

Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan Calcium Hidroksida Ca(OH)_2 dan Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Parea Rusan Rangan, Ermitha A. R. Dendo, Hernita Matana, Jufri Manga', Zwengly Lodi Honta, Escher Kalapadang, Yohanis B. Lotim, Yulius Pasarrin, Letty A.R

¹ Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja

pareausanrangan68@gmail.com, ambun.rombe@gmail.com, hernita_nink@vmail.com,

jufri manga77@gmail.com, pong.eser@gmail.com, aniestbara@vmail.com, yuliuspasarrin@gmail.com, lettykarpen@gmail.com

*corresponding author

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

California Bearing Ratio,
Stabilisasi tanah,
Calcium hidroksida
 Ca(OH)_2 ,
Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Penelitian dilakukan pada laboratorium dengan metode uji experimental. Dimana pengujian experimental meliputi pengujian karakteristik tanah, pengujian sifat fisik tanah, yang berpatokan pada SNI 03-1744-1989. Dimana sampel tanah di stabilisasi menggunakan calcium hidroksida Ca(OH)_2 dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Calcium hidroksida Ca(OH)_2 dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dapat sebagai bahan stabilisasi tanah, dimana calcium hidroksida Ca(OH)_2 dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang dicampur dengan tanah dapat meningkatkan nilai CBR. Nilai CBR pemeraman 1 hari sebesar 5,56% dan pemeraman 3 hari sebesar 3,93%, apabila tanah mengalami pencampuran dengan variasi campuran 0% calcium hidroksida dan 3% tawas dengan pemeraman 1 hari mengalami penurunan sebesar 5,13%, pada pemeraman 3 hari mengalami kenaikan sebesar 5,33% dan mengalami kenaikan pada penambahan 0% tawas dan 3% calcium hidroksida dengan pemeraman 1 hari sebesar 9,83% dan pemeraman 3 hari sebesar 10,333%, kemudian pada tanah campuran 6% tawas dan 3% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 8% dan pemeraman 3 hari sebesar 18,22%, kemudian pada tanah campuran 3% tawas dan 6% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 30,90% dan pemeraman 3 hari sebesar 56,26%, kemudian pada tanah campuran 9% tawas dan 6% calcium hidroksida juga mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 9,61% dan pemeraman 3 hari sebesar 7,22%, dan pada tanah campuran 6% tawas dan 9% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 54,59% dan pemeraman 3 hari sebesar 59,50%.

Keywords:

California Bearing Ratio,
Soil stabilization,
Calcium hydroxide
 Ca(OH)_2 ,
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

ABSTRACT

Research conducted in the laboratory with experimental test methods. Where experimental testing includes testing soil characteristics, testing soil physical properties, which is based on SNI 03-1744-1989. Where the soil sample was stabilized using calcium hydroxide Ca(OH)_2 and alum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Calcium hydroxide Ca(OH)_2 and alum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ can be used as soil stabilizers, where calcium hydroxide Ca(OH)_2 and alum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mixed with soil can increase the CBR value. The CBR value of 1-day curing was 5.56% and 3-day curing was 3.93%, if the soil was mixed with variations of a mixture of 0% calcium hydroxide and 3% alum with 1-day curing, it decreased by 5.13%, at 3 curing day increased by 5.33% and increased with the addition of 0% alum and 3% calcium hydroxide with 1 day curing of 9.83% and 3-day curing of 10.333%, then on mixed soil 6% alum and 3% calcium hydroxide experienced an increase in 1 day curing of 8% and 3 days of curing by 18.22%, then on mixed soils of 3% alum and 6% calcium hydroxide, an increase in 1 day curing of 30.90% and 3 days curing of 56.26%, then on the mixed soil 9% alum and 6% calcium hydroxide also increased at 1 day curing by 9.61% and 3 days curing by 7.22%, and in mixed soil 6% alum and 9% calcium hydroxide experienced an increase in curing man 1 day by 54.59% and curing 3 days by 59.50%.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. Pendahuluan

Definisi Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan (Dokuchaev 1870). Tanah merupakan aspek penting dalam perencanaan konstruksi. Karena pada tanahlah berdiri suatu bangunan, oleh karena itu sangat penting untuk memperhatikan faktor kestabilan tanah.

Kapur adalah sebuah benda putih dan halus terbuat dari batu sedimen, membentuk bebatuan yang terdiri dari mineral kalsium. Biasanya kapur relatif terbentuk di laut dalam dengan kondisi bebatuan yang mengandung lempengan kalsium plates (*coccoliths*) yang dibentuk oleh mikroorganisme *coccolithophores*. Biasanya lazim juga ditemukan batu api dan *chert* yang terdapat dalam kapur.

Aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$), biasanya disebut tawas, bahan ini sering dipakai secara efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol, tidak mudah terbakar, ekonomis, mudah didapat dan mudah disimpan. Penggunaan tawas memiliki keuntungan yaitu harga relatif murah dan sudah dikenal luas.

Dalam pengertian luas, yang dimaksud Stabilitas tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah atau dapat pula, stabilitas tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan atau pencampuran tanah dengan bahan-tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti : kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah sampai teknik yang lebih mahal seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, dan lain-lain. (Rangan P. R., 2019) Dalam hal ini yang akan dibahas adalah stabilitas tanah dengan kapur. Pengertian stabilitas tanah kapur. Stabilitas tanah kapur yaitu mencampur tanah dengan kapur dan air pada lokasi pekerjaan di lapangan untuk merubah sifat-sifat tanah tersebut menjadi material yang lebih baik. (Rangan & Tandy Arrang, 2020).

