

## Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Tailing PT. Freeport sebagai Bahan Stabilisasi Tanah pada Lapis Pondasi Jalan

Irianto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua  
Dr. Sam Ratulangi No. 11, E-mail : irian.anto@gmail.com

Pangeran Holong Sitorus\*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua  
Dr. Sam Ratulangi No. 11, E-mail : pangeransitorus1@gmail.com

Didik S. S. Mabui

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua  
Dr. Sam Ratulangi No. 11, E-mail : didiksurya.m@gmail.com

Reny Rochmawati

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua  
Dr. Sam Ratulangi No. 11, E-mail : renyrochmawati8@gmail.com

Franky E.P. Lapijan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua  
Dr. Sam Ratulangi No. 11, E-mail : edwinlapijan31031975@gmail.com

### Abstrak

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan bahan aditif agar dapat menaikkan kekuatan tanah. Tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki nilai daya dukung yang kecil sehingga diperlukan upaya stabilisasi agar dapat meningkatkan nilai daya dukungnya. Wilayah Indonesia cenderung mempunyai tanah jenis lempung contohnya seperti daerah Universitas Musamus, Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik tanah dan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen + tailing terhadap nilai kuat tekan bebas. Di dalam penelitian ini, proses stabilisasi yaitu mencampur tanah asli dengan semen + tailing dalam berbagai variasi yaitu 8% semen + 5% tailing, 8% semen + 10% tailing, dan 8% semen + 15% tailing. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa sampel tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi yaitu A-6 menurut AASHTO. Penambahan semen dan tailing mempengaruhi nilai kuat tekan bebas, tanah asli memiliki nilai kuat tekan 9.62 kg/cm<sup>2</sup> setelah distabilisasi dengan kadar 8% semen dan tailing dengan variasi kadar 5%, 10% dan 15% nilai UCS yang didapatkan adalah 21.73 kg/cm<sup>2</sup>, 24.95 kg/cm<sup>2</sup>, dan 26.19 kg/cm<sup>2</sup>. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan semen dan tailing dengan variasi persentase dapat meningkatkan nilai CBR soaked menjadi 10.71% dengan persentase optimum pada kadar fly ash 15%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semen dan tailing mampu menaikkan daya dukung tanah lempung.

**Kata-kata Kunci:** Tanah lempung, semen, tailing, UCS, CBR

### Abstract

Soil stabilization is a process to improve soil properties by adding additives to increase soil strength. Clay soil is a type of soil that has a small bearing capacity, therefore stabilization is needed to increase its bearing capacity value. The majority of Indonesia's territory tends to have clay soil type, for example, around Muramus University, Rimba Jaya, Merauke, South Papua. The aim of this research is to determine the characteristics of the soil and to ensure the effectiveness of the addition of cement and tailing on the value of unconfined compressive strength. In this research, the stabilization process involved mixing original soil with cement + tailing in any variations, which is 8% cement + 5% tailing ash, 8% cement + 10% tailing, and 8% cement + 15% tailing. The soil sample can be classified as clay with high plasticity, namely A-6 according to AASHTO. The addition of cement + tailing affects the value of unconfined compressive strength, the original soil has a compressive strength value of 9.62 kg/cm<sup>2</sup> after stabilization with 8% cement and tailing with varying levels of 5%, 10% and 15% UCS values obtained are 21.73 kg/cm<sup>2</sup>, 24.95 kg/cm<sup>2</sup>, dan 26.19 kg/cm<sup>2</sup>. In addition, the results shows that the addition of cement and tailing with varying percentages can increase the soaked CBR value to 10.71% with the optimum percentage at 15% tailing composition.

**Keywords:** Clay soil, cement, tailing, UCS, CBR

\* Penulis korespondensi: pangeransitorus1@gmail.com

## 1. Pendahuluan

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah. Mengingat pentingnya fungsi jalan sebagai penggerak roda perekonomian, masalah yang sering terjadi pada infrastruktur jalan raya, yaitu bergelombang, retak maupun penurunan tanah. Seiring dengan bertambah padatnya suatu kawasan, kebutuhan untuk pembangunan prasarana semakin bertambah, khususnya untuk pembangunan infrastruktur yang sangat dirasakan oleh seluruh lapisan masyarakat. Jika tanah asli mempunyai daya dukung rendah, maka konstruksi jalan akan cepat mengalami kerusakan. Adapun jika jenis tanah yang digunakan pada jalan merupakan tanah yang tidak stabil atau tanah ekspansif maka kriteria yang dipakai untuk menilai memuaskan atau tidaknya stabilisasi, didasarkan oleh faktor kekuatan tanah tersebut.

