) atau cadas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus memiliki sifat tertentu tergantung maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh urugan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10% bila diuji sesuai dengan (AASHTO T 193).

Faktor-faktor utama yang harus diperhitungkan dalam desain timbunan adalah:

- a. Stabilitas Timbunan
- b. Daya dukung timbunan
- c. Penurunan (*settlement*) timbunan
- d. Kemampuan melayani lalu lintas (*trafficability*)
- e. Faktor lain, terutama permeabilitas.

### Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan metode untuk mengelompokkan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang sama atau mendekati sama. Selanjutnya tanah tersebut diberi nama sesuai dengan karakteristiknya sehingga dapat dibedakan dengan tanah-tanah lainnya. Setiap jenis tanah mempunyai karakter masing-masing baik dari fisik, kimia dan mekaniknya. Hal ini dapat diketahui melalui pengujian untuk mengukur parameter-parameter yang dapat menentukan masing-masing karakteristiknya. Berdasarkan hasil analisa distribusi partikel yang diperoleh dari analisa saringan dan hirometer serta plastisitasnya yang diperoleh dari Batas-batas Atterberg, tanah dapat diklasifikasikan kedalam dua system yaitu system USCS (*Unified Soil Classification System*) dan system AASHTO.

### *Sistem Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh *Casagrande* selama perang dunia ke-2 untuk kesatuan *engineering* angkatan darat Amerika, dan pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh *American Society and Materials (ASTM)* sebagai metode standard klasifikasi tanah (ASTM 2487).

Berdasarkan system USCS ini, tanah diklasifikasikan dalam tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar dibagi kedalam kerikil, dinotasikan sebagai G (dari kata *gravel*) dan pasir ( $S = sand$ ). Setiap group tanah dibagi kedalam empat golongan, terlihat pada table 1, yaitu:

- Bergradasi baik dan cukup bersih artinya hanya sedikit kandungan material berbutir halus – dinotasikan W (*well graded*).
- Bergradasi buruk dan cukup bersih – dinotasikan P (*poorly graded*).
- Bergradasi baik dengan lempung sebagai pengikat – dinotasikan C (*clay*).
- Berbutir kasar dan mengandung tanah berbutir halus – dinotasikan M (*Silt*).

Tanah berbutir halus dibagi kedalam:

- Tanah lanau anorganik (tidak mengandung material organik dan tanah yang mengandung material organik) dan tanah yang mengandung pasir yang berbutir sangat halus – dinotasikan M (*silt*).
- Tanah lempung anorganik – dinotasikan C (*clay*).
- Tanah lanau dan lempung organik – dinotasikan O (*organic*)
- Tanah dengan kadar organik sangat tinggi – dinotasikan Pt (*peat*).

Ketiga golongan berbutir halus itu dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cairnya, yaitu:

- Batas cair < 50%, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas rendah hingga sedang – dinotasikan L (*low compressibility*).
- Batas cair > 50%, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas tinggi dinotasikan H (*high compressibility*).

**Tabel 1.** Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Tabel 1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Kelas Utama	Kelas	Simbol	Batas Atas	
			U <sub>c</sub> (mm)	U <sub>u</sub> (mm)
Tanah berbutir kasar (U <sub>c</sub> > 4.75 mm)	Pasir kasar	GW	4.75	75
		GP	4.75	75
	Pasir halus	GM	4.75	75
		GC	4.75	75
	Lempung berbutir kasar	GM	4.75	75
		GC	4.75	75
	Lempung berbutir halus	GM	4.75	75
		GC	4.75	75
	Lempung berbutir sangat halus	GM	4.75	75
		GC	4.75	75
Tanah liat	ML	4.75	75	
	CL	4.75	75	

Sumber: USCS dalam Hardiyatmo HC, 2002 [23]

**Sistem Klasifikasi AASHTO**

Sistem ini dibuat oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials*, terutama dikembangkan untuk menganalisa material subgrade dalam konstruksi jalan raya. System klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini ditunjukkan pada table 2 dan gambar 1. Pada system ini tanah diklasifikasikan kedalam 7 kelompok besar, yaitu A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

System klasifikasi ini didasarkan pada kriteria berikut [21].

- a. Ukuran Butir
  - Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm)
  - Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 dan yang tertahan ayakan No. 200 (0,075 mm).
  - Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.
- b. Plastisitas
  - Nama berlanau (*silty*) digunakan pada fraksi halus dari tanah tersebut memiliki nilai IP sebesar 10 atau kurang. Sedangkan nama lempungan (*clayey*) dipakai bilamana bagian yang halus dari

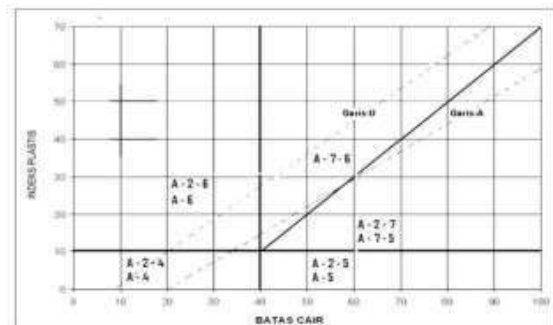
tanah memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih.

