

Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kestabilan Struktur Embankment Pada Daerah Reklamasi (Studi Kasus : Pulau Gangga)

Alzan

Sjachrul Balamba, J. E. R. Sumampouw

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: alzan.ac@gmail.com

ABSTRAK

Reklamasi merupakan alternatif pemenuhan kebutuhan lahan masyarakat di era saat ini. Aspek perekonomian menjadi pendorong terjadinya reklamasi, oleh karena itu untuk mendukung laju perekonomian tanah reklamasi harus stabil dari segi penurunan dan nilai SF. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah yang baik digunakan dalam reklamasi dengan tinjauan tanah daerah likupang. Dalam penelitian ini digunakan 2 jenis tanah yang berbeda yaitu tanah A(SC) pada desa Tarabitan dan tanah B(CH) pada desa Kampung Islam. Analisis kestabilan reklamsi pada pulau Gangga menggunakan program Plaxis v8.2 yang dapat menghitung besarnya nilai penurunan dan nilai SF. Pengujian di laboratorium diperlukan untuk memenuhi data yang diperlukan Plaxis v8.2 seperti γ_{sat} , γ_{unsat} , k_x, y , E , v , ϕ , c . Hasil penelitian menunjukkan bahwa 2 jenis tanah memiliki penurunan dan nilai SF yang berbeda. setelah dilakukan variasi muka air laut CH memiliki kemampuan yang lebih baik dari pada tanah SC ini ditunjukkan dengan penurunan terbesar tanah SC 0,0574 m dan CH 3,94E-03 m. Sedangkan dilihat dari angka keamanan(SF) sama halnya dengan penurunan tanah CH lebih baik dari tanah SC ini di tunjukan angka keaman CH 2,00 dan tanah SC 1,125.

Kata kunci : reklamasi, penurunan, SF

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Reklamasi pantai sebagai alternatif pemenuhan kebutuhan lahan perkotaan menjadi kemutlakan karena semakin sempitnya wilayah daratan. Kebutuhan dan manfaat reklamasi dapat dilihat dari aspek tata guna lahan, aspek pengelolaan pantai dan ekonomi. Aspek perekonomian adalah kebutuhan lahan akan pemukiman, semakin mahalnya daratan dan menipisnya daya dukung lingkungan di darat menjadikan reklamasi sebagai pilihan bagi negara maju atau kota metropolitan dalam memperluas lahannya guna memenuhi kebutuhan akan pemukiman

Perumusan Masalah

Dalam penimbunan tanah seperti reklamasi yang harus di tinjau adalah kestabilan tanah timbunan dari segi daya dukung, konsolidasi dan keruntuhan. Beberapa tanah tak mampu dibebani dengan tanah timbunan. Jenis tanah yang akan menjadi timbunan sangat mempengaruhi suatu kestabilan tanah yang akan dibebani.

Tujuan Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis jenis tanah yang paling baik dari segi SF dan penurunannya untuk bisa digunakan pada reklamasi.

Batasan masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dibatasi permasalahan menyangkut bidang geoteknik antara lain sebagai berikut :

1. Tidak memperhitungkan gempa
2. Tidak memperhitungkan gaya yang ditimbulkan ombak
3. Menggunakan 2 jenis tanah pada daerah Likupang

Manfaat Penulisan

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan referensi dan pertimbangan dalam melakukan kegiatan reklamasi.

Metode Penelitian

Untuk menganalisis kestabilan struktur embankment, penulis menggunakan Program Plaxis v8.2 sehingga akan mendapatkan hasil-hasil yang sesuai tujuan penulis. Standar yang digunakan dalam uji laboratorium adalah ASTM (American Society for Testing Material)

- | | |
|---|---------------------|
| a. Kadar air | : D2216-92 |
| b. Berat jenis | : D 854-92 |
| c. Distribusi ukuran butiran tanah | : D 100-93 |
| d. Batas cair tanah | : D4318-93 |
| e. Batas plastis dan indeks plastis tanah | : D4318-93 |
| f. Konsolidasi | : D5333 |
| g. Pemadatan tanah | : D 698-91 |
| h. Triaksial UU | : D4767/D2664/D5311 |

LANDASAN TEORI

Tanah Dan Sifat-Sifatnya

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt) atau lempung (clay) tergantung pada ukuran partikel tanah tersebut. Kerikil (gravel) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lainnya

Klasifikasi Tanah USCS (Unified soil classification system)

Sistem ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (coarse-grained-soil), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total tanah lolos ayakan no. 200 imbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G Untuk Gravel (Kerikil) atau tanah berkerikil, dan S untuk Sand (Pasir) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (fine-grained-soil), Yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200 .symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk Lanau (silt) Anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Untuk simbol PT digunakan untuk tanah gambut (peat), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

- W = Tanah dengan gradasi baik (Well graded)
P = Tanah dengan gradasi buruk (Poorly graded)
L = Plastisitas rendah (Low plasticity), $LL < 50$
H = Plastisitas tinggi (High Plasticity), $LL > 50$

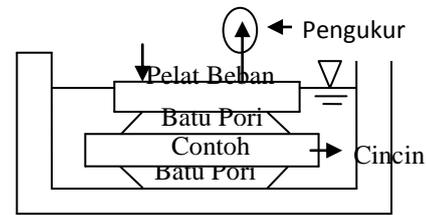
Prinsip-Prinsip Pemasatan

Pada awal proses pemasatan, berat volume tanah kering (γ_d) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemasatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah.