Stabilisasi tanah yang dilakukan pada tanah dasar suatu konstruksi adalah suatu cara yang digunakan untuk memperbaiki sifat tanah dasar, sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Ada beberapa metode untuk mengatasi kemungkinan kerusakan yang disebabkan oleh tanah ekspansif, antara lain dengan penggantian material atau mencampurkan bahan aditif dengan tanah. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan mencampurkan bahan aditif ke tanah ekspansif, antara lain dengan semen (Fatah dkk, 2010) dan (Gueddouda dkk, 2011). Selain itu, terdapat penelitian stabilisasi tanah dengan tambahan bahan aditif berupa *lime* (Bozbey & Garaisayev, 2010; Al Mukhtar dkk, 2010; Neeraja & Rao, 2010; Gueddouda dkk, 2011). Ada juga penelitian stabilisasi tanah dengan menggunakan *fly ash* (Neeraja & Rao, 2010; Bhuvaneshwari dkk, 2005), penelitian tentang stabilisasi tanah menggunakan *lime* dan *fly ash* (Malhora & Naval, 2013), menggunakan  $H_2SO_4$  (Wardani SPR dkk, 2015); menggunakan  $CaCl_2$  (Ramadas dkk, 2012), menggunakan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (Neeraja & Rao, 2010; Cocka dkk, 2009), menggunakan garam (Gueddouda dkk, 2011). Hampir semua hasil dari penelitian tersebut berhasil untuk meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan *swelling*.

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki tingkat plastisitas yang tinggi, terutama pada tanah lempung ekspansif. Nilai indeks plastisitas tanah mempengaruhi nilai CBR, dimana semakin besar nilai indeks plastisitas maka nilai CBR semakin rendah (Nujid dkk, 2019). Karakteristik kepadatan tanah berhubungan dengan nilai CBR sehingga upaya untuk meningkatkan kepadatan tanah adalah dengan melakukan stabilisasi tanah.

Tanah dasar adalah pondasi bagi perkerasan jalan, di mana tanah dasar menerima beban kendaraan yang disalurkan dari perkerasan jalan. Sebagai pondasi bagi perkerasan jalan, maka tanah dasar harus mempunyai

kekuatan atau daya dukung terhadap beban kendaraan agar perkerasan tidak mengalami deformasi dan retak.

Tanah yang bermasalah terutama karena faktor kembang susut atau yang sering disebut tanah ekspansif banyak dijumpai di Indonesia. Tanah ini tersebar luas di Timur Tengah dan di hampir seluruh dunia. Berdasarkan jenisnya, saat terjadi pembasahan dan pengeringan tanah tersebut akan mengalami pengembangan dan penyusutan, yang menyebabkan kerusakan parah pada struktur yang dibangun di atas tanah tersebut. Tanah yang bermasalah seperti tanah lempung ekspansif banyak dijumpai di Indonesia, salah satunya di daerah Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan. Daerah ini memiliki tanah dasar yang buruk, dapat dilihat secara fisik tanah tersebut memiliki partikel yang halus dan apabila saat terjadi pembasahan dan pengeringan tanah tersebut mengalami pengembangan dan penyusutan, yang menyebabkan kerusakan parah pada struktur yang dibangun di atas tanah tersebut.

Limbah merupakan hasil pembuangan dari suatu proses pengolahan. Salah satu contohnya adalah tailing yang merupakan limbah hasil pengolahan mineral tambang. PT Freeport Indonesia menghasilkan kurang lebih sebesar 300.000 ton per hari. Hal ini sangat mengganggu lingkungan dikarenakan jumlahnya yang begitu banyak dan sampai saat ini belum dapat dimanfaatkan. Tailing mempunyai sifat non plastis atau bersifat lepas yang tidak mempunyai ikatan antara butirannya sendiri yang memungkinkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi untuk menurunkan nilai plastisitas tanah lempung ekspansif (Furqon, 2004).

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengkaji pengaruh limbah tailing dengan kadar yang bervariasi 5%, 10% dan 15% dan penambahan 8% semen terhadap kekuatan dan stabilitas tanah lempung dengan kandungan bahan organik, mengetahui campuran yang paling optimum antara tanah lempung organik dengan variasi kadar limbah tailing dan 8% semen, serta mendapatkan nilai CBR dari penelitian ini sehingga dapat diaplikasikan pada perencanaan jalan baru dengan beban lalu lintas yang tinggi.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1 Tailing

Tailing adalah limbah dari produksi pengolahan bijih besi dan tembaga dari PT. Freeport sampai saat ini belum termanfaatkan secara optimal, terutama sebagai bahan perkerasan jalan, untuk itu diusahakan pemanfaatannya dalam campuran beraspal dan lapis pondasi dari bahan berbutir lepas tanpa bahan pengikat (*unbound material*).