- c. Apabila terdapat batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah maka batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dan persentase batuan tersebut dicatat.

**Tabel 2.** Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya (AASHTO)

Klasifikasi	Batas Atas (U <sub>c</sub> > 4.75 mm)							Batas Atas (U <sub>c</sub> > 4.75 mm)			
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-1	A-2	A-3	A-4
U <sub>c</sub> (mm)	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
U <sub>u</sub> (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
U <sub>200</sub> (%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
U <sub>60</sub> (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
U <sub>425</sub> (%)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
U <sub>250</sub> (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
U <sub>75</sub> (%)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
U <sub>425</sub> (%)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
U <sub>200</sub> (%)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Sumber: AASHTO dalam Hardiyatmo HC, 2002 [21]



Sumber: AASHTO dalam Hardiyatmo HC, 2002 [21]

**Gambar 1.** Nilai batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, A-7

**Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Timbunan**

Sifat fisik tanah adalah sifat tanah yang didasarkan pada bentuk, ukuran tanah, warna tanah dan bau tanah tersebut, sedangkan sifat mekanik tanah adalah kekuatan dari tanah tersebut. Menurut Departemen Pekerjaan Umum [22], sebelum melakukan pekerjaan penimbunan, ada beberapa pengujian dengan mengacu pada prosedur ASTM (*American Society for Testing and Materials*) yang harus dilakukan yaitu:

- a. Uji sifat fisik tanah timbunan

**1. Kadar Air ASTM D 2216-80**



Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah terhadap berat butiran padat (tanah kering) yang dinyatakan dalam persen. Nilai kadar air pada umumnya besar dari 0% dan kecil dari 100%. Namun pada tipe tanah tertentu, kadar air tanah bisa lebih dari 100%.

2. **Berat Jenis ASTM D 854-83**  
Berat Jenis ( $G_s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air pada volume yang sama pada temperature tertentu. Berat Spesifik tanah diperlukan untuk menghitung indeks properties tanah (misalnya; angka pori, berat isi tanah, derajat kejenuhan, karakteristik pemampatan) dan sifat-sifat penting lainnya.
3. **Berat Volume ASTM D – 2937 – 00**  
Berat volume tanah ( $\gamma$ ) (berat satuan = *Unit Weight*) adalah besarnya satuan berat tanah tiap satuan volume. Berat satuan tanah ditentukan dengan membandingkan berat tanah dengan volume yang diisinya. Berat volume dipengaruhi oleh berat butiran padat, kadar air, dan volume total.
4. **Batas Konsistensi ASTM D 4318**  
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah pada batas cair dan dalam keadaan batas plastis.
5. **Analisa Saringan ASTM D 6913–04**  
Pengujian ini bertujuan untuk:
  - Mengetahui gradasi pembagian butiran dari suatu sampel tanah berbutir kasar yang tertahan saringan No. 200
  - Untuk mengklasifikasikan tanah
  - Untuk mengetahui koefisien keseragaman ( $C_u$ ) dan koefisien gradasi ( $C_c$ ).
6. **Hidrometer ASTM D 1140-00**  
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butiran tanah yang lolos saringan No. 200 dan

lengkung gradasinya didasarkan kepada prinsip sedimentasi (pengendapan).

#### b. Uji Sifat Mekanik tanah timbunan

##### 1. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*) ASTM D-3080-04

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh besarnya tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kuat geser tanah.

##### 2. Pengujian Tekan Bebas (*Unconfined Compressive Strength, UCS*) ASTM D 2166-00

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan bebas tanah kohesif. Pemeriksaan tekan bebas dapat dilakukan pada tanah asli atau contoh tanah padat buatan. Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksil ( $\text{kg/cm}^2$  atau  $\text{kN/m}^2$ ), yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah sebesar 20%, apabila sampai dengan pemendekan 20% tersebut tanah tidak pecah. [24]

## METODOLOGI

### 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, ke-14, ke-21, ke-28, ke-35, dan ke-42 yaitu pada bulan Juli hingga Agustus 2021.

**Macam/sifat Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan cara studi eksperimental, sehingga ada variabel yang diukur dan diamati sebelum diberi perlakuan (dalam kondisi asli) dan setelah diberi perlakuan (dicampur dengan bakteri probiotik). Data literatur juga diperlukan sebagai data pembanding dan acuan pertimbangan dalam menentukan kondisi maupun dosis campuran.