Berdasarkan latar belakang diatas maka yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah apakah calcium hidroksida $Ca(OH)_2$ dan tawas $Al_2(SO_4)_3$ dapat di gunakan sebagai bahan stabilisasi dan bagaimana pengaruh calcium hidroksida $Ca(OH)_2$ dan tawas $Al_2(SO_4)_3$ sebagai bahan stabilisasi tanah terhadap daya dukung tanah di tinjau dari nilai CBR.

II. Landasan Teori

2.1 Tanah

Istilah "tanah" dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan untuk mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai kerikil jadi semua endapan alam yang bersangkutan dengan teknik sipil kecuali batuan.

Tanah dibentuk oleh karena adanya pelapukan fisika dan kimiawi pada batuan. Pelapukan fisika terjadi atas dua jenis. Jenis yang pertama yaitu penghancuran yang disebabkan oleh pembasahan dan pengeringan terus-menerus atau pengaruh salju atau es. Jenis yang kedua yaitu pengikisan, akibat air, angin atau sungai es. Proses ini menghasilkan butir yang kecil sampai yang besar, namun komposisinya masih tetap sama dengan batuan asalnya. Butir lanau dan pasir biasanya terdiri atas satu jenis mineral saja. Butir lebih kasar terdiri atas beberapa jenis mineral, seperti halnya pada batuan asalnya. Perlu dimengerti bahwa pelapukan fisika tidak pernah menghasilkan tanah bersifat lempung. Untuk menghasilkan lempung, harus ada juga pelapukan kimiawi.

Pelapukan kimiawi adalah proses yang lebih rumit daripada pelapukan fisika. Pelapukan kimiawi memerlukan air serta oksigen dan karbon dioksida. Proses kimiawi ini mengubah mineral yang terkandung dalam batuan menjadi jenis mineral lain yang sangat berbeda sifatnya. (Rangan, Irmawaty, Amiruddin, & Bakri, 2020). Mineral baru ini disebut mineral lempung (*clay minerals*). Jenis mineral ini yang terkenal adalah kaolinite, illite, dan montmorillonite. Mineral ini masih termasuk bahan yang disebut kristalin dan besarnya lebih kecil dari 0,002 mm. Mineral lempung inilah yang menghasilkan sifat lempung yang khusus, yaitu kohesi serta plastisitas.

Jenis mineral lempung yang dihasilkan pada suatu keadaan tertentu tergantung pada batuan asal dan lingkungan pelapukan. Faktor yang sangat penting diperhatikan adalah iklim, kondisi topografinya, dan nilai pH dari air yang merembes dalam tanah. Misalnya, kaolinite dibentuk dari mineral feldspar akibat air dan karbon dioksida. Selain dari pelapukan fisika dan kimiawi, ada faktor lain yang terlibat dalam cara pembentukan tanah. Faktor terpenting adalah pengangkutan butir tanah dan kemudian dan pengendapannya dilain tempat.

Tanah yang terbentuk langsung akibat pelapukan kimiawi disebut tanah residu (*residual soil*). Tanah ini tetap pada tempat pembentukannya di atas batuan asalnya. Hujan menyebabkan erosi dan tanah diangkut melalui sungai sampai mencapai laut atau danau. Disini terjadi pengendapan lapisan demi lapisan pada asar

laut atau danau. Proses ini dapat berlangsung selama ribuan atau jutaan tahun. Tanah ini disebut tanah endapan (*sedimentary soil*) atau tanah yang terangkut (*transported soil*) (Wesly, 2010).

2.1.1 Karakteristik tanah

Menurut Pamungkas A dan Harianti E (2013) dalam buku “Desain Pondasi Tahan Gempa” dalam merencanakan struktur bawah diperlukan data-data mengenai karakteristik tanah tempat struktur tersebut berada dan beban struktur yang bekerja di atas struktur bawah yang direncanakan. Karakteristik tanah meliputi jenis lapisan tanah di bawah permukaan tanah, kadar air, tinggi muka air tanah. Beban struktur yang bekerja tergantung pada jenis material yang digunakan, jenis-jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut.

Pamungkas A dan Harianti E (2013), juga mengatakan bahwa karakteristik tanah dapat diketahui dengan diadakannya penyelidikan tanah yang pada akhirnya akan menerangkan tentang kondisi tanah dan jenis lapisannya. Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu sebagai berikut :

1. Sondir, dilakukan dengan menggunakan alat sondir yang dapat mengukur nilai perlawanan konus (*Cone Resistance*) dan hambatan lekat (*Local Friction*) secara langsung di lapangan. Hasil dari penyondiran kemudian disajikan dalam bentuk diagram sondir yang memperlihatkan hubungan antara kedalaman sondir di bawah muka tanah dan besarnya nilai perlawanan konus (q_c) serta jumlah hambatan pelekat (T_f).
2. Deep Boring, dilakukan dengan menggunakan mesin bor untuk mendapatkan contoh tanah. Pekerjaan Standar Penetration Test (SPT) juga dilakukan pada pekerjaan boring.
3. Standar penetration test, dilakukan pada lubang bor setelah pengambilan contoh tanah pada setiap beberapa interval kedalaman. Cara uji dilakukan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi per lapisan tanah dan hasil dari SPT disajikan dalam bentuk diagram pada boring log.

