



Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi
(PTUV) Ke-4 Politeknik Negeri Manado
Tahun 2024

Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Semen Menggunakan Metode Pemodelan *Deep Mixing*

Pingkan W. Lumanauw¹, Denny Boy Pinasang², Reiner Willsen Tampi³,
Pendekar Trio Lonan⁴

Jalan dan Jembatan, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Kota Manado ^{1,2,3,4}

E-mail: pingkanwaraney01@gmail.com

Abstrak

Tanah gambut merupakan tanah organik yang mempunyai sifat fisik tanah yang rendah (angka pori besar, kadar air tinggi, dan berat volume tanah kecil). Oleh karena itu daya dukung pada tanah gambut menjadi rendah maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan stabilisasi tanah gambut di Tondano, Kecamatan Masarang, Sulawesi Utara, dengan salah satu perkuatan tanah yang bisa di gunakan yaitu dengan metode *deep soil mixing*, untuk memperkuat tanah gambut memikul konstruksi yang akan dibangun diatasnya agar tidak mengalami penurunan. Prinsip dari metode *deep mixing* adalah untuk memperbaiki kekuatan tanah dengan menggunakan bahan pengikat, *Deep Mixing* adalah teknologi modifikasi tanah *in-situ* dimana pengikat basah atau kering disuntikkan ke dalam tanah dan dicampur secara *in-situ* dengan tanah lunak. Pemilihan metode ini karena dibandingkan dengan metode perbaikan tanah lainnya, metode DSM menawarkan biaya yang lebih rendah, tanpa getaran, mengurangi waktu konstruksi, dan lebih ramah lingkungan. Metodologi yang digunakan adalah pemodelan metode *deep mixing* menggunakan campuran semen, tanah dan air yang di bentuk menjadi bubur (*slurry*). Pengujian dilakukan dengan metode pengujian Kuat tekan Bebas dan penambahan kolom soil semen satu kolom, dua kolom, tiga kolom pada pengujian CBR. Hasil q_u max yang di dapat pada UCS yaitu Campuran Volume 200 kg/m^3 dengan rasio semen air 1.2, lalu dilanjutkan pengujian CBR dengan penambahan satu kolom, tiga kolom, dan empat kolom campuran tanah, semen dan air menggunakan plat baja $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ dan $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$ sebagai pemodelan pondasi dangkal pile cap yang di letakkan di atas stabilisasi kolom semen, dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil tertinggi yaitu 4 kolom plat $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$ dengan bacaan 137,50 dan Load sebesar 157,73 atau dengan bacaan CBR 2,70%.

Kata kunci— Tanah gambut, Metode *Deep Mixing*, Kuat tekan bebas, CBR

1. PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan tanah organik yang mempunyai sifat fisik tanah yang rendah (angka pori besar, kadar air tinggi, dan berat volume tanah kecil). Hal ini membuat tanah gambut memiliki kelemahan dalam hal daya dukung dan stabilitas, sehingga perlu dilakukan perkuatan. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki permasalahan tanah gambut adalah sekitaran danau Tondano, Sulawesi Utara. Penelitian ini akan mengangkat salah satu perkuatan tanah yang bisa di gunakan yaitu dengan metode *deep soil mixing*. Pemilihan metode ini karena dibandingkan

dengan metode perbaikan tanah lainnya, metode DSM menawarkan biaya yang lebih rendah, tanpa getaran, mengurangi waktu konstruksi, dan lebih ramah lingkungan.

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik tanah gambut di lokasi Kecamatan Masarang Tondano.
2. Untuk menguji pengaruh penambahan volume semen dan air dan tanah (slurry) pada tanah gambut dengan pengujian kuat tekan bebas (mix desain).
3. Untuk menguji penambahan kolom soil semen terhadap nilai CBR dengan plat 5cm x 5cm.
4. Untuk menguji penambahan kolom soil semen terhadap nilai CBR dengan plat 11cm x 11cm

Penelitian mengenai perkuatan tanah gambut Tondano memiliki manfaat yang signifikan, antara lain:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik tanah gambut dan pengaruh penambahan semen pada stabilitas tanah gambut dan meningkatkan pemahaman mengenai karakteristik dan permasalahan yang terkait dengan tanah gambut di daerah Tondano, Sulawesi Utara, sehingga dapat dilakukan penanganan yang lebih tepat dan efektif.
2. Memberikan kontribusi pada pengembangan teknik stabilisasi tanah gambut dengan menggunakan semen sebagai bahan stabilisasi dan memberikan salah satu rekomendasi mengenai teknik perkuatan tanah gambut yang untuk mengatasi masalah penurunan permukaan tanah dan kerusakan struktur bangunan di daerah Tondano.
3. Sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai stabilisasi tanah gambut menggunakan semen dengan metode deep mixing sebagai bahan stabilisasi.
4. Menjadi sumber referensi bagi pemerintah, akademisi, dan masyarakat untuk meningkatkan pengelolaan dan pemanfaatan lahan gambut secara berkelanjutan di daerah Tondano dan daerah lain yang memiliki masalah serupa.
5. Meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya perkuatan tanah gambut dan pengelolaan lahan gambut secara berkelanjutan demi menjaga kelestarian lingkungan dan mengurangi risiko bencana alam.

Sifat fisik tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, dimana pada proses pembentukan tanah itu sendiri berasal dari tumbuhan. Beberapa hal yang penting untuk diperhatikan pada sifat tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Sifat Fisik Tanah

No	Sifat Fisik	Nilai
1	Kandungan Organik (Oc)	95 – 99%
2	Berat Volume (t)	0,9 – 1,25 t/m ³
3	Kadar (w)	200%-900%
4	Angka Pori (e)	5 – 15
5	Ph	4 – 7
6	Kadar Abu (Ac)	1 – 15%
7	Spesifik Gravity (Gs)	1,38 – 1,95
8	Rembesan (k)	s/d

Sumber: Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia (Mochtar, 2002).

Klasifikasi tanah adalah cara mengumpulkan dan mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat dan ciri morfologi, fisika dan kimia,serta mineralogi. Sistem klasifikasi sistematis untuk tanah yang memiliki karakteristik yang sama dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem klasifikasi tanah dibuat terutama untuk

memberikan informasi tentang sifat tanah dan sifat fisik. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (Unified Soil Classification System) dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas (Amran & Permadi, 2021).