Sampel lumpur merah limbah bauksit yang diambil berasal dari PT. ICA (*Indonesia Chemical Alumina*) yang bertempat di Tayan, Kabupaten Sanggau Kalimantan Barat. Sampel ini 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, karena untuk tetap menjaga sampel tidak banyak gangguan. Untuk sampel berbakteri sebelumnya dilakukan terlebih dahulu tindakan pengaktifan bakteri sebelum dicampur ke sampel lumpur merah. Selanjutnya waktu inkubasi diambil 6 variasi yaitu pada hari ke-7, ke-14, ke-21, ke-28, ke-35, dan ke-42.

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 [25][26][27].

**Teknik Pengumpulan Data**

Pengujian yang dilakukan terhadap sampel lumpur merah limbah bauksit adalah berikut ini,

1. Sifat-sifat fisik tanah terdiri dari:

- a. Pengujian kadar air
  - b. Pengujian berat jenis
  - c. Pengujian berat volume tanah
  - d. Pengujian batas konsistensi
  - e. Pengujian analisa saringan dan hidrometer
2. Sifat mekanik tanah terdiri dari pengujian geser langsung dan uji tekan bebas.

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

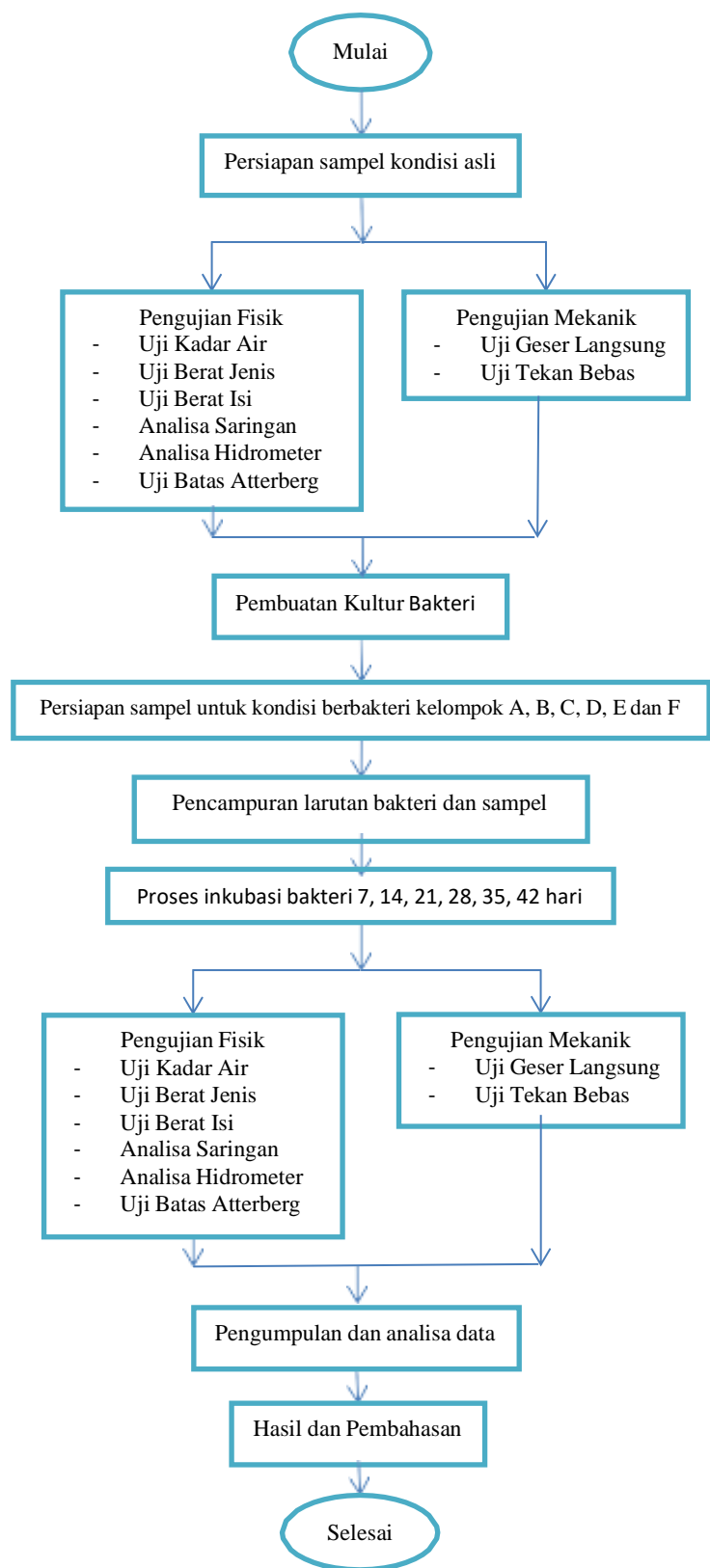
**Tabel 3.** Variasi sampel

No.	Nama	Jumlah	Berat Bakteri	Lama Inkubasi
1.	RM1, RM2, RM3	3	0	0
2. KEL. A	A1-1, A2-1, A3-1	3	25 ml	7 hari
	A1-2, A2-2, A3-2	3	50 ml	
	A1-3, A2-3, A3-3	3	75 ml	
	A1-4, A2-4, A3-4	3	100 ml	
3. KEL. B	B1-1, B2-1, B3-1	3	25 ml	14 hari
	B1-2, B2-2, B3-2	3	50 ml	
	B1-3, B2-3, B3-3	3	75 ml	
	B1-4, B2-4, B3-4	3	100 ml	
4. KEL. C	C1-1, C2-1, C3-1	3	25 ml	21 hari
	C1-2, C2-2, C3-2	3	50 ml	
	C1-3, C2-3, C3-3	3	75 ml	
	C1-4, C2-4, C3-4	3	100 ml	
5. KEL. D	D1-1, D2-1, D3-1	3	25 ml	28 hari
	D1-2, D2-2, D3-2	3	50 ml	
	D1-3, D2-3, D3-3	3	75 ml	
	D1-4, D2-4, D3-4	3	100 ml	
6. KEL. E	E1-1, E2-1, E3-1	3	25 ml	35 hari
	E1-2, E2-2, E3-2	3	50 ml	
	E1-3, E2-3, E3-3	3	75 ml	
	E1-4, E2-4, E3-4	3	100 ml	
7. KEL. F	F1-1, F2-1, F3-1	3	25 ml	42 hari
	F1-2, F2-2, F3-2	3	50 ml	
	F1-3, F2-3, F3-3	3	75 ml	
	F1-4, F2-4, F3-4	3	100 ml	
Jumlah		75 sampel	4500 ml	

**Metode Analisis Data**

Setelah dilakukan pengujian tanah, langkah selanjutnya adalah menganalisa data yang didapat dan membandingkan hasil pengujian 2 kondisi sampel tersebut dengan standard nasional geoteknik yang menjelaskan mengenai kelayakan penggunaan tanah timbunan untuk bahan pengganti *subgrade*.