2.1.2 Sifat-sifat tanah

1. Warna Tanah

Warna tanah merupakan salah satu sifat yang mudah dilihat dan menunjukkan sifat dari tanah tersebut. Warna tanah merupakan campuran komponen lain yang terjadi karena mempengaruhi berbagai faktor atau persenyawaan tunggal. Urutan warna tanah adalah hitam, coklat, karat, abu-abu, kuning dan putih (Syarief, 1979).

Warna tanah dengan akurat dapat diukur dengan tiga sifat-sifat prinsip warnanya. Dalam menentukan warna cahaya dapat juga menggunakan Munsell Soil Colour Chart sebagai pembeda warna tersebut. Penentuan ini meliputi penentuan warna dasar atau matrik, warna karatan atau kohesi dan humus. Warna tanah penting untuk diketahui karena berhubungan dengan kandungan bahan organik yang terdapat di dalam tanah tersebut, iklim, drainase tanah dan juga mineralogi tanah (Thompson dan Troen, 1978).

Mineral-mineral yang terdapat dalam jumlah tertentu dalam tanah kebanyakan berwarna agak terang (*light*). Sebagai akibatnya, tanah-tanah itu

berwarna agak kelabu terang, jika terdiri dari mineral-mineral serupa itu yang sedikit mengalami perubahan kimiawi.

Warna gelap pada tanah umumnya disebabkan oleh kandungan tinggi dari bahan organik yang terdekomposisi, jadi, dengan cara praktis persentase bahan organik di dalam tanah diestimasi berdasarkan warnanya. Bahan organik di dalam tanah akan menghasilkan warna kelabu gelap, coklat gelap, kecuali terdapat pengaruh mineral seperti besi oksida ataupun akumulasi garam-garam sehingga sering terjadi modifikasi dari warna-warna di atas

2. Kadar Air

Hakim et al (1986), mengatakan metode umum yang biasa dipakai untuk menentukan jumlah air yang dikandung oleh tanah adalah persentase terhadap tanah kering. Bobot tanah yang lembab dalam hal ini dipakai karena keadaan lembab sering bergejolak dengan keadaan air.

Menurut Hanafiah (2005) Kadar dan ketersediaan air tanah sebenarnya pada setiap koefisien umum bervariasi terutama tergantung pada tekstur tanah, kadar bahan organik tanah, senyawa kimiawi dan kedalaman solum/lapisan tanah. Di samping itu, faktor iklim dan tanaman juga menentukan kadar dan ketersediaan air tanah. Faktor iklim juga berpengaruh meliputi curah hujan, temperatur dan kecepatan yang pada prinsipnya terkait dengan suplai air dan evapotranspirasi. Faktor tanaman yang berpengaruh meliputi bentuk dan kedalaman perakaran, toleransi terhadap kekeringan serta tingkat dan stadia pertumbuhan, yang pada prinsipnya terkait dengan kebutuhan air tanaman.

Kadar air juga disebut water content didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diteliti. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui kadar air suatu sampel tanah dengan perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering. Pada pengujian kadar air peneliti menggunakan 9 sampel tanah yang dimasukkan kedalam timbox untuk diuji. 3. Pematatan Tanah

Pematatan dapat dikatakan sebagai proses pengeluaran udara dari pori-pori tanah dengan salah satu cara mekanis. Cara mekanis digunakan dilapangan biasanya dengan menggalis, sedangkan dilaboratorim dengan cara menumbuk atau memukul. Daya pematatan ini tergantung pada kadar air, meskipun digunakan energy yang sama, nilai kepadatan yang akan diperoleh akan berbeda-beda. Kadar air akhir sampel tanah pada percobaan pematatan dihitung sebagai berikut:

$$D = B + \frac{(B + C)}{A} \times 100$$

Di mana :

D = kadar air yang dicari (%)

C = penambahan air (cc)

B = kadar air mula (%)

A = berat tanah (gr)

4. CBR

CBR (The California Bearing Ratio) test adalah test kekuatan sederhana yang membandingkan daya dukung dari material dengan batu hancur berkualitas tinggi (dengan demikian, material batu hancur berkualitas tinggi harus memiliki CBR @ 100%). Hal ini terutama ditujukan untuk, tetapi tidak terbatas pada, mengevaluasi kekuatan bahan kohesif yang memiliki ukuran partikel maksimum kurang dari 19 mm (0,75 inci) (AASHTO, 2000 [1]). Ini dikembangkan oleh Divisi California Jalan Raya sekitar tahun 1930 dan kemudian diadopsi oleh banyak negara bagian, kabupaten, agen federal AS dan internasional. Akibatnya, sebagian besar lembaga dan laboratorium geoteknik komersial di AS dilengkapi untuk melakukan tes CBR.

2.1.3 Klasifikasi tanah

Santosa Budi, dkk (1998) menyatakan bahwa tanah merupakan materi dasar yang menerima sepenuhnya penyaluran beban yang ditimbulkan akibat dari konstruksi dari suatu bangunan yang dibuat di atasnya. Tanah mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda-beda, sehingga diperlukan pemahaman yang baik tentang masalah tanah ini. Klasifikasi tanah diperlukan untuk memberikan gambaran tentang sifat-sifat tanah dalam perencanaan suatu dan pelaksanaan suatu konstruksi.