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS) Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (coarse – grained soils) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
2. Tanah berbutir halus (fine – grained soils) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tertentu, misal tanah A-6 lebih buruk dari tanah A-6 (Putra et al., 2017).

Table 2. Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5* A-7.6^
Klasifikasi Kelompok				
Analisa ayakan (% lolos)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40				
Batas cair (<i>LL</i>)	Min 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

1. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Kerikil adalah bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm. Pasir adalah bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,0075 mm. Lanau dan Lempung adalah bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 0,0075 mm.
2. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Perbedaan antara pasir, kerikil dan lanau, tanah liat dapat diketahui dari sifat materialnya. Tanah liat sering terbukti koheren (sinaptik) sedangkan bahan granular (pasir / kerikil) tidak kohesif (tidak mengikat). Tanah juga dapat secara luas diklasifikasikan sebagai tanah yang tidak kohesif dan kohesif, atau tanah kasar dan berbutir halus. Namun, klasifikasi ini sangat umum sehingga tidak memungkinkan identifikasi tanah yang hampir sama. Berikut adalah beberapa klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir, bisa dilihat pada tabel 3 klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir.

Table 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Nama Golongan	Ukuran butir (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
U.S Department of Agriculture (USDA)	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung)	

Penyelidikan Laboratorium dan prosedur pengujian dilakukan berdasarkan buku pedoman praktek laboratorium uji tanah teknik sipil Politeknik Negeri Manado (Assa, 2020).

Penyelidikan laboratorium yang dilakukan meliputi :

Index Properties (sifat fisis tanah)

- a. Pemeriksaan Kadar Air Tanah (ASTM D 2216-80)
- b. Pemeriksaan Berat Isi Tanah (ASTM D 2937-83)
- c. Penentuan Berat Jenis Tanah (ASTM D 854-83)
- d. Pengujian ASTM
 1. Analisa ayakan (ASTM D 422-72)
 2. Analisa hidrometer (ASTM D 421-72)
- e. Pemeriksaan batas-batas Atterberg (ASTM D 4318-00)
 1. Nilai batas cair (Liquid Limit)
 2. Nilai batas plastis (Plastic Limit)
 3. Nilai susut linear (Linear Shrinkage-LS)
- f. Pengujian California Bearing Ratio (AASHTO T 193-73)
- g. Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength) (ASTM D 2166-85)
- h. Pengujian Geser Langsung (Direct Shear) (ASTM D 3080-82)

ASTM D4427-92 (2002) Mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat, kandungan abu (ASTM D2974), tingkat keasaman (ASTM D2976), tingkat absorpsinya (ASTM D2980), dan tanah gambut berdasarkan tingkat kandungan humus yang ada didalamnya (ASTM D5715-00)

- a. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan seratnya, yaitu:
 1. Fibric, merupakan tanah gambut dengan kadar serat > 67%.
 2. Hemic, merupakan tanah gambut dengan kadar serat 33% sampai 67%.
 3. Sapric, merupakan tanah gambut dengan kadar serat <33%.

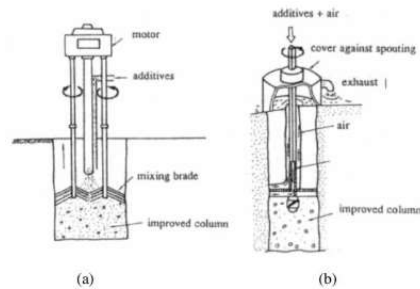
- b. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan abunya, yaitu :
 1. Low ash, merupakan tanah gambut dengan kadar abu < 5%.
 2. Medium ash, merupakan tanah gambut dengan kadar abu 5% dan 15%.
 3. High ash, merupakan tanah gambut dengan kadar abu > 15%.
- c. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat asamnya, yaitu :
 1. Highly acidic, merupakan tanah gambut dengan pH < 4,5.
 2. Moderately acidic, merupakan tanah gambut dengan pH antara 4,5 – 5,5.
 3. Slightly acidic, merupakan tanah gambut dengan pH antara 5,5 – 7.
 4. Basic, merupakan tanah gambut dengan pH ≥ 7.
- d. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat absorpsinya, yaitu :
 1. Extremely absorbent, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air >1500%.
 2. Highly absorbent, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air 800% - 1500%.
 3. Moderately absorbent, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air 300% -800%.
 4. Slightly absorbent, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air < 300%.

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Amran & Permadi, 2021). Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, karena itu tanah tersebut harus distabilisasikan agar dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan. Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah tersebut adalah untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk menaikkan tingkat kestabilan tanah.

Dalam penelitian ini akan dibahas metode perbaikan tanah menggunakan *deep soil mixing*. *Deep Soil Mixing (DSM)* merupakan metode perbaikan tanah yang pertama kali dikembangkan di Jepang dan Scandinavia. Pada perkembangannya, teknologi DSM digunakan sebagai metode perkuatan tanah lunak dan permeable. Prinsip dari metode deep mixing adalah untuk memperbaiki kekuatan tanah dengan menggunakan bahan pengikat. Deep mixing adalah teknologi modifikasi tanah in-situ dimana pengikat basah atau kering disuntikkan ke dalam tanah dan dicampur secara in-situ dengan tanah lunak (lempung, gambut atau tanah organik) dengan cara mekanis atau dengan alat pencampuran berupa rotary mixing tool. Kedalaman metode deep mixing bisa mencapai 20 untuk dry method dan 30 m untuk wet method. Secara umum ada dua jenis metode pada teknologi Deep Soil Mixing berdasarkan jenis campuran. Wet Deep Soil Mixing adalah suatu metode perbaikan tanah yang melibatkan pencampuran tanah asli dengan binder berupa bubur slurry, sedangkan apabila binder digunakan dalam keadaan kering, maka metode tersebut dikenal sebagai dry deep soil mixing. Wet deep soil mixing lebih tepat diterapkan pada perbaikan tanah lempung lunak, lanau, dan pasir halus yang memiliki kelembaban rendah. Sementara itu, untuk tanah dengan kadar air tinggi, disarankan untuk menggunakan dry deep soil mixing di samping itu, metode deep soil mixing juga dapat diterapkan pada tanah gambut atau lumpur, tetapi memerlukan penyesuaian dalam penggunaan material binder dan prosedur pelaksanaannya. Selain meningkatkan daya dukung tanah, metode deep mixing memiliki kemampuan untuk mengurangi besar penurunan tanah pasca konstruksi yang mungkin terjadi (Tyas Mega Dewi Arthaning., Isnaniati., 2022). Dibandingkan dengan metode perbaikan tanah lainnya, metode DSM menawarkan biaya yang lebih rendah, tanpa getaran, mengurangi waktu konstruksi, dan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan metode perbaikan lain seperti jet grouting. Standar pekerjaan DSM mengikuti European standard EN 14679 (Agus Suroso 2015). Pada umumnya, deep mixing tanah digunakan untuk memperkuat tanah dasar pada proyek konstruksi seperti jalan tol, jembatan, dan pondasi bangunan. Metode ini diketahui efektif dalam memperkuat tanah dasar yang lemah dan mencegah terjadinya kerusakan pada struktur konstruksi akibat pengaruh dari deformasi dan pergerakan tanah yang tidak stabil.