Adapun tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat dari bagan alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN ANALISIS

Hasil uji sifat-sifat fisik sampel lumpur merah asli dan berbakteri diperlihatkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian sifat-sifat fisik lumpur merah kondisi asli

Jenis Pengujian	RM1	RM2	RM3
Kadar Air (%)	38,82	73,89	12,68
Kadar air rata-rata (%)	41,80		
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,74	2,44	2,59
Berat Jenis Tanah Rata-rata (Gs)	2,59		
Berat Isi Tanah Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1,88	1,79	1,82
Berat Tanah Kering (gr)	1,35	1,03	1,62
Void Ratio (e)	1,74	1,37	0,6
Porosity (n)	0,64	0,58	0,38
Derajat Kejenuhan S (%)	61,13	100	54,74
Volume Tanah (Vs) (%)	36	42	62
Volume Udara (Va) (%)	24,88	0	17,2
Volume Air (Vw) (%)	39,12	58	20,8
Liquid Limit (LL) (%)	45,32	38,27	47,14
Plastic Limit (PL) (%)	30,21	23,88	33,79
Plastic Index (PI) (%)	15,11	14,39	13,35
Classification USCS	CL	CL	CL
Gradasi Butiran (%)			
Lempung (Clay) (%)	21		
Lanau (Silt) (%)	34,48		
Pasir (Sand) (%)	44,52		
Classification AASHTO	A-7-6	A-7-5	A-7-6

Berdasarkan dari hasil pengujian sifat fisik yang dilakukan pada lumpur merah dalam kondisi asli dapat disimpulkan bahwa limbah ini tidak layak digunakan sebagai tanah timbunan dengan hasil klasifikasi berdasarkan USCS dan AASHTO, keduanya berada pada kondisi tanah berlempung. Karena batas cairnya kurang dari 50% maka jenis sampel ini adalah lempung. Sampel ini diklasifikasikan sebagai CL (lihat Tabel 1) yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berpasir. Dan diklasifikasikan sebagai A-7-6 dan A-7-5 (lihat Tabel 2) tanah berlempung dengan tingkatan buruk tidak disarankan untuk tanah timbunan.

Hal ini pula yang dapat menjelaskan bahwa lumpur merah dalam kondisi asli ini tidak dapat dilakukan pengujian untuk sifat mekaniknya. Karena dengan bentuk yang lumpur dan mempunyai butiran yang sangat halus, sampel ini tidak dapat dibentuk untuk pengujian UCS dan Uji Geser Langsung sehingga untuk pengujian sifat mekanik tidak mendapatkan hasil.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisik Tanah Babalesi Kelompok A pada waktu inkubasi 7 hari