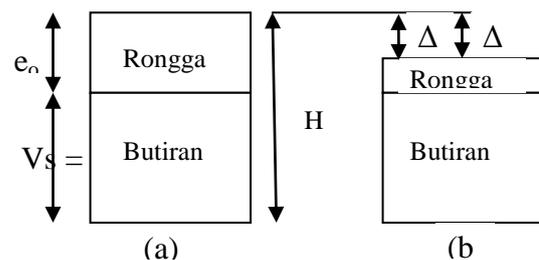
Teori Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada air berpasir yang sangat tembus air (permeable), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, berkurangnya volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah itu. Pengujian konsolidasi satu dimensi (one dimensional

consolidation) biasanya dilakukan di laboratorium dengan alat oedometer atau konsolidometer. Gambar skematik alat ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Skema Alat Pengujian Konsolidasi

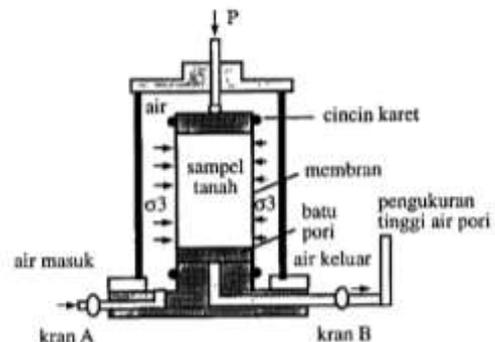


Gambar 2.2. Fase Konsolidasi

(a) sebelum Konsolidasi (b) sesudah konsolidasi

Pengujian Kuat Geser Tanah dengan Tekan Triaksial

Uji tekan Triaksial (Triaxial Compression Test) diketahui sebagai uji yang paling terandalkan dalam memperoleh parameter geser dan data tegangan-tegangan tanah. Cara pengujian ini memperbolehkan pemberian tegangan-tegangan vertikal dan Horizontal secara serentak terhadap contoh tanah.



Gambar 2.3 Skema Umum Alat Uji Tekan Triaksial

Ada tiga jenis uji tekan triaksial berdasarkan pembebanan dan kondisi pengaliran.

1. Unconsolidated Undrained Test (UU)
2. Consolidated Drained test (CD)
3. Consolidated Drained test (CD)

Reklamasi

Reklamasi lahan adalah proses pembentukan lahan baru di pesisir atau bantaran sungai. Sesuai dengan definisinya, tujuan utama reklamasi adalah

menjadikan kawasan berair yang rusak atau tak berguna menjadi lebih baik dan bermanfaat. Dalam teori perencanaan kota, reklamasi pantai merupakan salah satu langkah pemekaran kota. Biasanya reklamasi dilakukan oleh negara atau kota besar dengan laju pertumbuhan dan kebutuhan lahannya meningkat pesat, tetapi mengalami kendala keterbatasan lahan.

Stabilitas

Stabilitas Lereng

Faktor – faktor yang mempengaruhi hasil hitungan stabilitas lereng :

- Kondisi tanah yang berlapis
- Kuat geser tanah yang isotropis
- Aliran rembesan air dalam tanah

Teori Analisa Stabilitas Lereng

Maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan atau,

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (1)$$

dengan ;

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

F = faktor aman.

Penurunan Tanah

Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahap :

1. Immediate Settlement (penurunan seketika), diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air.
2. Primary Consolidation Settlement (penurunan konsolidasi primer), yaitu penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah.
3. Secondary Consolidation Settlement (penurunan konsolidasi sekunder), adalah penurunan setelah tekanan air pori hilang seluruhnya.

Program Plaxis

Finite elemen method atau cara elemen hingga adalah metode analisa numerik yang banyak digunakan untuk perencanaan embung terutama untuk perhitungan stabilitas konstruksi dan penurunan. Adapun prinsip perhitungannya adalah memecahkan persoalan yang rumit atau sukar dengan cara

membagi –baginya menjadi bagian-bagian yang kecil sehingga menjadi lebih sederhana untuk penyelesaian.