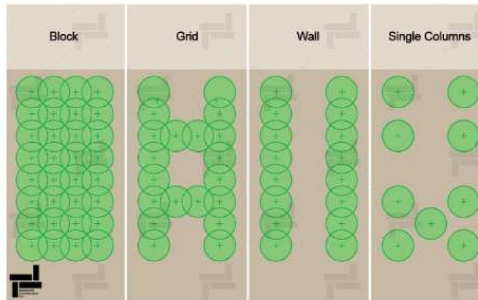
Metode pencampuran dalam adalah pencampuran bahan penstabil di tempat dengan tanah lunak untuk terbentuk kolom, dinding, kisi-kisi atau balok. Metodologi pencampuran mekanis di

mana keadaan bubur atau penstabil keadaan bubuk kering yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1 (Kamon 1997). Kolom DM dan tanah sekitarnya umumnya dianggap sebagai tanah komposit (Shen et al. 2003).



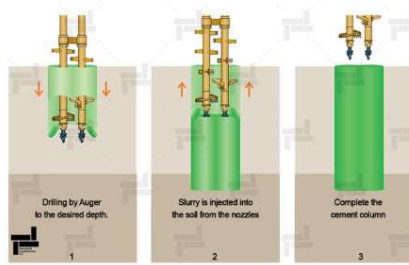
Gambar 1. Metode pencampuran mekanis (Kamon 1997) (a) penyediaan bubur

Kolom DSM digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dalam kompresi dan geser, kontrol penurunan, penangkal likuifaksi, mengurangi permeabilitas dan juga di bidang lingkungan untuk membatasi atau memperbaiki bahan kimia berbahaya di dalam tanah. Pada setiap tujuan di atas, perhitungan dilakukan sesuai dengan relasi yang relevan. Dasar-dasar desain kolom pencampur dalam hampir sama dengan dasar-dasar desain kolom grouting jet, dan kekuatan tekan tanah semen berhubungan langsung dengan jenis tanah dan jumlah semen yang digunakan dalam pencampuran. Kolom DSM dapat dijalankan dalam pengaturan yang berbeda.



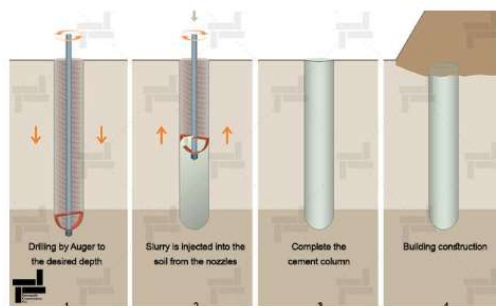
Gambar 2. Pengaturan yang berbeda untuk mengeksekusi kolom pencampur

Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, pengeboran pertama kali dilakukan oleh Auger hingga kedalaman yang diinginkan. Kemudian pengeboran dihentikan dan Auger perlahan ke atas dan selama gerakan, bubur disuntikkan ke dalam tanah dari nosel yang dipasang di ujung lengan dengan tekanan tinggi. Pergerakan dan injeksi ini dilakukan secara bertahap dan setelah 1 meter ke atas, berputar pada level tersebut selama 1 menit dan menginjeksi slurry dan pekerjaan ini berlanjut hingga mencapai level tanah alami. Tentunya interval dan waktu yang disebutkan berbeda-beda sesuai dengan jenis perangkat dan jenis tanahnya. Selain itu, metode injeksi top-down dapat dilakukan tergantung pada kondisi proyek dan lokasi nozel injeksi.



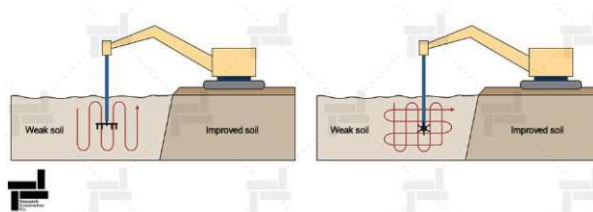
Gambar 3. Tahapan metode pelaksanaan Deep soil mixing (DSM) (metode)

Bubur semen atau semen kering adalah aditif yang paling umum dalam metode deep soil mixing (DSM). Volume bubur yang digunakan, tergantung pada kasus dan kondisi tanah, adalah sekitar 20 sampai 30% dari volume tanah yang tidak dimodifikasi. Kapur juga merupakan aditif yang cocok yang terkadang dicampur dengan semen dan digunakan secara bersamaan. Dalam hal ini, rasio berat semen terhadap kapur adalah sekitar 1 banding 4 dan totalnya ditambahkan ke jumlah sekitar 100 hingga 200 kg/m³ tanah yang tidak dimodifikasi. Aditif lain seperti abu vulkanik, terak tungku dan bahan kimia lainnya juga dapat digunakan jika memungkinkan. Ada dua jenis pencampuran dalam metode deep soil mixing (DSM) Metode pencampuran tanah basah adalah metode biasa pencampuran tanah dalam (DSM) untuk retensi galian, yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, dan metode pencampuran tanah kering Jika ada cukup kelembaban untuk melakukan reaksi kimia antara campuran yang disuntikkan dan tanah, metode pencampuran. Tanah Kering dapat digunakan. Dalam metode pencampuran tanah kering, campuran injeksi (semen, kapur atau kombinasinya) disuntikkan sebagai bubuk dan dicampur dengan tanah. Bahan kering dicampur dengan tanah dengan menerapkan udara bertekanan tinggi, yang dibuang melalui nozel di ujung bawah pipa bor. Dengan cara ini, bahan yang disuntikkan bereaksi dengan kelembaban tanah dan dibuat kolom yang mirip dengan metode pencampuran tanah basah. Diameter kolom yang dibuat dengan metode pencampuran tanah kering lebih kecil dari metode pencampuran tanah basah dan antara 60 hingga 80 cm. Kedalaman maksimal perbaikan tanah dengan metode ini mencapai 25 m.