Beberapa metode klasifikasi tanah antara lain sebagai berikut :

1. Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir
2. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASTHO
3. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS

2.2 Tanah lempung

Wikipedia (2013), lempung atau tanah liat adalah partikel mineral berkerangka dasar silika yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Mahida (1984), medefinisikan tanah liat sebagai campuran partikel-partikel pasir dan debu dengan bagian-bagian tanah liat yang mempunyai sifat-sifat karakteristik yang berlainan dalam ukuran yang kira- kira sama. Salah satu ciri partikel-partikel tanah liat yaitu mempunyai muatan ion positif yang dapat dipertukarkan. Material tanah liat mempunyai daya serap yang baik terhadap perubahan kadar kelembapan karena tanah liat mempunyai luas permukaan yang sangat besar.

Bowles (1991), mendefinisikan tanah liat atau lempung sebagai deposit yang mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm. Tanah liat dengan ukuran mikrokonis sampai dengan submikrokonis ini terbentuk dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan.

Terzaghi (1987), tanah liat atau lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah

dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Lempung atau tanah liat adalah suatu silika hidraaluminium yang kompleks dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$ dimana n dan k merupakan nilai numeric molekuler yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya, ada atau tidaknya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang besar. Partikel-partikel lempung juga mempunyai tenaga tarik antar partikel yang sangat kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada suatu bongkahan kering (batu lempung).

Hardiyatmo (1999), sifat-sifat yang dimiliki tanah liat atau lempung adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran butir halus kurang dari 0,002 mm
- b. Permeabilitas rendah
- c. Bersifat sangat kohesif
- d. Kadar kembang susut yang tinggi
- e. Proses konsolidasi lambat

Aphin (2012), lempung atau tanah liat ialah kata umum untuk partikel mineral yang mengandung unsur silika yang memiliki diameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung mengandung leburan silika dan aluminium dengan ukuran partikel yang halus. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket saat basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon dan satu lapis oksida aluminium. Mineral lempung golongan 2:1 memiliki sifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan membesar saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah dapat membentuk kerutan-kerutan atau "pecah-pecah" bila kering.

Tanah liat dapat dibedakan dengan tanah yang lainnya berdasarkan ukuran dan kandungan mineraloginya. Slits, yang halus tanah yang tidak termasuk mineral lempung, cenderung memiliki ukuran partikel lebih besar dari tanah liat, tetapi ada beberapa tumpang tindih di kedua ukuran partikel dan sifat fisik lainnya, dan ada banyak deposito alami yang meliputi *silts* dan juga tanah liat. Perbedaan antara lumpur dan tanah liat bervariasi. Ahli geologi dan ilmuwan tanah biasanya mempertimbangkan pemisahan terjadi pada ukuran partikel dari 2 μm (tanah liat halus yang dari silts), sedimentologists sering menggunakan μm 4-5, dan koloid kimia menggunakan 1 μm . Insinyur Geoteknik membedakan antara *silts* dan tanah liat berdasarkan sifat plastisitas tanah yang diukur dengan ' Batas Atterberg'. Sedangkan ISO 14688 partikel tanah liat sebagai nilai lebih kecil dari 2 μm dan silts lebih besar.

Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu :

1. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisanlapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung merupakan perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 2 μm yang dinotasikan dengan huruf C dan disederhanakan dalam persamaan

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung.

klasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya yakni :

- a. Montmorillonite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 7,2$
 - b. Illite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,9$ dan $< 7,2$
 - c. Kaolinite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,38$ dan $< 0,9$
 - d. Polygorskite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $< 0,38$
- ### 3. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal ("amophus") maka daya negatif netto, ion-ion H⁺ di dalam air, gaya Van der Waals, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok ("flock") yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H⁺), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala thixotropik ("Thixopic"), dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

4. Pengaruh Air

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (Ccl 4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

5. Sifat Kembang Susut

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- b. Kadar air.
- c. Susunan tanah.
- d. Konsentrasi garam dalam air pori.
- e. Sementasi.
- f. Adanya bahan organik, dll.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk mengembang dan menyusut.

2.3 Stabilisasi tanah

Defenisi stabilisasi tanah Stabilisasi tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut Bowles J. E. (1986), cara untuk melakukan stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi atau tahanan geser.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Mengganti tanah yang kurang baik.

Menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu:

1. Cara mekanis Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan- bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis, dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan
2. kepadatan tanah yang maksimum. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dengan fraksi tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.
3. Cara fisik Perbaikan tanah dengan cara fisik ini yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti hidrasi, absorpsi/penyerapan air, pemanasan, pendinginan, dan menggunakan arus listrik.

4. Cara kimiawi Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Pencampuran bahan kimia yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan semen, kapur, abu batubara, dan sebagainya. Metode stabilisasi yang paling sering dilakukan adalah metode stabilisasi mekanis dan kimiawi. Stabilisasi dengan semen cocok untuk tanah yang tidak kohesif, yaitu tanah berpasir dan kerikil yang mengandung sedikit tanah berbutir halus, sedangkan kapur dan pozzolan cocok untuk tanah kohesif (Soedarmo dan Purnomo, 1997). Kapur yang biasa digunakan dalam stabilisasi adalah kapur hidup (quicklime, CaO) dan kapur padam (calcium hydroxide, Ca(OH)₂) yang merupakan produk pembakaran batu kapur.