Beberapa pengujian terhadap karakteristik *tailing* dilaksanakan untuk mengevaluasi sifat-sifatnya yang berkaitan dengan kinerjanya sebagai komponen campuran. Berdasarkan penelitian sebelumnya, persentase *tailing* sebesar 5%; 10%; 15% dan 20% (terhadap berat total campuran) ditambahkan ke dalam campuran laston dan lataston, sedangkan pada



Gambar 1. *Tailing* pada Sungai Ajkwa

campuran latasir penambahan *tailing* adalah sebesar 45%; 50%; 55%; 60%; dan 100%. Perencanaan campuran dilakukan dengan metode Marshall, pada kasar aspal optimum (KAO) dievaluasi ketahanan terhadap pengaruh air, modulus kekakuan, serta ketahanan terhadap deformasi permanen. Sebagai pembanding, penelitian yang serupa dilakukan terhadap campuran yang tidak menggunakan *tailing*.

Kinerja campuran dengan menggunakan *tailing*, baik untuk campuran beraspal maupun untuk lapis pondasi, menunjukkan hasil yang baik seperti yang ditunjukkan pada hasil analisis Marshall yang masih memenuhi persyaratan yang ditentukan. Hal tersebut menunjukkan bahwa *tailing* dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, yang menggantikan agregat seukuran pasir.

Peninjauan lokasi pada kuari M-28 dan M-34 ini, melalui jalan akses berupa tanggul yang pada dasarnya digunakan untuk membendung aliran *tailing* pada sungai. Tanggul ini pada saat sekarang telah mencapai ketinggian 3 meter dari level asli pinggir sungai, pada pasca penambangan kemungkinan tanggul ini akan mencapai ketinggian 20 meter. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa saat ini produksi *tailing* sudah mencapai sekitar 300.000 ton perhari.

Pada bidang prasarana transportasi *tailing* ini apabila dibandingkan dengan spesifikasi bahan yang ada dapat digunakan untuk bahan konstruksi jalan maupun jembatan baik sebagai substitusi agregat maupun sebagai bahan pengisi (*filler*). Apabila dilihat gradasinya, maka ukuran *tailing* ini bisa dikategorikan atas, sedang (lolos saringan #4 tertahan saringan #8), dan halus (lolos saringan #8 dan tertahan saringan #200) (Suraatmaja dkk, 1998). Dalam bidang konstruksi jalan *tailing* ini dapat dimanfaatkan untuk bahan lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah. Sedangkan untuk konstruksi jembatan bisa dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian agregat sedang dan pasir.



Gambar 2. *Tailing* setelah dikeringkan

## 2.2 Pemadatan tanah dan stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar agar daya dukung tanah tersebut menjadi lebih baik sehingga tanah menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi di atas tanah. Metode-metode stabilisasi yang dikenal adalah stabilisasi kimiawi, stabilisasi mekanis, stabilisasi mineral dan stabilisasi hidroliks. Stabilisasi mekanis adalah penambahan kekuatan dan daya dukung tanah dengan cara mengatur gradasi tanah yang dimaksud. Usaha ini biasanya menggunakan system pemadatan. Pemadatan dapat dengan dilakukan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas, benda berat yang dijatuhkan, ledakan tekanan tanah statis dan sebagainya (Bowles, 1984).

Stabilisasi tanah adalah alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Pada prinsipnya stabilisasi tanah merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Tanah dibuat stabil agar dapat mendukung beban yang direncanakan dan tidak terjadi penurunan (*settlement*) yang melebihi penurunan yang diijinkan. Tanah dasar minimal harus bisa dilewati kendaraan proyek. Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah. Menurut Bowles (1984) apabila tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasi.

Permasalahan tanah ekspansif merupakan kendala bagi bangunan konstruksi sipil, karena tanah ekspansif terpengaruh oleh kondisi kemarau dan penghujan terhadap air, mempunyai nilai kompresibilitas yang tinggi dan mempunyai daya dukung yang rendah. Tanah lempung ekspansif yang banyak mengandung mineral-mineral dengan potensi mengembang (*swelling potential*) tinggi disebut sebagai tanah lempung ekspansif (Hardityatmo, 2006).

Tujuan perbaikan tanah tersebut adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil pada semua kondisi. Usaha stabilisasi dilakukan hanya seperlunya saja, tidak menguntungkan secara ekonomis untuk membuat suatu bagian konstruksi yang lebih kuat dari yang diperlukan.