Gambar 4. Tahapan pelaksanaan metode pencampuran tanah kering metode

Dalam kasus di mana hanya beberapa meter pertama dari permukaan tanah terdapat sejumlah besar tanah lemah atau terkontaminasi dengan kandungan kelembaban tinggi seperti endapan dan endapan yang dikeruk, lebih banyak tanah organik atau tanah lumpur, beberapa meter ini dapat diperbaiki dengan menggunakan pencampuran tanah dangkal. Dalam metode pencampuran tanah dangkal, alat pencampur khusus digunakan, yang dalam banyak kasus dipasang ke lengan mesin bor.



Gambar 5. Metode pencampuran tanah dangkal

Penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan yang di bahas dalam jurnal beberapa jurnal:

1. Effects Of Water Cement Ratio On Deep Mixing Treated Expansive Clay Characteristics (2005) yang bertujuan membahas stabilisasi tanah lempung dengan metode Deep Mixing dengan campuran semen dan kapur. Dengan campuran variasi 100-200 kg/m³ dengan pemodelan UCS. Dan mendapatkan hasil Campuran yang digunakan rasio w/c (0,8, 1,0, 1,3) kesimpulannya dibahas terpisah.
2. Stabilization of Marine Clays with Geotextile Reinforced Stone Columns Using Silica-Manganese Slag as a Stone Column. Yang di tulis S. Siva Gowri Prasad, Y.Harish, P.V.V.Satyanarayana Material(Suvvari et al., 2015) yang bertujuan Mempelajari perilaku lapisan tanah liat yang diperkuat dengan kolom batu apung untuk memahami perilaku deformasi beban. Hasil yang didapat Pencantuman kolom batu apung biasa meningkatkan daya dukung beban lapisan tanah liat biasa sekitar 26% selanjutnya daya dukung beban dan kekakuan kolom batu apung ditingkatkan dengan perkuatan lateral kolom menggunakan cakram melingkar geotekstil.
3. Deep Mixing Method, The Japanese Experience and Recent Advancemen. Advance in Concrete Technology by Hong Kong Concrete Institute. Desember Juli 2017. Yang di tulis Masaki Kitazume, Dr. Eng. Tokyo Institute of Technology. Penelitian yang di lakukan untuk membangun bandara di jepang menggunakan metode deep mixing dan UCS pada pengujian lapangan.
4. Column Test Model Of Expansive Soil Stabilized With Lime Injection Using Shallow Mixing Method, yang di teliti oleh Dr. Ir. Denny Boy Pinasang S.S.T., M.T dan Harianto, T., A.B., M., & A.A., A. pada tahun 2022.

2. METODE PENELITIAN

Sampel tanah diambil dari kelurahan Masarang, Kecamatan Tondano Barat, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Waktu yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu kurang lebih 4 bulan, dari mulai pengambilan sampel hingga analisa data. Kemudian dilakukan pengujian awal yaitu pengujian sifat fisik tanah untuk mengetahui karakteristik tanah gambut yang akan di stabilisasi tersebut setelah itu di lakukan pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS) sebagai pemodelan untuk mencari campuran maksimal untuk kolom soil yang akan dilanjutkan dengan pengujian California Bearing Ratio testing (CBR) dengan pola satu, dua dan tiga kolom soil.

2.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Index Properties (sifat fisis tanah)

- a. Pemeriksaan Kadar Air Tanah (ASTM D 2216-80)
- b. Pemeriksaan Berat Isi Tanah (ASTM D 2937-83)
- c. Penentuan Berat Jenis Tanah (ASTM D 854-83)
- d. Pengujian ASTM
 1. Analisa ayakan (ASTM D 422-72)
 2. Analisa hidrometer (ASTM D 421-72)
- e. Pemeriksaan batas-batas Atterberg (ASTM D 4318-00)
 1. Nilai batas cair (Liquid Limit)
 2. Nilai batas plastis (Plastic Limit)
 3. Nilai susut linear (Linear Shrinkage-LS)
- f. Pengujian California Bearing Ratio (AASHTO T 193-73)
- g. Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength) (ASTM D 2166-85)
- h. Pengujian Geser Langsung (Direct Shear) (ASTM D 3080-82)

2.2 Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS)

Perhitungan komposisi campuran mengacu pada penelitian sebelumnya, yang dikutip dari jurnal Column Test Model of Expansive Soil Stabilized with Lime Injection Using Shallow Mixing Method (Pinasang et al., 2022), yaitu “kapur yang digunakan dalam campuran tersebut berasal dari hasil penambangan rakyat di Desa Lobong, Kecamatan Bolaangmongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Penambahan volume kapur 100 kg/m³, 150 kg/m³, 200 kg/m³ terhadap berat tanah kering.”

Dalam jurnal (Liu Jinyuan., Li Bill (Shuihan) Li., Ahmad Alli., 2017) pernah dilakukan pengujian dengan metode pencampuran yang sama. Pertama, bubur semen basah dibuat dengan cara mencampurkan semen dengan air dengan perbandingan air 0,8:1 rasio semen berdasarkan temuan (Pathivada 2005). Air ditambahkan dalam tiga batch terpisah ke dalam semen untuk memungkinkan homogenisasi bubur. Bubur dicampur dengan dua spatula dan tangan selama satu menit di antara setiap interval penuangan. Gumpalan dan agregat dihancurkan untuk memastikan campuran yang homogen. Keadaan akhir bubur harus cair dan encer tanpa terlihat gumpalan atau lumpur.

Langkah-langkah Pengujian;

1. Pembuatan benda uji sampel. Sampel dibuat serupa dengan mould ucs yang digunakan pada laboratorium.
2. Perhitungan komposisi sampel yang akan digunakan.