Jenis Pengujian	A-1	A-2	A-3	A-4
Kadar Air (%)	39,85	40,73	41,31	41,64
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,58	2,58	2,59	2,59
Berat Isi Tanah Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1,84	1,85	1,85	1,86
Berat Tanah Kering (gr)	1,32	1,31	1,31	1,31
Void Ratio (e)	0,95	0,97	0,98	0,98
Porosity (n)	0,49	0,49	0,49	0,49
Derajat Kejenuhan S (%)	100	100	100	100
Volume Tanah (Vs) (%)	51	51	51	51
Volume Udara (Va) (%)	23,88	23,88	23,88	23,88
Volume Air (Vw) (%)	25,12	25,12	25,12	25,12
Liquid Limit (LL) (%)	44,36	39,97	39,73	37,35
Plastic Limit (PL) (%)	39,81	36,49	35,37	35,23
Plastic Index (PI) (%)	4,55	3,48	4,36	2,12
Classification USCS	ML	ML	ML	ML
<b>Gradasi Butiran (%)</b>				
Lempung (Clay) (%)	73,42	65,34	76,52	64,06
Lanau (Silt) dan Pasir (Sand) (%)	26,58	34,66	23,48	35,94
Classification AASHTO	A-7-6	A-4	A-4	A-4

Berdasarkan tabel 5, sampel Tanah Babalesi kelompok A yang dicampur bakteri dengan waktu inkubasinya adalah 7 hari menunjukkan perubahan yang signifikan. Dari pengujian sifat-sifat fisik yang telah dilakukan yaitu pada sampel dengan larutan bakteri 25 ml, sampel belum banyak berubah dan karena batas cair lebih dari 41 maka sampel masih dalam klasifikasi A-7-6 yaitu tanah yang tidak disarankan untuk menjadi tanah timbunan karena kualitasnya yang buruk. Tetapi mulai dari pencampuran jumlah larutan bakteri probiotik 50 ml hingga 100 ml, batas cair kurang dari 40 dan indeks plastisitas kurang dari 10 serta berdasarkan hasil-hasil pengujian yang selanjutnya di sesuaikan dengan tabel klasifikasi, didapatkan bahwa kondisi sampel termasuk A-4 yaitu tanah berlanau dan masuk kategori dapat disarankan menjadi tanah timbunan.

Menurut Klasifikasi USCS untuk hasil kesemua sampel menunjukkan bahwa sampel termasuk kategori ML yaitu lanau yang berplastisitas rendah dengan batas cair dibawah 50% dan indeks plastisitasnya rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas Tanah Babalesi dibanding kondisi lumpur merah semula, dapat dibidang ada peningkatan dari yang lempung menjadi lanau walaupun keduanya masih dalam kategori berplastisitas rendah.

Salah satu fenomena terpenting yang ditemukan setelah penelitian berlangsung yaitu dimana sampel dengan kondisi yang semakin

banyak jumlah larutan bakteri probiotik, kondisi sampel semakin keras mendekati batu dalam keadaan setelah dioven hingga inilah alasannya mengapa tanah Babalesi ini tidak dapat dilakukan pengujian analisa saringan dikarenakan sampel sulit sekali dihancurkan. Yang dapat dilakukan oleh peneliti adalah mencoba mendapatkan hasil yang dapat dihancurkan sejumlah 50 gram untuk melakukan pengujian analisa hydrometer dan akhirnya mengambil kesimpulan bahwa gradasi butiran lanau dan pasir merupakan sisa dari prosentase lempung yang didapatkan dari hasil sampel yang lolos ayakan No.200 tersebut.

Kondisi tanah Babalesi ini pada saat kering atau setelah dioven adalah sangat keras dan membatu, tetapi setelah diberi air kondisinya menjadi lunak kembali, hal inilah yang menjadi alasan mengapa sampel tanah Babalesi seperti kondisi limbah lumpur merah semula yaitu tidak dapat dilakukan pengujian sifat mekaniknya karena terlalu lunak dan tidak dapat dibentuk sesuai dengan cetakan uji geser langsung maupun uji tekan bebas.

Selain itu didapatkan pula hasil yang cukup signifikan untuk sifat kimia dari tanah Babalesi dibandingkan dengan lumpur merah pada kondisi asli. Berdasarkan judul jurnal lainnya dari penulis, didapatkan hasil pengukuran nilai pH dari sampel lumpur merah yang semula diukur nilainya sekitar 13–14 yang menunjukkan bahwa kondisi sampel tersebut bersifat kalinitas tinggi tetapi setelah menjadi Tanah Babalesi, nilai pH turun hingga mendekati netral sebanding dengan jumlah larutan bakteri probiotik yang dicampurkan serta waktu inkubasi bakteri.

Berikut adalah hasil yang didapatkan untuk kelompok sampel lainnya yang ditunjukkan pada tabel 6. Hasil secara keseluruhan tidak banyak berbeda dengan Tanah Babalesi kelompok A walaupun dengan variasi waktu inkubasi bakteri yang berbeda. Dari hasil klasifikasi menurut USCS terlihat bahwa untuk seluruh sampel Tanah Babalesi mengalami perubahan jenis dari lempung dengan plastisitas rendah (CL) menjadi lanau berplastisitas rendah (ML). hal ini dikarenakan hasil pengukuran batas cair dibawah 50% dan indeks plastisitasnya dibawah 10.