Kriteria kekuatan struktural stabilisasi tanah dengan semen sebagai target proses stabilisasi diberikan dalam nilai-nilai parameter kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*) maupun nilai California Bearing Ratio (CBR). Kekuatan struktural target ini dibedakan berdasarkan peruntukkan stabilisasi ini dalam konstruksi jalan yaitu untuk lapis pondasi atau lapis pondasi bawah. Nilai UCS akan meningkat tergantung dari mineralogi tanah dan persentase *stabilizer* (kapur, semen) (Eades dan Grim, 1963).

Uji *Proctor* standar digunakan untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum dan kerapatan

kering tanah. Kerapatan kering laboratorium selanjutnya digunakan untuk perbandingan dengan kerapatan kering lapangan dalam uji *sand cone test* untuk mendapatkan kepadatan tanah di lapangan (Hardiyatmo dan Christady, 2002). Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah pada umumnya terdiri dari stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi (Hardiyatmo dan Christady, 2010).

### 2.3 California Bearing Ratio (CBR) laboratorium

Pengujian CBR digunakan untuk mengevaluasi potensi kekuatan material lapis tanah dasar, fondasi bawah dan fondasi, termasuk material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang. Prinsip pengujian CBR adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan. CBR adalah perbandingan antara bahan penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan.

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman dalam pelaksanaannya perendaman benda uji dilakukan selama 72 jam atau 3 hari sesuai tata cara uji CBR laboratorium (SNI 1744:2012). Hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman. Aplikasi kedua benda uji tersebut untuk mengetahui karakteristik dari pemadatan tanah yang telah dilakukan, dengan adanya uji perendaman dapat diketahui kondisi kritis daya dukung tanah. Untuk uji CBR *soaked*, perendaman dilakukan untuk memodelkan kondisi hujan atau kondisi terburuk di lapangan seperti banjir, yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah sehingga dapat mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan pada penurunan daya dukung tanah.

## 3. Metodologi

Penelitian yang dilakukan adalah menggunakan tanah ekspansif di daerah sekitar Universitas Musamus, Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan dimana tanah di daerah tersebut nilai PI (*plasticity index*) nya sangat tinggi dan penanganan infrastruktur akibat kerusakan tanah ekspansif belum dilaksanakan dengan baik. Sehingga masih diperlukan inovasi baru untuk mengatasi tanah ekspansif. Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil pada kedalaman 1 m dengan kondisi *undisturbed*. Sedangkan *tailing* yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sungai Ajkwa, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah. Serangkaian pengujian dilakukan di Laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Jayapura yaitu *soil properties*, kuat tekan bebas, CBR *test*, baik untuk tanah asli maupun tanah

yang telah dicampur dengan semen dan *tailing* sesuai dengan variasi persentase 5%, 10%, 15%. Pada penelitian ini, pengujian mengacu pada standar ASTM. Untuk mengetahui kekuatan tanah, digunakan uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) sesuai standar ASTM D 2166-02 (ASTM, 2002).

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui jenis dan klasifikasi tanah asli, serta pengujian untuk memperoleh parameter CBR dan potensi pengembangan, baik pada tanah asli maupun tanah yang distabilisasi. Stabilisasi dilakukan dengan menambahkan semen sebesar 8% pada tanah asli, dengan variasi penambahan *tailing* berturut-turut sebesar 5%, 10% dan 15%. Pengujian CBR dilakukan dengan variasi masa pemeraman yaitu 1, 3 dan 7 hari, baik dalam kondisi tidak terendam (*unsoaked*) maupun kondisi terendam (*soaked*).

### 3.1 Teknik pengumpulan data

Berdasarkan sumbernya, data yang dikumpulkan dibagi menjadi dua yakni data primer dan data sekunder:

- Data primer pada teknik pengumpulan data adalah data utama atau data pokok yang digunakan di dalam penelitian ini. Pada umumnya, data primer ini bisa dideskripsikan sebagai jenis data yang diperoleh langsung dari tangan pertama subjek penelitian atau responden atau narasumber, dan lain sebagainya kecuali pada riset kuantitatif. Pada penelitian ini data primer didapat dengan cara melakukan pengujian karakteristik tanah, pengujian pemadatan, pengujian kuat tekan bebas dan pengujian CBR yang kemudian hasil dari pengujian-pengujian tersebut dianalisis sesuai dengan metode yang digunakan pada penelitian ini.
- Data sekunder merupakan data dalam teknik pengumpulan data yang menjadi data pelengkap. Artinya data tersebut diperoleh tidak melalui tangan pertama responden atau narasumber, melainkan dari tangan kedua, tangan ketiga, dan seterusnya. Sama halnya dengan data primer, pengecualian ini berlaku pada riset kuantitatif. Pada penelitian ini semen dan *tailing* merupakan data sekunder yang diperoleh dari jurnal-jurnal ilmiah maupun penelitian-penelitian terdahulu dan lain sebagainya sebagai media yang tepat untuk mendapatkan data sekunder.