2.4 Kapur

2.4.1 Pengertian kapur

Kapur adalah sebuah benda putih dan halus terbuat dari [batu sedimen](#), membentuk [bebatuan](#) yang terdiri dari [mineral kalsium](#). Biasanya kapur relatif terbentuk di laut dalam dengan kondisi bebatuan yang mengandung lempengan [kalsium plates](#) ([coccoliths](#)) yang dibentuk oleh mikroorganisme [coccolithophores](#). Biasanya lazim juga ditemukan [batu api](#) dan [chert](#) yang terdapat dalam kapur. Untuk mengatasi pH tanah maupun pH air yang masam salah satu cara yang efektif yakni dengan pengapuran, pemberian kapur disaat pengolahan tanah sangat dianjurkan selain ngatasi pH yang rendah juga dapat memperbaiki fisik dan mengaktifkan mikroorganisme yang ada didalam tanah.

2.4.2 Pengapuran

Pengapuran merupakan salah satu upaya untuk mempertahankan kestabilan keasaman (pH) tanah dan air, sekaligus memberantas hama penyakit. Jenis kapur yang digunakan untuk pengapuran kolam ada beberapa macam diantaranya adalah kapur pertanian, yaitu kapur karbonat : CaCO₃ atau [CaMg(CO₃)₂] dan kapur tohor/kapur aktif (CaO). Kapur pertanian yang biasa digunakan adalah kapur karbonat yaitu kapur yang bahannya dari batuan kapur tanpa lewat proses pembakaran tapi langsung digiling. Kapur pertanian ada dua yaitu kalsit dan Dolomit. Kalsit bahan bakunya lebih banyak mengandung karbonat, magnesiumnya sedikit (CaCO₃), sedangkan dolomit bahan bakunya banyak mengandung kalsium karbonat dan magnesium karbonat [CaMg(CO₃)₂]. Dolomit merupakan kapur karbonat yang dimanfaatkan untuk mengapuri lahan bertanam masam. Kapur tohor adalah kapur yang pembuatannya lewat proses pembakaran. Kapur ini dikenal dengan nama kapur sirih, bahannya adalah batuan tohor dari gunung dan kulit kerang (Bowles, 1991).

Dosis kapur yang akan ditebarkan harus tepat karena jika berlebihan kapur akan menyebabkan kolam tidak subur, sedangkan bila kekurangan kapur dalam kolam akan menyebabkan tanah dasar kolam menjadi asam. Peningkatan kandungan alkalinitas total pada kolam pemeliharaan ikan dapat digunakan kapur pertanian. (Suriadi, 2000).

2.4.3. Jenis-jenis Kapur dan Fungsinya

1. Kapur Tohor atau Kapur Sirih

Kapur tohor atau kapur sirih atau dikenal juga dengan namam Kapur oksida (CaO) adalah kapur hasil pembakaran atau pemanasan dari kapur mentah Kalsium karbonat (CaCO₃) pada suhu diatas 825 derajat celsius. Persamaan reaksinya : CaCO₃ (s) <=> CaO (s) + CO₂ (g). Selain diberikan untuk pertanian kapur inipun biasa digunakan orang sebagai teman makan sirih (menyirih).

Kapur tohor ini sangat efektif untuk meningkatkan pH tanah maupun air. Biasanya pada kegiatan usaha perikanan kapur tohor digunakan pada persiapan lahan saat tanah tidak dapat kering dengan maksimal.

2. Kapur tembok atau Kapur Hidroksida

Kapur tembok adalah kapur hasil reaksi kapur tohor dengan air. Kapur ini dikenal pula sebagai kapur hidroksida dengan rumus umum Ca(OH)₂. Persamaan reaksinya : CaO (s) + 2H₂O (l) <=> Ca(OH)₂ (aq).

Penggunaan Kapur hidroksida pada kegiatan usaha perikanan juga untuk meningkatkan pH air maupun tanah. Jenis kapur ini sangat efektif digunakan pada saat persiapan lahan, terutama pada saat tanah tidak mampu kering secara maksimal. Selain menaikkan pH, kapur ini juga sangat baik menaikkan redoks tanah.

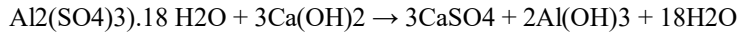
3. Kapur Karbonat

Kapur Karbonat merupakan kapur yang berasal dari batuan kapur tanpa melalui proses pembakaran melainkan langsung digiling. Kapur karbonat mempunyai 2 jenis yaitu Kalsit/kalsium karbonat (CaCO₃) dan Dolomit (CaMg(CO₃)₂). Kalsit dalam struktur

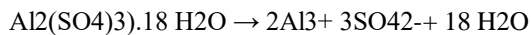
2.5 Tawas

Aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$), biasanya disebut tawas, bahan ini sering dipakai secara efektif untuk menurunkan kadar terbakar, ekonomis, mudah didapat dan mudah disimpan. Penggunaan tawas memiliki keuntungan yaitu harga relatif murah dan sudah dikenal luas. karbonat Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol

Jika aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) ditambahkan ke dalam air dalam suasana basa (adanya alkalinitas) maka reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi-reaksi antara aluminium sulfat dalam air dipengaruhi oleh banyak faktor. Oleh karena itu sukar memperkirakan dengan akurat jumlah aluminium sulfat yang akan bereaksi dengan jumlah alkalinitas yang diberikan oleh kapur. Larutan aluminium sulfat dalam air menghasilkan :



III. Metodologi Penelitian

Penelitian ini mencakup seluruh tahapan proses penelitian yang dimulai dari penyelidikan material sampai dengan pelaksanaan pengujian material di laboratorium. Hasil dari penelitian tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel, agar dapat memudahkan menganalisa. Penelitian ini memanfaatkan calcium hidroksida $Ca(OH)_2$ yang diambil dari tokoh bangunan terdekat, pada penelitian ini campuran lain digunakan ialah tawas atau alum $Al_2(SO_4)_3$ yang di beli di tokoh bangunan terdekat. Seluruh penelitian laboratorium dilaksanakan di laboratorium teknik sipil universitas Kristen Indonesia toraja dan di dasarkan pada standar pengujian AASHTO dan SNI. Sampel tanah yang digunakan berasal dari daerah Londa lembang tadongkon kecamatan kesu' kabupaten toraja utara. Parameter yang diuji meliputi pengujian kadar air, batas-batas Atterberg, berat jenis tanah, pemadatan dan CBR (*California bearing ratio*).

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

Dalam penelitian laboratorium karakteristik yang dimiliki tanah asli dan tanah dengan campuran calcium hidroksida $Ca(OH)_2$ dan tawas $Al_2(SO_4)_3$ dengan persentase yang bervariasi. 0% calcium hidroksida + 3% tawas, 3% calcium hidroksida + 0% tawas, 3% calcium hidroksida + 6% tawas, 6% calcium hidroksida + 3% tawas, 6% calcium hidroksida + 9% tawas, 9% calcium hidroksida + 6% tawas. Dengan waktu peram 1 dan 3 hari, bisa diidentifikasi dengan melakukan percobaan penelitian di laboratorium, dengan mengikuti prosedur percobaan yang ada dalam SNI 03-1742-1989. Adapun parameter yang ditentukan dalam menentukan sifat-sifat fisik dan mekanis tanah adalah: berat jenis tanah, berat isi dan kadar air tanah, batas-batas atterberg, analisa saringan, kompaksi dan CBR.

Tabel 4.1 Klasifikasi sifat fisik tanah asli.

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
Berat jenis (Gs)	Gs	2.28
Kadar air (w)	%	67.67
Derajat kejenuhan (Sr)	%	111.924
Batas cair (LL)	%	32.039
Batas plastisitas (PL)	%	28.79
Indeks plastisitas (IP)	%	3.249
Koefisien keseragaman (cu)	%	5.14
Koefisien gradasi (cc)	%	0.321
Kompaksi (Kadar air optimum)	%	30.64
CBR pemeraman 1 hari	%	5.13
CBR pemeraman 3 hari	%	10.31

Pengaruh Variasi Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Terhadap nilai kadar air optimum dan densitas kering.

Tabel 4.2. Variasi dan Jumlah Sampel

Parameter Tanah	Persentase Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$						
	0%	0% + 3%	3% + 0%	3% + 6%	6% + 3%	6% + 9%	9% + 6%
Kompaksi Laboratorium							
Kadar Air Optimum	33.09	30.46	31.80	30.30	29.08	32.11	28.70
Densitas Kering	1.19	1.16	1.15	1.18	1.12	1.12	1.09

Tabel 4.3. Variasi Pemeraman

Pada tabel diatas dapat diketahui bahwa tanah asli memiliki kadar air maksimum sebesar 33,09%, dan densitas kering sebesar 1,19%. Pada pencampuran 0% calcium hidroksida + 3% tawas kadar air optimum sebesar 30,46% dan densitas kering sebesar 1,16%. Pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 0% tawas kadar air optimum sebesar 31,80% dan densitas kering sebesar 1,15%. Sedangkan pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 6% tawas kadar air optimum sebesar 30,30% den densitas kering sebesar 1,18%. Pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 3% tawas kadar air optimum sebesar 29,08% den densitas kering sebesar 1,12%. Pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 9% tawas kadar air optimum sebesar 32,11% dan

Variasi Penambahan		Variasi Pemeraman		Jumlah sampel
Calcium Hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1 hari	3 hari	
0%	0%	1	1	2
0%	3%	1	1	2
3%	0%	1	1	2
3%	6%	1	1	2
6%	3%	1	1	2
6%	9%	1	1	2
9%	6%	1	1	2
Jumlah		7	7	14

densitas kering sebesar 1,12%. dan pada pencampuran 9% calcium hidroksida + 6% tawas kadar air optimum sebesar 28,70% den densitas kering sebesar 1,09%.

Pengaruh Variasi Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Terhadap nilai CBR pemeraman 1 hari.