Sedangkan pada Klasifikasi AASHTO, pada sampel B1, C1, dan D1 yaitu sampel yang dicampur dengan larutan bakteri probiotik sejumlah 25 ml masih tetap sama

dengan jenis tanah sebelumnya yaitu A-7-6 yaitu tanah berlempung kualitas buruk yang tidak disarankan sebagai tanah timbunan. Hal ini tidak terjadi pada E1 dan F1 walaupun dengan jumlah larutan bakteri probiotik yang sama tetapi waktu inkubasinya 35 dan 42 hari, sampel mulai berubah menjadi A-5 untuk E1 dan A-4 untuk F1. A-5 adalah dimana kondisi tanah lanau biasa yang kualitasnya kurang dari A-4. Ini menunjukkan bahwa walaupun waktu inkubasinya lama, tetapi proses pemulihan

tetap berlangsung dengan proses yang lambat pula.

Untuk sampel yang campuran larutan bakteri probiotiknya mulai dari 50 – 100 ml dari waktu inkubasi 7 hari, sampel lumpur merah sudah mengalami perubahan menjadi A-4 yaitu tanah lanau biasa. Dan sampel ini dapat disarankan sebagai tanah timbunan untuk konstruksi jalan raya yang berfungsi sebagai material pengganti untuk tanah dasar yang kualitasnya lebih jelek dari A-4.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisik Tanah Babalesi Kelompok B, C, D, E DAN F dengan variasi waktu inkubasi adalah 14, 21, 28, 35 dan 42 hari

Jenis Pengujian	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4
Kadar Air (%)	39,7	40,3	41,1	41,5	39,8	40,7	41,2	41,6	40,1	40,4	41,2	41,6	40,3	40,5	41,2	41,6	40,3	40,6	41,3	41,6
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,59	2,59	2,60	2,58	2,59	2,60	2,60	2,59	2,60	2,60	2,61
Berat Isi Tanah Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1,84	1,85	1,85	1,86	1,84	1,85	1,85	1,86	1,85	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,87	1,87	1,87	1,87	1,88	1,88
Berat Tanah Kering (gr)	1,32	1,32	1,31	1,31	1,32	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	1,32	1,31	1,33	1,32	1,32	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33
Void Ratio (e)	0,96	0,96	0,98	0,98	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96	0,96	0,96	0,99	0,94	0,96	0,97	0,97	0,95	0,96	0,96	0,96
Porosity (n)	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Derajat Kejenuhan S (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Volume Tanah (Vs) (%)	51,2	51,2	50,6	50,6	51,2	50,8	50,6	50,6	51,2	51,0	51,0	50,4	51,6	51,0	50,8	50,8	51,4	51,2	51,2	51,0
Volume Udara (Va) (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volume Air (Vw) (%)	48,8	48,8	49,4	49,4	48,8	49,2	49,4	49,4	48,8	49,0	49,0	49,6	48,4	49,0	49,2	49,2	48,6	48,8	48,8	49,0
Liquid Limit (LL) (%)	41,7	39,9	39,7	37,4	41,4	39,9	39,8	39,9	41,0	39,8	39,3	38,4	40,3	39,8	39,5	38,9	38,8	39,7	39,8	39,5
Plastic Limit (PL) (%)	37,6	35,9	35,8	34,2	37,1	35,8	35,9	36,2	36,3	35,4	35,2	34,4	36,1	35,8	35,5	35,1	34,2	35,3	35,5	35,5
Plastic Index (PI) (%)	4,13	4,02	3,98	3,2	4,28	4,18	3,97	3,67	4,78	4,45	4,03	3,99	4,15	4,02	3,93	3,87	4,55	4,49	4,33	4,12
Classification USCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML
<b>Gradasi Butiran (%)</b>																				
Lempung (Clay) (%)	72,5	66,4	75,4	65,0	71,2	68,3	73,9	70,5	69,9	69,8	65,2	64,8	70,2	68,1	67,5	69,1	68,1	67,5	67,4	66,3
Lanau (Silt) dan Pasir (Sand) (%)	27,5	33,6	24,6	35,0	28,8	31,7	26,1	29,5	30,1	30,2	34,8	35,3	29,8	31,9	32,5	30,9	31,9	32,5	32,6	33,7
Classification AASHTO	A-7-6	A-4	A-4	A-4	A-7-6	A-4	A-4	A-4	A-7-6	A-4	A-4	A-4	A-5	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4