Mix Desain Pengujian Lapangan Maksimum WC 1.5-200 kg/m³

CAMPURAN 1 = 100 – 1.0

Diketahui ;

Dosis Pengikat		= 100kg/m ³
Rasio Air		= 1.0
Kadar Semen	<i>L</i>	= 100%
Berat Satuan Bulk	<i>γ_b</i>	= 1176 kg/m ³
Kadar Air Tanah Awal	<i>W_n</i>	= 342,28%
Penyelesaian ;		
Berat Unit Kering	<i>γ_d</i>	= <i>γ_b</i> /(1+w)

$$= \frac{1176 \text{ kg/m}^3}{1+342,28}$$

$$= 265,89 \text{ kg/m}^3$$

Diketahui ;

Volume kolom uji lapangan ;

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 5,65 \text{ cm} \\ \text{Tinggi} &= 11,7 \text{ cm} \\ \text{Volume} &= \pi \times r^2 \times t \\ &= \pi \times D^2 \times t \div 4 = \frac{\pi \times D^2 \times t}{4} \\ &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 5,65^2 \times 11,7 \\ &= 293,1922 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Kering Tanah per Sampel } WS &= \gamma_d \times V \\ &= 265,89 \text{ kg/m}^3 \times 0,2932 \text{ m}^3 \\ &= 77,9583 \approx 78 \div 1000 = 0.078 \text{ kg} \\ &= 77,9583 \text{ gr} \approx 78 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Tingkat Dosis Pengikat} \quad \alpha = 100 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Konten Pengikat Setara} \quad aw &= \alpha \times 100 \times \left(1 + \frac{W_n}{100}\right) \div \gamma_b \\ &= 100 \times 100 \times \left(1 + \frac{342,28}{100}\right) \div 1176 \\ &= 37,61 \% \text{ (Persentase Pengikat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pengikat} \quad WL &= \alpha \times V \\ &= 100 \times 293,1922 \text{ cm}^3 \\ &= 0,029 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Semen} \quad WC = 0,029 \text{ kg}$$

$$\text{Rasio Semen Air} = 1.0$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Air Untuk Pengikat} \quad W_{wslurry} &= \text{Berat Pengikat} \times \text{Rasio Semen Air} \\ &= 0,029 \times 1.0 \\ &= 0,029 \text{ kg} \approx 29,3 \text{ gr Air} \end{aligned}$$

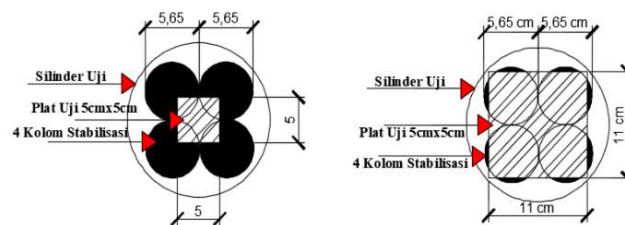
$$\begin{aligned} \text{Berat Tanah Basah per Sampel} &= \gamma_b \times V \\ &= 1,176 \text{ gr/cm}^3 \times 293,1922 \text{ cm}^3 \\ &= 344,79 \text{ gr} \end{aligned}$$

Jadi Material Yang Akan Digunakan :

29.3 gr SEMEN
29.3 gr AIR

3. Pencampuran Sampel. Sampel yang telah di hitung di timbang sesuai perhitungan dan campur semen dan air terlebih dahulu setelah semen larut campurkan perlahan kedalam tanah gambut hingga tercampur merata.
4. Cetak sampel di dalam mould sebanyak 3 lapis dan dipadatkan perlapisan sebanyak 25 ketukan, lalu dibungkus menggunakan wrap plastik untuk menghindari penguapan air pada sampel yang akan di diamkan selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.
5. Pendiamkan sampel di dalam cool box selama 7,14 dan 28 hari.
6. Pengujian menggunakan Ucs 7,14, dan 28 hari pada sampel.
7. Olah data, Hasil dari UCS tersebut diambil nilai tertinggi dapat dilihat pada hasil dan pembahasan.

2.3 Pengujian California Bearing Ratio testing (CBR) dengan Plat 11 cm x 11 cm



Gambar 6. Plat 5x5 dan 11x11

Pengujian selanjutnya menggunakan pengujian CBR (California Bearing Ratio) menggunakan kekuatan deep mixing tertinggi yang telah didapatkan pada pengujian UCS sebelumnya, stabilisasi atau kekuatan tanah gambut dengan metode deep mixing diasumsikan dengan menara 1 tiang 3 tiang dan 4 tiang pada 1 mould benda uji CBR setinggi 11,7cm sesuai tinggi mould standar CBR setelah menggunakan spacehardis, dan menggunakan plat persegi yang mengacu pada pengujian sebelumnya yang diasumsikan sebagai pondasi dangkal di atas tanah yang telah diperkuat dengan metode deep mixing.

Pengujian CBR dilakukan dengan langsung menggunakan tanah dasar apa adanya sesuai karakteristik tanah pada lokasi pengambilan sampel tersebut, yang dimana mempertahankan kelembabannya sesuai kadar air awal yaitu sebesar 342,28% tanpa dilakukan kekuatan apapun sebelum pengujian dilakukan.

Pengujian laboratorium untuk penelitian tentang kinerja kolom DSM sebagian besar telah dilakukan berfokus pada kolom itu sendiri (Tatarniuk, 2014). dalam situasi di mana tanah lunak depositnya tebal, pendekatan praktisnya adalah memasang kolom apung karena tidak adanya lapisan yang kaku dekat dengan permukaan tanah (Bouassida M., B. Jellali., 2008).

Langkah-langkah Pengujian:

1. Pembuatan benda uji sampel yang dibuat serupa dengan mould UCS.
2. Pencampuran sampel, sampel yang digunakan campuran 200 kg/m³ dosis pengikat dan dengan rasio air 1.2 .Hasil perhitungan dapat dilihat pada hasil dan pembahasan.
3. Cetak sampel di dalam mould sebanyak 3 lapis dan dipadatkan perlapisan sebanyak 25 ketukan, lalu dibungkus menggunakan wrap plastik untuk menghindari penguapan air pada sampel yang akan di diamkan selama 7 hari,14 hari dan 28 hari.
4. Diamkan sampel di dalam cool box selama 7,14 dan 28 hari.
5. Pengujian menggunakan CBR pada sampel.