### 3.2 Standar pengujian tanah di laboratorium

Pengujian laboratorium yang akan dilakukan terhadap sampel tanah yang telah diambil dari lapangan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- Studi literatur merupakan tahapan yang bertujuan untuk mempelajari dan memahami teori-teori yang terkait serta penelitian terdahulu yang sejenis dengan penelitian yang akan dilakukan
- Pengambilan dan persiapan sampel, tanah lempung yang digunakan berasal dari daerah sekitar

Tabel 1. Standar Pengujian Karakteristik Tanah

| No | Jenis Pemeriksaan                                                                                                      | Standar/Metode Uji                                               |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1  | Pemeriksaan Klasifikasi Tanah                                                                                          | AASTHO, ASTM                                                     |
| 2  | Pengujian Kuat Tekan Bebas                                                                                             | SNI 3638:2012                                                    |
| 3  | Pemeriksaan Analisa Saringan<br>Pemeriksaan Analisa Hidrometer                                                         | SNI 3423:2008<br>SNI 3423:2008                                   |
| 4  | Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg:<br>Batas Cair (LL)<br>Batas Plastis (PL)<br>Batas Susut (SL)<br>Indeks Plastis (IP) | SNI 1967:2008<br>SNI 1966:2008<br>SNI 3422:2008<br>SNI 1966:2008 |

Universitas Musamus, Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0,5-1 meter dari permukaan tanah,

- c. Pengujian sifat mekanis awal pada tanah lempung organik, yang meliputi uji pemadatan tanah standar *Proctor* (ASTM D 698-78), uji CBR rendaman (*soaked*) (D 1883), serta uji potensi pengembangan (*swelling test*) (ASTM D 4546-1990), dilakukan di laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Jayapura, Papua,
- d. Tahap pra-stabilisasi merupakan pencampuran antara tanah lempung dengan 3 variasi kadar *tailing* PT Freeport, yaitu 10%, 15% dan 20%, kemudian dilakukan pemeraman selama 3 hari,
- e. Tahap stabilisasi merupakan pencampuran tanah hasil campuran dari tahap pra-stabilisasi, kemudian ditambahkan masing-masing 8% semen, lalu kembali dilakukan pemeraman selama 3 hari,
- f. Pengujian sifat mekanis akhir terhadap tanah hasil stabilisasi (tanah lempung + 5, 10, dan 15 *tailing* + 8% semen) yang telah diperam selama 6 hari meliputi uji pemadatan standar *Proctor* (ASTM D 698-78), uji CBR rendaman (*soaked*) (ASTM D 1883), pengujian tersebut dilakukan di laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Jayapura, Papua,

## 4. Hasil Penelitian

### 4.1 Analisis karakteristik *tailing*

Berdasarkan pengujian berat jenis *tailing* diketahui bahwa nilai berat jenisnya adalah 2,76 untuk agregat halus, nilai ini menunjukkan bahwa bahan *tailing* mempunyai berat jenis yang memenuhi persyaratan batuan yang digunakan dalam campuran yaitu minimum 2,5.

Hasil pengujian karakteristik *tailing* PT. Freeport yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada **Tabel 2**, terlihat bahwa *tailing* dapat digunakan dalam

campuran, baik untuk lapis permukaan maupun untuk lapis pondasi. Pada campuran Laston dan Lataston, *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus. Penggunaan *tailing* dalam campuran Latasir dapat digunakan sebagai substitusi pasir. Untuk lapis pondasi, *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus.

Pada **Tabel 2** juga menunjukkan berat jenis jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD) berkisar 2,48 - 2,86 dengan kepadatan gembur sekitar 1,23 - 1,79 kg/l dan mempunyai ketahanan terhadap cuaca yang baik dimana hasil dengan *soundness* menunjukkan nilai sekitar 2,00% - 8,00% (batas maksimum 10%).

Berdasarkan **Tabel 3**, dapat diketahui bahwa *tailing* PT. Freeport mengandung unsur kimia silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 69,32%, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebesar 6,86%, kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) sebesar 16,04% dan oksida lain (yang terbakar pada saat pengujian) yaitu 7,78%.

### 4.2 Analisis perencanaan campuran

Tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah yang diambil dari daerah Dusun Kalipai, Distrik Waris, Kabupaten Keerom. Pengambilan material *tailing* berlokasi di sungai Ajkwa Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. Secara visual tanah terlihat berwarna cokelat kehitaman apabila dalam keadaan basah dan berwarna cokelat pucat dalam keadaan kering. Pada keadaan basah tanah terasa sedikit lengket jika terkena air, tanah menjadi licin dan lengket di tangan, mudah dibentuk dan terkesan plastis, sedangkan bertekstur keras sehingga tidak mudah diremas pada kondisi kering.