## KESIMPULAN

Pada penelitian terdahulu telah banyak dibahas dan dicari solusi mengenai pemanfaatan limbah bauksit menjadi produk yang lebih berguna. Berikut ini beberapa kekurangan dari penelitian tersebut, diantaranya, kebanyakan dari hasil penelitian itu hanya sampai skala laboratorium dan belum ada yang sampai pada skala industri. Selain itu penggunaan bahan tambahan untuk memulihkan limbah menjadi bentuk produk lain membuat biaya produksi juga bertambah dan menjadi tidak ekonomis. Dari segi aplikasi belum ada yang dapat dilakukan dengan cara yang lebih praktis baik di lokasi penambangan maupun dilokasi penelitian. Dan yang

terutama adalah kondisi asli limbah yang sangat berbahaya dan rentan tercemar maka diperlukan tindakan pencegahan dengan menetralkan nilai pH-nya terlebih dahulu, baru selanjutnya limbah bauksit aman untuk dimanfaatkan, hal ini masih belum banyak terlihat dari penelitian terdahulu agar menjadi saran bagi pengelola pertambangan untuk mempertimbangkan dampak utama maupun sekunder bagi lingkungan.

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil-hasil pengujian sifat fisik dari limbah bauksit lumpur merah dan Tanah Babalesi yaitu tanah yang dibuat dalam penelitian ini yang berasal dari limbah lumpur merah bauksit yang dicampur dengan bakteri probiotik sebagai

agen pengubah, didapat beberapa kesimpulan berikut

Limbah bauksit kondisi asli diklasifikasikan sebagai tanah lempung yang kualitasnya buruk dan tidak memenuhi persyaratan sebagai tanah timbunan sehingga tidak disarankan untuk digunakan. Selain itu ditemukan bahwa limbah bauksit lumpur merah tersebut bersifat alkalinitas tinggi yang berbahaya dan rentan mencemari air maupun tanah disekitar di area pertambangan sehingga menjadi focus penting dalam tindakan awal yang harus dilakukan sebelum dimanfaatkan dengan aman.

Pengujian sifat mekanik juga telah dicoba dilakukan, tetapi karena bentuk limbah ini sangat lunak sehingga sulit sekali dicetak mengikuti bentuk yang disyaratkan dalam pengujian geser langsung dan uji tekan bebas, oleh karena itu untuk dua pengujian mekanik tersebut tidak mendapatkan hasil. Walaupun pada Tanah Babalesi dalam kondisi kering setelah dioven, tanahnya sangat keras dan sulit dihancurkan hal ini menjadi temuan penting untuk penelitian selanjutnya, karena bertolak belakang dengan jika tanah tersebut dalam kondisi berair yang akan kembali lunak.

Selanjutnya Tanah Babalesi yang juga telah diuji sifat fisiknya menunjukkan hasil yang cukup signifikan. Kondisi limbah bauksit lumpur merah yang sebelumnya diklasifikasikan sebagai tanah lempung kualitas buruk (A-7-6) dapat berubah menjadi tanah lanau biasa (A-4) walaupun masih dalam kondisi plastisitas rendah. Tetapi untuk pangaplikasian Tanah Babalesi ini cukup memenuhi persyaratan sebagai tanah timbunan. Selain itu dalam jurnal lainnya penulis juga telah melaporkan bahwa pengukuran nilai pH dari Tanah Babalesi ini dapat mencapai kondisi netral dan menghilangkan sifat basa kuat yang cukup berbahaya apabila tercemar di lingkungan sekitar.

Untuk proses pembuatan Tanah Babalesi ini cukup praktis jika ingin dilakukan dalam skala besar yaitu dengan mencampurkan langsung bakteri probiotik yang sudah diaktifkan ke dalam kolam-kolam penampungan limbah bauksit lumpur merah tersebut. Tanpa harus dilakukan di laboratorium untuk mengkultur bakterinya terlebih dahulu yang selain memakan waktu

yang lebih lama juga menggunakan bahan tambahan lain sebagai media yang juga akan menambah biaya yang tidak sedikit.

Lain halnya dengan Tanah babalesi yang menggunakan bakteri probiotik yang berbentuk produk jadi, dengan hanya menambahkan aktivatornya yang mudah sekali didapatkan dalam kehidupan sehari-hari sebagai bahan pengaktifnya selanjutnya dalam waktu yang singkat Tanah Babalesi ini sudah dapat digunakan langsung menjadi material alternative tanah timbunan konstruksi jalan raya.

Namun kendala yang akan dihadapi dilapangan kemungkinan adalah dalam proses pembuatan ini perlu dilakukan dengan bantuan alat berat sebagai pengaduk di dalam kolam penampungan. Selain itu pula pihak pertambangan akan diminta untuk menyediakan kolam lain untuk tempat inkubasi lumpur merah yang telah dicampur bakteri sebelum digunakan sebagai tanah timbunan.