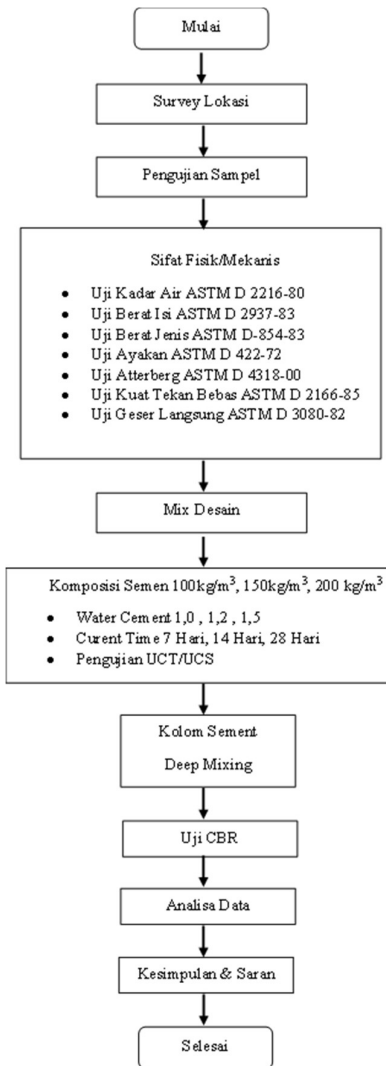
Sebelum melakukan pengujian untuk memastikan bahwa nilai gama (γ) sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi pengambilan sampel dan pengujian UCS sebelumnya, perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut

1. Mengukur mould yang digunakan.

Berat Mould	= 15916,00 gram
Diameter Mould	= 15,25 cm
Tinggi Mould	= 11,70 cm
Volume Mould	$= 0,25 \times \frac{22}{7} \times D^2 \times t$
	= 2137,91 cm ³
Berat Mould + Tanah	= 18431,00 gram
Berat Tanah	= 2515,00 gram
Berat Isi Tanah	= 1.1776 gram/cm ³
2. Berat mould + tanah dilakukan berulang hingga mencapai nilai gama (γ) yang sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi dan hasil pengujian UCS sebelumnya.
3. Dari hasil berat tanah yang di dapat dipertahankan saat pengujian CBR berlangsung. Didapat berat tanah sebesar 2515,00 gram lalu dipadatkan hingga terisi semua kedalam mould yang akan diuji.
4. Adalah penting untuk memperhatikan bahwa hanya mould yang telah dihitung sebelumnya yang harus digunakan. Berikut gambar pengujian pada labolatorium :

2.4 Diagram Alir

Berikut ini merupakan diagram alir yang telah dilakukan selama masa penelitian bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 7. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian karakteristik tanah gambut yang ada di Tondano, pengujian UCS dosis pengikat 100 kg/m³, 150 kg/m³, 200 kg/m³ dengan dosis air 1,0, 1,2, 1,5 dan pengujian CBR menggunakan 1 kolom, 2 kolom dan 3 kolom dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Table 4. Karakteristik Tanah Gambut

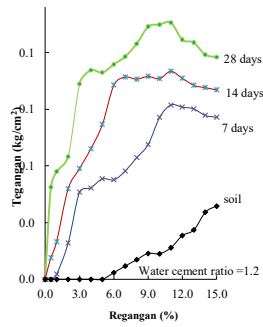
No	Pengujian	Hasil
1.	Kadar Air Awal	342,28 %
2.	Analisa Saringan Tertahan Saringan No.200	56,16%
	Lolos Saringan No.200	43,84%
3.	Analisa Hidrometer Tertahan Saringan No.200	55,80 %
	Lolos Saringan No.200	44,20%
4.	Batas Atterberg Liquid Limit (LL)	125,67%
	Plastic Limit (PL)	Non Plastis
	Plasticity Index (PI)	20,45%
	Linear Shrinkage (LS)	3,20%
5.	Berat Jenis (Gs)	1,637%
6.	Berat Isi	1,176 gr/cm ³
8.	Geser Langsung	
	ϕ	31,89°
	c	0,091 kg/cm ²
9.	Kuat Tekan Bebas	0,6 kg/cm ²

Table 5. Rekap campuran Deep Mixing

No	Dosis Pengikat	Rasio Air	Semen	Air
1	100 kg/m ³	1.0	29.3192	29.3192
2	100 kg/m ³	1.2	29.3192	35.1831
3	100 kg/m ³	1.5	29.3192	43.9788
4	150 kg/m ³	1.0	43.9788	43.9788
5	150 kg/m ³	1.2	43.9788	52.7746
6	150 kg/m ³	1.5	43.9788	65.9682
7	200 kg/m ³	1.0	58.6384	58.6384
8	200 kg/m ³	1.2	58.6384	70.3661
9	200 kg/m ³	1.5	58.6384	87.9577

Table 6. Campuran bahan pengikat dosis rate 200 kg/m³

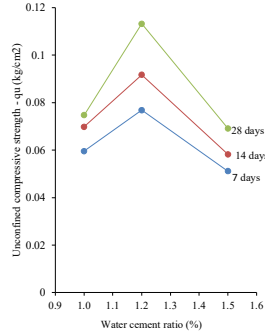
Regangan (%)	Tegangan (kg/cm ²)									T.Asli
	w/c=1.0			w/c=1.2			w/c=1.5			
	7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.5	0.000	0.002	0.005	0.000	0.010	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.005	0.007	0.012	0.002	0.017	0.048	0.000	0.002	0.005	0.000
2	0.014	0.023	0.033	0.016	0.040	0.054	0.005	0.007	0.012	0.000
3	0.023	0.033	0.040	0.038	0.049	0.086	0.005	0.009	0.012	0.000
4	0.031	0.039	0.044	0.040	0.058	0.092	0.007	0.012	0.016	0.000
5	0.038	0.043	0.048	0.044	0.068	0.091	0.010	0.018	0.030	0.000
9	0.060	0.070	0.072	0.059	0.089	0.111	0.042	0.050	0.059	0.011
10	0.051	0.069	0.073	0.071	0.088	0.112	0.051	0.058	0.069	0.011
11	0.042	0.068	0.075	0.077	0.092	0.113	0.048	0.058	0.068	0.014
12	0.041	0.055	0.065	0.076	0.089	0.106	0.045	0.055	0.065	0.019
13	0.043	0.048	0.054	0.075	0.086	0.104	0.045	0.054	0.058	0.022
14	0.042	0.047	0.052	0.072	0.085	0.099	0.042	0.049	0.054	0.030
15	0.044	0.047	0.051	0.071	0.084	0.098	0.042	0.049	0.054	0.032
qu maks	0.060	0.070	0.075	0.077	0.092	0.113	0.051	0.058	0.069	0.032