Berdasarkan pengujian karakteristik tanah asli yang telah dilakukan maka didapatkan hasil dari pengujian kadar air, berat jenis dan batas-batas atterberg serta distribusi ukuran butir pada **Tabel 4**.

Berdasarkan **Tabel 4**, maka dapat dilihat bahwa kandungan air tanah di dalam sampel tanah yang diuji terbilang tinggi. Hal ini dikarenakan tanah yang

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik *tailing*

| No | Pengujian                    | Nilai       | Satuan |
|----|------------------------------|-------------|--------|
| 1  | Berat Jenis Kering Permukaan | 2,48 – 2,86 | -      |
| 2  | Pengujian Kuat Tekan Bebas   | 1,23 – 1,79 | kg/l   |
| 3  | Pemeriksaan Analisa Saringan | 2,00 – 8,00 | %      |

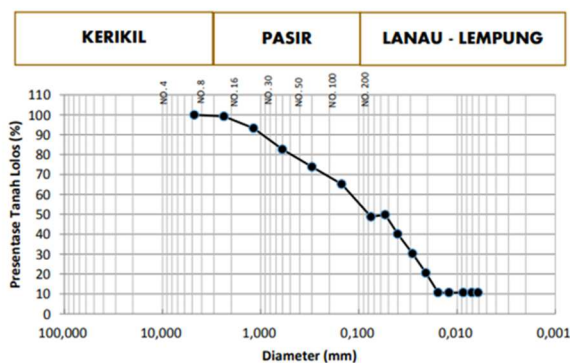
Tabel 3. Hasil pengujian kimia *tailing*

| Unsur Kimia             | Hasil Pengujian (%) |
|-------------------------|---------------------|
| $\text{SiO}_2$          | 69,32               |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 6,86                |
| $\text{CaO}$            | 16,04               |
| Oksida lain             | 7,78                |

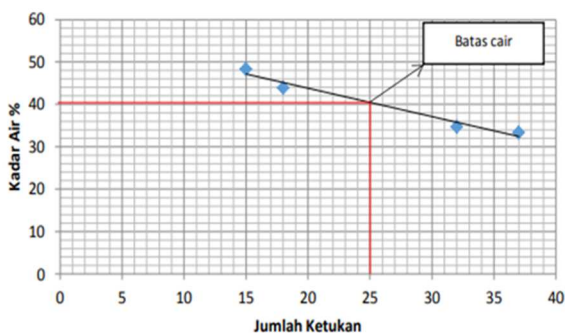
Tabel 4. Hasil pengujian karakteristik tanah asli

| Pengujian                           | Hasil Pemeriksaan  | Satuan             |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Kadar Air                           | 22,08              | %                  |
| Berat Jenis (Gs)                    | 2,75               | -                  |
| Batas-Batas Atterberg               |                    |                    |
| Batas Susut                         | 9,63               | %                  |
| Batas Cair (LL)                     | 40,09              | %                  |
| Batas Plastis (PL)                  | 11,12              | %                  |
| Indeks Plastisitas (PI)             | 28,96              | %                  |
| Distribusi Ukuran Butir             |                    |                    |
| Lolos 200#                          | 48,80              | %                  |
| Kerikil                             | 0,80               | %                  |
| Pasir                               | 16,60              | %                  |
| Lanau                               | 33,80              | %                  |
| Lempung                             | 48,80              | %                  |
| Tipe Material yang Paling Dominan   | tanah lempung      |                    |
| Penilaian Sebagai Bahan Tanah Dasar | biasa sampai jelek |                    |
| Klasifikasi Kelompok Tanah          | A-6                |                    |
| Karakteristik Mekanik               |                    |                    |
| Pemadatan                           |                    |                    |
| $\gamma_{dry}$                      | 1,54               | gr/cm <sup>3</sup> |
| $\omega_{opt}$                      | 21,52              | %                  |
| Kuat Tekan                          | 9,61               | kg/cm <sup>3</sup> |

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Jayapura, 2022)



Gambar 3. Grafik analisis saringan dan analisis hidrometer

Gambar 4. Grafik pengujian batas cair (*liquid limit test*)

bertekstur halus mempunyai daya menahan air yang lebih besar daripada tanah yang bertekstur kasar. Tanah tersebut juga memiliki nilai Indeks Plastisitas (PI) tinggi yaitu sebesar 28,96%. Hal ini tidak memenuhi syarat nilai PI yaitu <10% (Sukirman, 1992).