Tabel 4.4. Persentase Penambahan Calcium Hidroksida dan Tawas

Parameter Tanah	Persentase Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$						
	0%	0% + 3%	3% + 0%	3% + 6%	6% + 3%	6% + 9%	9% + 6%
CBR Laboratorium							
1 Hari	5.56	5.13	9.83	8.00	30.90	9.61	54.59

Hasil dari tabel di atas menunjukkan bahwa nilai CBR menurun pada pencampuran 0% calcium hidroksida + 3% tawas, pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 0% tawas nilai CBR naik. Pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 6% tawas nilai CBR turun. Sedangkan nilai CBR pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 3% tawas naik. Pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 9% tawas nilai CBR menurun. Pada pencampuran 9% calcium hidroksida + 6% tawas nilai CBR naik. Pada grafik diatas memperlihatkan bahwa penambahan calcium hidroksida dengan jumlah yang lebih banyak dari pada tawas menyebabkan perubahan yang signifikan pada nilai CBR tanah, dibandingkan dengan penambahan tawas yang lebih banyak dari pada calcium hidroksida.

Pengaruh Variasi Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Terhadap nilai CBR pemeraman 3 hari.

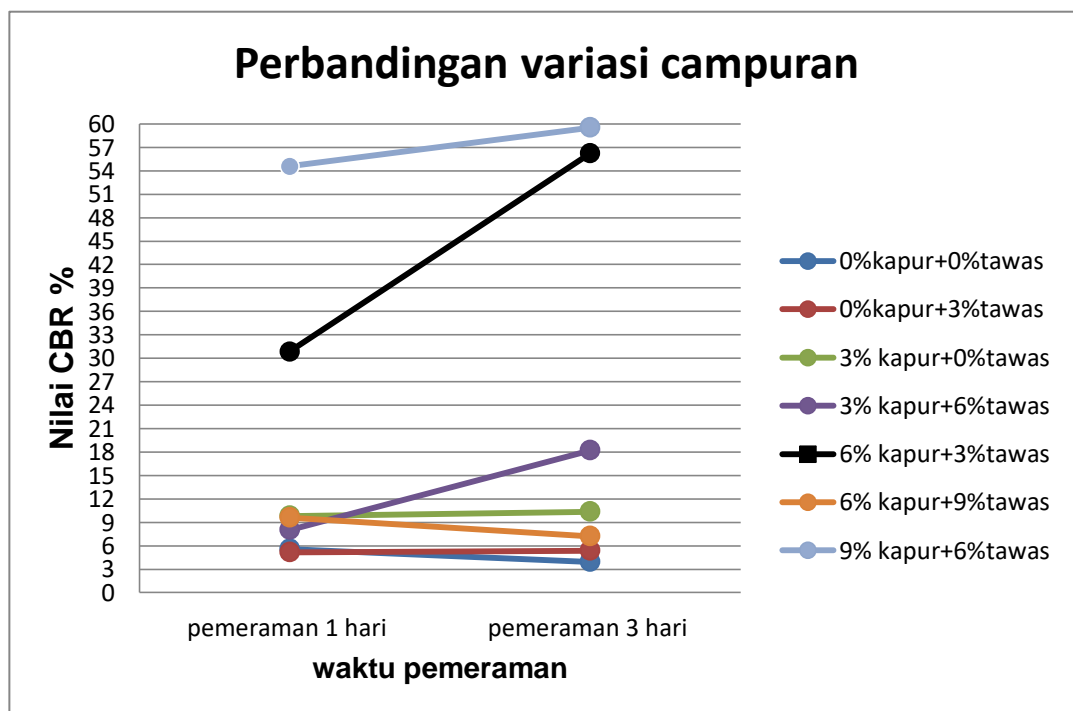
Hasil dari tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai CBR pada pencampuran 0% calcium hidroksida + 3% tawas naik dari nilai CBR tanah asli. Pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 0% tawas nilai CBR naik. Pada pencampuran 3% calcium hidroksida + 6% tawas nilai CBR naik.

Sedangkan nilai CBR pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 3% tawas naik. Pada pencampuran 6% calcium hidroksida + 9% tawas nilai CBR menurun, dan pada pencampuran 9% calcium hidroksida + 6% tawas nilai CBR naik.

Tabel 4.5. Variasi Penambahan Calcium Hidroksida dan Tawas

Parameter Tanah	Persentase Penambahan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$						
	0%	0%+3%	3% + 0%	3% + 6%	6% + 3%	6%+9%	9% + 6%
CBR Laboratorium							
3 Hari	3.94	5.33	10.31	18.22	56.26	7.24	59.50

Pada grafik diatas memperlihatkan bahwa penambahan calcium hidroksida dengan jumlah yang lebih banyak dari pada tawas menyebabkan perubahan yang signifikan pada nilai CBR tanah, dibandingkan dengan penambahan tawas yang lebih banyak dari pada calcium hidroksida.



Grafik 4.1. Hubungan antara nilai CBR dengan waktu pemeraman

Berdasarkan Grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai CBR akan mengalami penurunan dari nilai CBR tanah asli dimana nilai CBR pemeraman 1 hari sebesar 5,56% dan pemeraman 3 hari sebesar 3,93%, apabila mengalami pencampuran calcium hidroksida dan tawas dari tanah asli, 5,56% dengan campuran 0% calcium hidroksida dan 3% tawas dengan pemeraman 1 hari mengalami penurunan sebesar 5,13%, seiring lamanya waktu pemeraman nilai CBR mengalami peningkatan pada pemeraman 3 hari dimana CBR tanah asli sebesar 3,93% mengalami kenaikan sebesar 5,33% dan mengalami kenaikan pada penambahan 0% tawas dan 3%

calcium hidroksida dengan pemeraman 1 hari sebesar 9,83% dan pemeraman 3 hari sebesar 10,333%, kemudian pada tanah campuran 6% tawas dan 3% calcium hidroksida juga mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 8% dan pemeraman 3 hari mengalami kenaikan sebesar 18,22%, kemudian pada tanah campuran 3% tawas dan 6% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 30,90% dan pemeraman 3 hari sebesar 56,26%, kemudian pada tanah campuran 9% tawas dan 6% calcium hidroksida juga mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 9,61% dan pemeraman 3 hari sebesar 7,22%, dan pada tanah campuran 6% tawas dan 9% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 54,59% dan pemeraman 3 hari mengalami kenaikan sebesar 59,50%.