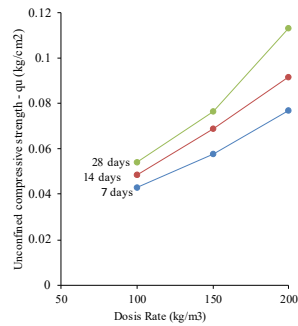
Grafik 1. Hubungan tegangan dan regangan - Dosis 200 kg/m³ -Water Cement Ratio 1.2

Table 7. Table 6. (UCS) Dosis Pengikat 100kg,150kg,200kg - Rasio Air 1,0-1,2-1,5 - 28 Hari

Regangan (%)	Tegangan (kg/cm ²)								
	Dosis Pengikat 100kg,150kg,200kg - Rasio Air 1,0-1,2-1,5 - 28 Hari								
	100-1,0	100-1,2	100-1,5	150-1,0	150-1,2	150-1,5	200-1,0	200-1,2	200-1,5
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.000	0.000	0.002	0.002	0.012	0.002	0.005	0.041	0.000
1.00	0.002	0.007	0.007	0.007	0.026	0.005	0.012	0.048	0.005
2.00	0.007	0.009	0.009	0.016	0.033	0.014	0.033	0.054	0.012
3.00	0.009	0.012	0.016	0.026	0.040	0.016	0.040	0.086	0.012
4.00	0.012	0.018	0.025	0.032	0.044	0.023	0.044	0.092	0.016
5.00	0.021	0.025	0.030	0.039	0.046	0.032	0.048	0.091	0.030
6.00	0.020	0.032	0.034	0.043	0.050	0.036	0.063	0.095	0.029
7.00	0.027	0.033	0.036	0.047	0.056	0.038	0.067	0.098	0.040
8.00	0.031	0.040	0.038	0.051	0.057	0.042	0.073	0.104	0.046
9.00	0.035	0.041	0.039	0.052	0.063	0.041	0.072	0.111	0.059
10.00	0.039	0.043	0.041	0.058	0.069	0.048	0.073	0.112	0.069
11.00	0.038	0.049	0.041	0.060	0.070	0.051	0.075	0.113	0.068
12.00	0.040	0.053	0.040	0.061	0.072	0.053	0.065	0.106	0.065
13.00	0.042	0.054	0.040	0.050	0.075	0.050	0.054	0.104	0.058
14.00	0.041	0.054	0.041	0.047	0.076	0.047	0.052	0.099	0.054
15.00	0.041	0.053	0.041	0.047	0.075	0.047	0.051	0.098	0.054
qu	0.042	0.054	0.041	0.061	0.076	0.053	0.075	0.113	0.069



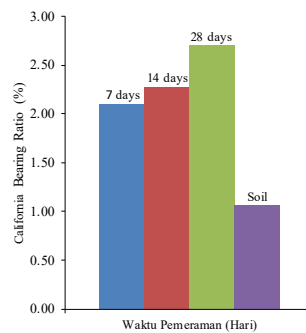
Grafik 2. Dosis Rate 200 kg/m³



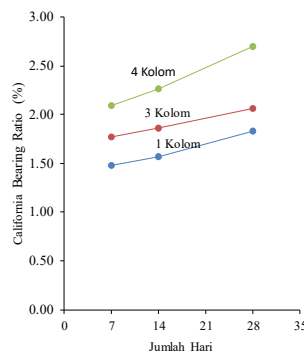
Grafik 3. Water Cement 1.2

Table 8. Load Plat 11 cm x 11 cm

Penetration	LOAD									
	Dosis Pengikat 200kg - Rasio Air 1,2 Pelat Besar									
	Tanah Asli	1 Kolom 7 Hari	3 Kolom 7 Hari	4 Kolom 7 Hari	1 Kolom 14 Hari	3 Kolom 14 Hari	4 Kolom 14 Hari	1 Kolom 28 Hari	3 Kolom 28 Hari	4 Kolom 28 Hari
0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635	12.331	17.21	21.79	25.24	20.65	28.68	30.40	24.09	32.12	36.13
1.270	14.912	24.66	29.82	33.27	27.53	33.27	39.57	33.27	41.30	44.74
1.905	19.501	31.55	36.13	40.72	33.27	41.30	46.46	39.00	49.90	52.77
2.540	26.154	35.56	42.44	47.60	39.00	47.03	54.49	46.46	57.93	64.81
3.175	32.119	44.74	51.62	55.06	47.60	55.63	61.37	51.62	64.24	70.55
3.810	36.994	53.91	58.50	62.52	61.37	64.24	75.71	65.38	71.69	75.71
4.445	43.016	60.22	71.12	81.44	67.11	78.00	92.92	74.56	79.72	104.39
5.080	47.605	66.53	79.72	94.35	70.55	83.74	102.09	82.59	92.92	121.59
7.620	57.355	73.99	90.62	99.80	76.86	98.65	121.31	90.05	102.67	134.21
10.160	70.547	83.16	100.94	110.70	87.18	104.10	130.48	98.08	110.70	146.26
12.700	91.194	101.52	109.55	121.59	106.57	124.46	138.40	114.14	133.06	157.73
CBR 0,1 in	0.87	1.19	1.41	1.59	1.30	1.57	1.82	1.55	1.93	2.16
CBR 0,2 in	1.06	1.48	1.77	2.10	1.57	1.86	2.27	1.84	2.06	2.70



Grafik 4. 4 Kolom Plat 11cm x 11cm



Grafik 5. Hubungan Antara Nilai CBR (%) dengan Jumlah Kolom Plat 11cm x 11 cm

4. KESIMPULAN

1. Karakteristik tanah gambut di lokasi penelitian didapat berat isi tanah yaitu (γ) 1,176 gr/cm³, berat jenis tanah (G_s) 1,637%, kadar air 342,28%, analisa saringan tertahan no 200 yaitu 56,16% dan lolos saringan 200 yaitu 43,84% disimpulkan sesuai USCS bahwa tanah tersebut adalah karakteristik tanah gambut.
2. Pengaruh penambahan campuran volume semen dan air pada stabilisasi tanah gambut dengan pengujian kuat tekan bebas adalah campuran maksimal pada dosis pengikat 200