## SARAN

Penelitian ini merupakan penelitian pertama dalam pembuatan Tanah Babalesi sehingga masih banyak kekurangan untuk menjadikan material ini sebagai referensi bahan konstruksi sipil. Sehingga sangat disarankan untuk melakukan penelitian selanjutnya agar Tanah Babalesi ini benar-benar menjadi solusi efektif dalam mengatasi permasalahan limbah bauksit lumpur merah yang dapat dimanfaatkan sebagai alternative material pengganti sumber daya bahan konstruksi sipil umum lainnya.

Selain itu dalam penelitian ini juga tidak dilakukannya pengujian aktivitas bakteri probiotik di dalam sampel sehingga perlu adanya penelitian selanjutnya yang menggunakan Laboratorium Biologi sebagai referensi dalam bidang biologi dan akan menunjang Tanah Babalesi ini dapat diaplikasikan secara efektif, aman dan ramah lingkungan.

## 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 yang telah membimbing serta mendukung dalam pelaksanaan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Sanggau and P. K. Barat, "KAJIAN TEKNIS UNIT PENCUCIAN BAUKSIT DI PT . ANTAM ( PERSERO ) Tbk . UBPB TAYAN , KECAMATAN TAYAN HILIR ,," pp. 1–8, 2018.
- [2] M. S. S. Lima, L. P. Thives, V. Haritonovs, and K. Bajars, "Red mud application in construction industry: Review of benefits and possibilities," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 251, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/251/1/012033.
- [3] J. J. Sudirman, "Konsep Pemanfaatan Dan Pemrosesan Mineral Ampas , Studi Kasus Rencana," vol. 8, no. November 2011, pp. 28–35, 2012.
- [4] S. Jain, "Red mud as a construction material by using bioremediation," p. 44, 2014.
- [5] P. A. Publication, "Bioremediation of Red Muds," US 2020/0148569 A1.
- [6] "Application of a BB strain in reducing the pH value of red mud," 2020.
- [7] Kementerian Lingkungan Hidup, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2021 tentang Tata cara Penerbitan Persetujuan Teknis Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian pencemaran Lingkungan," *Kementerian Lingkung. Hidup*, 2021.
- [8] R. D. Kisnawati and S. J. Kimia, "Pemisahan Alumina pada Residu Bauksit (Red Mud) yang Berasal dari Riau dengan Metode Sintering Sodalime," vol. 5, no. 2, pp. 2337–3520, 2016.
- [9] D. Amalia and M. Aziz, "Percobaan Pendahuluan Pembuatan Alumina Kualitas Metalurgi dari Bauksit Kalimantan Barat," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 7, no. 4, pp. 183–191, 2011.
- [10] P. Anoda, D. Rodding, and D. I. Muthawali, "Pengaruh Nilai Carbon Equivalen ( CE ) Dari Cast Iron Pada Proses Effect Of Equivalent Carbon ( Ce ) Value From Cast Iron In Anode Circuit Process In," vol. 1, no. 2, 2018.
- [11] "Manajemen Residu Bauksit : Pelaksanaan Tindakan Yang Terbaik," 2015.
- [12] T. Kavas, "Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick," *Build. Environ.*, vol. 41, no. 12, pp. 1779–1783, 2006, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.07.019.
- [13] J. Yang and B. Xiao, "Development of unsintered construction materials from red mud wastes produced in the sintering alumina process," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 12, pp. 2299–2307, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.10.005.
- [14] N. Light, M. Company, R. U. S. A. Data, S. Edition, P. E. A. Leppink, and A. E. A. Suchfield, "METHOD OF CREATING LANDFILL FROM RED MUD," 1981.
- [15] C. K. S. D. Torikai, B. Barazani, E. Ono, M. F. M. Santos, "55° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Por to de Galinhas, PE, Brasil," *An. do 55º Congr. Bras. Cerâmica*, vol. d, no. 1, pp. 1695–1707, 2011.
- [16] J. K. Mendu, "STUDY ON CONCRETE BY REPLACING CEMENT WITH RED MUD , FLY STUDY ON CONCRETE BY REPLACING CEMENT," no. August, 2020.
- [17] 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.
- [18] F. Ui, "Pencarian bakteri..., Tri Handayani, FMIPA UI, 2009," 2009.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Fathurrozi and F. Rezqi, "Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah timbunan badan jalan kuala kapuas," *J. Poros Tek.*, vol. 8, no. 1,

- pp. 1–54, 2016.
- [22] Departemen Pekerjaan Umum, “Pekerjaan Jalan ( Site Inspector of Roads ),” 2007.
- [23] H. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [24] E. Bahsan, *Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah*. 2017.
- [25] M. Hasan, A. A. Faez, M. A. Moqsud, T. W. Long, and P. B. Yu, “Geotechnical properties of raw and processed bauxite from Bukit Goh, Kuantan, Pahang; In accordance with IMSBC Code,” *Int. J. GEOMATE*, vol. 14, no. 42, pp. 8–13, 2018, doi: 10.21660/2018.42.7117.
- [26] 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.
- [27] 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.