V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja dapat disimpulkan bahwa :

1. Calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dapat sebagai bahan stabilisasi tanah, dimana calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang dicampur dengan tanah dapat meningkatkan nilai CBR.
2. Nilai CBR pemeraman 1 hari sebesar 5,56% dan pemeraman 3 hari sebesar 3,93%, apabila tanah mengalami pencampuran dengan variasi campuran 0% calcium hidroksida dan 3% tawas dengan pemeraman 1 hari mengalami penurunan sebesar 5,13%, pada pemeraman 3 hari mengalami kenaikan sebesar 5,33% dan mengalami kenaikan pada penambahan 0% tawas dan 3% calcium hidroksida dengan pemeraman 1 hari sebesar 9,83% dan pemeraman 3 hari sebesar 10,333%, kemudian pada tanah campuran 6% tawas dan 3% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 8% dan pemeraman 3 hari sebesar 18,22%, kemudian pada tanah campuran 3% tawas dan 6% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 30,90% dan pemeraman 3 hari sebesar 56,26%, kemudian pada tanah campuran 9% tawas dan 6% calcium hidroksida juga mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 9,61% dan pemeraman 3 hari sebesar 7,22%, dan pada tanah campuran 6% tawas dan 9% calcium hidroksida mengalami kenaikan pada pemeraman 1 hari sebesar 54,59% dan pemeraman 3 hari sebesar 59,50%.
3. Hasil tertinggi dari variasi pencampuran pada pengujian CBR pada tanah campuran 6% tawas dan 9% calcium hidroksida, pada pemeraman 1 hari sebesar 54,59% dan pemeraman 3 hari sebesar 59,50%. ini adalah menerangkan opini, pendapat penulis berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang dilakukan. Kesimpulan menjawab hipotesis, maksud, dan tujuan penelitian. Selain itu, kesimpulan menyajikan pernyataan singkat tentang pentingnya temua yang diperoleh dan implikasinya di masa depan.

Ucapan Terima Kasih

Bagian ini untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penerbitan paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] Bowles, J. E., 1989, Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2] Das, B.M., Noor, E. dan Mochhtar, I.B., 1983, Mekanika Tanah Jilid 2, Penerbit Erlangga.
- [3] Dokuchaev. 1870. Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga.
- [4] EW.riyadi. (2004) Pengaruh penambahan pasir dan kapur untuk stabilisasi tanah lempung sebagai subgrade jalan raya.
- [5] Fajar Surya Santuri, Dian Hastari Agustina (2020), Stabilisasi tanah leterit dengan penambahan kapur terhadap kuat geser tanah.
- [6] Fransiskus Afrie, Lusmeilia Afriani, Iswan Iswan, (2018). Pengaruh Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung dan Lanau Yang Distabilisasi Dengan Menggunakan Pada Kondisi Rendaman (soaked CBR)
- [7] Fitridawati Soehardi, Fadrizal Lubis dan Lusi Dwi Putri (2017) Stabilisasi tanah dengan variasi penambahan kapur dan waktu pemeraman.
- [8] Hakim et al (1986). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Penerbit Universitas Lampung
- [9] Hanafiah K.A.(2015) Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Penerbit PT Raja Grafindo Persada. Jakarta
- [10] Hardiyatmo, Hary Cristiady, (2002). Mekanika Tanah 1. Penerbit Gajah Mada University Press, Jogjakarta.
- [11] Inri Rosalia Wuisan, Jack H. Ticoh, Steeva G. Rondonuwu (2021). Stabilisasi Tanah Pasir Berlempung Menggunakan Campuran Kapur Dan Garam Dapur Terhadap Nilai CBR
- [12] Mahidah U.N.(1984). Pencemaran air dan pemanfaatan limbah industri. Penerbit. CV Rajawali. Jakarta

- [13] Rangan, P. R., Irmawaty, R., Amiruddin, A. A., & Bakri, B. (2020). Compressive strength of laterite soil stabilized with rice straw ash and fly ash based geopolymer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012026>
- [14] Rangan, P. R., Irmawaty, R., Amiruddin, A. A., & Bakri, B. (2020). Characteristics of geopolymer using rice straw ash, fly ash and laterite soil as eco-friendly materials. International Journal of GEOMATE, 19(73), 77–81. <https://doi.org/10.21660/2020.73.13457>
- [15] Rangan, Parea Rusan; Tandy Arrang, Abdias, Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik: Studi Kasus: Tanah di Tanete, Lembang Limbong, Kecamatan Rembon, Kabupaten Tana Toraja, Journal Dynamic Saint 5 (2), 945-950, 2020.. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (*references*)
- [16] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [17] I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [18] K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [19] R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [20] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [21] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.