Sifat fisis tanah juga dapat diketahui melalui indeks plastisitas tanah. Nilai indeks plastisitas tanah dapat diketahui melalui pengujian batas-batas Atterberg. Batas-batas Atterberg ini menunjukkan batas antara masing-masing keadaan tanah. Tanah di lokasi sekitar Universitas Musamus, Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan diklasifikasikan sebagai A-6 berdasarkan klasifikasi AASTHO.

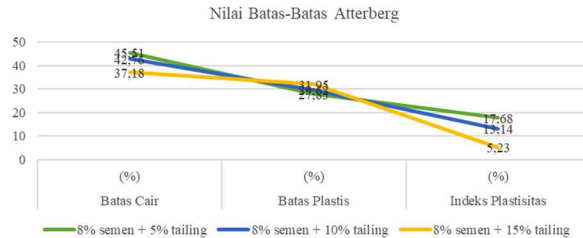
Hasil pengujian sifat-sifat indeks tanah dapat dilihat pada Tabel 5. Sedangkan berdasarkan hasil dari pengujian distribusi ukuran butiran menunjukkan bahwa fraksi lempung (butiran lebih kecil dari 0,002 mm adalah sebesar 48,80%.

#### 4.3 Hasil uji properties setelah stabilisasi

Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan propertis tanah seperti batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak campuran *tailing* nilai dari batas cair (*liquid limit*) semakin menurun. Penurunan terjadi karena tanah mengalami sementasi sehingga butiran tanah menjadi lebih besar yang mengakibatkan gaya tarik menarik antar partikel semakin menurun. Nilai batas plastis (*plastic limit*) semakin turun dengan bertambahnya campuran kadar *tailing*. Penurunan dapat terjadi karena kenaikan nilai kohesi tanah yang menyebabkan ikatan antar tanah semakin melekat. Sehingga tanah mendekati sifat semi padat karena kandungan air pada tanah tersebut kecil. Nilai Indeks Plastisitas (*plasticity index*) menurun dengan bertambahnya kadar *tailing*. Hal ini dapat disebabkan karena kondisi tanah menjadi lebih berbutir dan sehingga mengurangi sifat plastis tanah.

Tabel 5. Hasil pengujian batas cair, batas plastis dan nilai indeks plastisitas tanah campuran

| Kadar                  | Batas Cair (%) | Batas Plastis (%) | Indeks Plastisitas (%) |
|------------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| 8% semen + 5% tailing  | 45.51          | 27.83             | 17.68                  |
| 8% semen + 10% tailing | 42.76          | 29.62             | 13.14                  |
| 8% semen + 15% tailing | 37.18          | 31.95             | 5.23                   |



Gambar 5. Grafik nilai batas-batas atterberg setelah stabilisasi menggunakan semen dan tailing

#### 4.4 Hubungan penambahan semen dan tailing terhadap nilai kuat tekan bebas dan CBR

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan semen dan tailing mempengaruhi nilai kuat tekan bebas tanah. Tanah asli memiliki nilai kuat tekan bebas yaitu 9,61 kg/cm<sup>2</sup> setelah distabilisasi menggunakan kadar 8% semen dan tailing dengan variasi kadar 5%; 10%; dan 15% didapat nilai kuat tekan bebas sebesar 21,73 kg/cm<sup>2</sup>, 24,95 kg/cm<sup>2</sup> dan 26,19 kg/cm<sup>2</sup>.

Hasil pengujian dengan variasi tailing 5%; 10%; 15% dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 6.

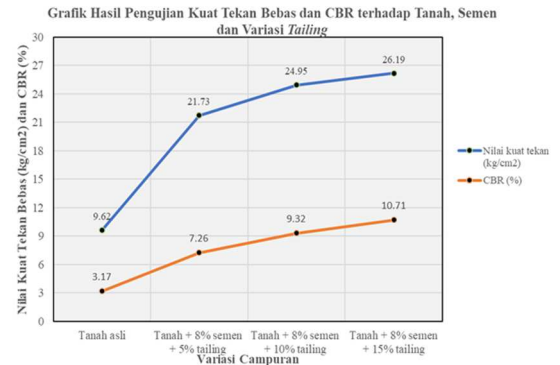
Pada pengujian *California Bearing Ratio*, nilai daya dukung (CBR) mengalami peningkatan semula sebesar



Gambar 6. Pengujian kuat tekan bebas (unconfined compression strength test)

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan bebas tanah, semen dan variasi tailing

| No. | Variasi Campuran               | Nilai kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> ) | CBR (%) |
|-----|--------------------------------|----------------------------------------|---------|
| 1   | Tanah asli                     | 9,62                                   | 3,17    |
| 2   | Tanah + 8% semen + 5% tailing  | 21,73                                  | 7,26    |
| 3   | Tanah + 8% semen + 10% tailing | 24,95                                  | 9,32    |
| 4   | Tanah + 8% semen + 15% tailing | 26,19                                  | 10,71   |