- kg/m³ dan rasio air 1.2 dengan hasil *qu* yang di dapat 0,113 dimana hasil kuat tekan bebas pada tanah asli adalah 0,032 dimana ditemukan kenaikan sebesar 353,125%.
3. Hasil pengujian stabilisasi tanah gambut setelah dilakukan penambahan satu kolom, tiga kolom, dan empat kolom campuran semen dan air dengan metode *deep soil mixing* dengan plat 5cm x 5cm menggunakan pemodelan CBR adalah satu kolom 28 hari 0,27%, tiga kolom 28 hari 0,25% dan empat kolom 28 hari 0,22%. Tanah asli mendapatkan nilai CBR sebesar 0,096 maka ditemukan peningkatan sebesar 281,25% dari tanah asli dengan penambahan satu kolom *soil* semen. Terjadi penurunan pada tiga kolom dan empat kolom diakibatkan dengan plat 5cm x 5cm sesuai jurnal, tidak menyentuh as kolom yang memiliki diameter 5,65cm pada setiap kolomnya.
 4. Hasil pengujian stabilisasi tanah gambut setelah dilakukan penambahan satu kolom, tiga kolom, dan empat kolom campuran semen dan air dengan metode *deep soil mixing* dengan plat 11cm x 11cm menggunakan pemodelan CBR adalah satu kolom 28 hari 1,84%, tiga kolom 28 hari 2,06 dan empat kolom 28 hari yaitu 2,70%. Tanah asli mendapatkan nilai CBR sebesar 1,058% maka ditemukan peningkatan sebesar 255,422% dari tanah asli dengan penambahan empat kolom *soil* semen. Dapat disimpulkan juga bahwa pengaruh ukuran plat baja yang di ambil sangat besar pada stabilisasi tanah gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y., & Permadi, I. (2021). Analisis Perubahan Sifat Mekanis Tanah Gambut Pada Stabilisasi Tanah Secara Kimiawi Menggunakan Difasol Stabilizer Dan Semen. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 10(2), 155. <https://doi.org/10.24127/tp.v10i2.1585>
- Assa, V. A., Jurusan Teknik Sipil, & Manado, P. N. (2020). *Laboratorium Uji Tanah*.
- Bouassida, M., Jellali, B., & Porbaha, A. (2009). Limit Analysis Of Rigid Foundations On Floating Columns. *International Journal Of Geomechanics*, 9(3), 89–101. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1532-3641\(2009\)9:3\(89\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1532-3641(2009)9:3(89))
- Dwi, M., Tyas, A., Alif, D., Sipil, T., Surabaya, U. M., & No, J. S. (2022). Pengaruh Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Deep Mixing Terhadap Besarnya Penurunan Tanah Lunak Adalah Di Banjarmasin , Lempung Dengan Sisipan Pasir Halus Dan Indonesia Untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Lunak Antara Lain PVD (Prefabricated Vertical Dra. 14(59), 140–151.
- Faticha, A. (2016). Pengaruh Jarak Dan Panjang Kolom Deep Soil Mixing (Dsm) Berpolas Single Square Diameter 4,5 Cm Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif. *Naskah Publikasi Teknik Sipil, Amalia Fat*, 1–23.
- Liu, J., Li, B. S., Ahmad, A., & Pouyda, C. (2017). *Laboratory Investigation Of Deep Soil Mixing In Treatment Of Organic Clays In Ontario*. January, 28.
- Masaki Kitazume, Dr. Eng. Tokyo (2017). Deep Mixing Method, The Japanese Experience and Recent Advancemen. Advance in Concrete Technology by Hong Kong Concrete Institute
- Pinasang, D. B., Harianto, T., A.B., M., & A.A., A. (2022). *Column Test Model Of Expansive Soil Stabilized With Lime Injection Using Shallow Mixing Method*. December.
- Putra, M. D. H., Zaika, Y., & Rachmansyah, A. (2017). Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah

- Asli Terhadap Nilai CBR. *JOM Jurusan Teknik Sipil UB*, 1(1), 230–241.
- R.Rachmat Syahputra. (2021). *Perbaikan Kuat Tekan Bebas Tanah Gambut Dari Kabupaten Siak Menggunakan Metode Microbially Induce Calcite Precipitation*.
- Radius Suryajaya Tejokusumo, Eko.Andi.Suryo, Y. Z. (2020). *Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing (Dsm) Berpola Panels Dan Kapur Dengan Variasi Jarak Dan Panjang Kolom Diameter 3,2 Cm Terhadap Perubahan Daya Dukung Dan Pengembangan*.
- S, D. S., Ritung, S., Anda, M., Suryani, E., & Subandiono, R. E. (2014). *Klasifikasi Tanah Nasional*.
- Siva Prasad Pathivada. (2005). Effects Of Water-Cement Ratio On Deep Mixing Treated Expansive Clay Characteristics. *The University Of Texas At Arlington*, 2, 1–7. File:///D:/Skripsi Stabilitas Tanah Gambut Dengan Semen 2023/Skripsi/Thesis Effects Of Water-Cement Ratio On Deep Mixing Treated
- Suvvari, S. G. P., Y, H., & P.V.V, S. (2015). Stabilization Of Marine Clays With Geotextile Reinforced Stone Columns Using Silica-Manganese Slag As A Stone Column Material. *International Journal Of Computational Engineering Research*, 05(09), 5–12. [Www.Ijceronline.Com](http://www.ijceronline.com)
- Tatarniuk, C. M. (2014). *Deep Soil Mixing As A Slope Stabilization Technique In Northland Allochthon Residual Clay Soil In The Department Of Civil And Natural Resources Engineering*.
- Zaika, Y., & Rachmansyah, A. (2017). The Estimation Of Bearing Capacity And Swell Potential Of Deep Soil Mixing On Expansive Soil By Small Scale Model Test. *International Journal Of GEOMATE*, 13(38), 9–15. <https://doi.org/10.21660/2017.38.6527>