Gambar 7. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas dan CBR pada variasi campuran

3,17% menjadi 10,71% untuk variasi campuran tanah lempung + 8% semen +15% tailing. Berdasarkan distribusi butiran tailing, maka secara umum tailing dapat digunakan dalam campuran, baik untuk lapis permukaan maupun untuk lapis pondasi, sebagai pengganti agregat seukuran pasir.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan seperti di bawah ini:

1. Tanah di daerah sekitar Universitas Musamus, Rimba Jaya, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan memiliki nilai berat jenis tanah 2,76 dengan nilai indeks plastisitas (PI) yaitu 28,96%.
2. Berdasarkan pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strength Test*) menunjukkan penambahan semen dan tailing mempengaruhi nilai kuat tekan bebas tanah. Tanah asli memiliki nilai kuat tekan bebas yaitu 9,62 kg/cm<sup>2</sup> setelah distabilisasi menggunakan kadar semen 8% dan tailing dengan beberapa variasi kadar yaitu 5%; 10%; dan 15% didapat nilai kuat tekan bebas sebesar 21,73 kg/cm<sup>2</sup>, 24,95 kg/cm<sup>2</sup>; dan 26,19 kg/cm<sup>2</sup>.
3. Nilai daya dukung (CBR) mengalami peningkatan semula sebesar 3,17% menjadi 10,71% untuk variasi campuran tanah lempung + 8% semen +15% tailing. Berdasarkan distribusi butiran tailing, maka secara umum tailing dapat digunakan dalam campuran, baik untuk lapis permukaan maupun untuk lapis pondasi, sebagai pengganti agregat seukuran pasir.

## Daftar Pustaka

- Abdullah, W. S. & Alsharqi, A. S. (2011). *Rehabilitation of medium expansive soil using cement treatment*. Jordan Jurnal of Civil Engineering, 5(3), 343-356.

- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., & Alcover, J. F. (2010). *Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 C*. Applied Clay Science, 50(2), 191-198
- Bhuvaneshwari, S., Robinson, R. G. & Gandhi (2005). *Stabilization of expansive soils using flyash*. Flay Ash India 2005, New Delhi.
- Bowles, J. 1984. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.
- Bozbey, I., & Garaisayev, S. (2010). *Effects of soil pulverization quality on lime stabilization of an expansive clay*. Environmental Earth Sciences, 60(6), 1137-1151. DOI 10.1007/s12665-009-0256-5.
- Cokca, E., Yazici, V., & Ozaydin, V. (2009). *Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS) and GBFS-cement*. Geotechnical and Geological Engineering, 27(4), 489-499. DOI 10.1007/s10706-008-9250-z
- Eades, J. E., Nichols, F. P., and Grim, R. E., 1963, *Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Proven by Field Experiments in Virginia*, Highway Research Bulletin 335
- Fattah, M. Y., Salman, F. A., & Nareeman, B. J. (2010). *A treatment of expansive soil using different additives*. Acta Montanistica Slovaca, 15(4), 290-297.
- Gueddouda, M. K., Goual, I., Lamara, M., Smaida, A., & Mekarta, B. (2011). *Chemical stabilization of expansive clays from Algeria*. Global Journal of researches in engineering (J: General Engineering), 11(5), 1-8.
- Hardiyatmo, H. C., 2006. *Mekanika Tanah I, edisi IV*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Malhotra, M., & Naval, S. (2013). *Stabilization of expansive soils using low cost materials*. International Journal of Engineering and Innovative Technology, 2(11), 181-184.
- Neeraja, D., & Rao Narsimha, A. V. (2010). *Use of certain admixtures in the construction of pavement on expansive clayey subgrade*. International Journal of Engineering Science and Technology, 2(11), 6108-6114.
- Nujid, M.M., dkk, 2019, *Correlation Between California Bearing Ratio (CBR) with Plasticity Index of Marine Stabilizes Soil with Cockle Shell Powder*, Journal of Physics: Conference Series.
- Ramadas, T. L., Kumar, N. D., & Yesuratnam, G. (2012). *A study on strength and swelling characteristics of three expansive soils treated with CaCl 2*. Int J Adv Civ Eng Arch, 1(1), 77-86.
- Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung
- Suraatmadja D, Munaf DR, Lationo B, 1998. *Copper Tailing Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Untuk Material Beton*.
- Wardani, S. P. R., Hardiyati, S., Muhrozi, M., & Pardoyo, B. (2015). *Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pada tanah dasar di daerah Godong-Purwodadi Km 50 Kabupaten Grobogan*. Media Komunikasi Teknik Sipil, 21(1), 13-22.