Finite Element Method

Konsep dasar metode elemen hingga (Finite Element Method atau disingkat FEM) adalah 'diskritisasi'. Kita anggap bahwa distribusi deformasi u sulit dicari dengan cara konvensional dan kita perlu menggunakan FEM yang berdasarkan konsep diskritisasi. Kita bagi suatu massa atau sejumlah daerah –daerah kecil yang disebut "finite element" atau elemen hingga yang merupakan pendekatan praktis dengan toleransi penyimpangan yang dapat diterima. Dalam pemodelan pada program Plaxis, digunakan 7 model perhitungan yaitu :

1. Mohr-coulomb
2. Joint rock
3. Hardening soil
4. Hardening soil model with small
5. Soft soil creep
6. Soft soil
7. Modified cam-clay

Faktor keamanan hanya dapat dianalisa dengan model Mohr-coulomb. Model Mohr-coulomb membutuhkan 7 parameter dalam analisa. Parameter-parameter tersebut adalah :

1. Young Modulus(E)
2. Poisson's Ratio(ν)
3. Sudut Geser(ϕ)
4. Kohesi(c)
5. γ_{sat}
6. γ_{unsat}
7. $k_{x,y}$

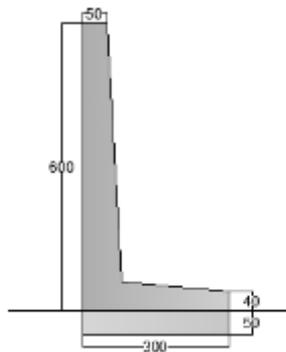
METODOLOGI PENELITIAN

Pulau Gangga berada dalam pemerintahan minahasa utara ,berada pada $1^{\circ}46'16.37''U$ $125^{\circ} 3'18.02''T$, dalam penulisan Tanah A(SC) di ambil dari desa Tarabitan Likupang Barat yang berada pada $1^{\circ}44'57.70''U$ $124^{\circ}59'32.41''T$ Tanah B(CH) di ambil dari desa Kampung Islam Likupang Barat yang berada pada $1^{\circ}39'38.74''U$ $124^{\circ}57'42.87''T$ berikut lokasi pengambilan tanah yang akan digunakan sebagai material embankment.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Tanah

Reklamasi akan dibuat sepanjang 25 m dengan ketinggian embankment 6m, embankment dibuat dengan kemiringan 90 atau tegak lurus dengan di ujung embankment akan dilapisi dengan beton dengan dimensi berikut :



Gambar 2. Dimensi Dinding Penahan

Dalam melakukan analisa digunakan program plaxisv8.2 dengan pemodelan mohr-coloumb yang membutuhkan beberapa data seperti $E, \nu, \phi, c, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}, k_{x,y}$. Nilai Young modulus (E), Poisson ratio (ν), Permeabilitas ($k_{x,y}$), dapat diketahui dengan mengetahui jenis tanah, nilai ϕ, c dengan triaxial UU, γ_{unsat} dengan melakukan percobaan pematatan tanah, γ_{sat} dengan rumus $\frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e}$. Berikut percobaan yang harus di lakukan untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut

Pemeriksaan Kadar Air

Tujuan Pemeriksaan Kadar Air adalah untuk Menentukan kadar air contoh tanah (dalam %) merupakan perbandingan berat air yang dikandung terhadap berat butir keringnya.

Pemeriksaan Berat Spesifik Tanah

Tujuan Pemeriksaan Berat Spesifik Tanah adalah Untuk mengetahui besarnya berat spesifik (G_s) dari tanah.

Pemeriksaan Batas Cair Tanah

Tujuan Pemeriksaan Batas Cair Tanah adalah untuk Menentukan nilai batas cair tanah dengan memakai peralatan standar cassagrande.

Pemeriksaan Batas Plastis dan indeks plastis

Tujuan Pemeriksaan Batas Plastis dan indeks plastis adalah untuk menentukan nilai batas plastis suatu contoh tanah. Catatan : batas plastis adalah kadar air sampel yang bila digulung diatas kaca sampai mencapai 3 mm mulai menjadi retak-retak.

Pemeriksaan Distribusi Ukuran Butiran (Analisa Saringan)

Tujuan analisa saringan adalah untuk menentukan distribusi ukuran butiran suatu contoh tanah.

Pengujian Konsolidasi

Tujuan pengujian konsolidasi untuk mengetahui kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah apabila tanah diberi beban, keadaan tanah samping tertahan dan diberi drainase pada arah vertikal

Pengujian Triaksial Pada kondisi " Unconsolidated Undrained "

Tujuannya adalah untuk menentukan parameter geser tanah dengan alat Triaksial pada kondisi "Unconsolidated Undrained" atau tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase.

Pengujian Pematatan Tanah

Untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan (berat volume kering) tanah apabila dipadatkan dengan tenaga pematatan tertentu

Plaxis

Plaxis V.8.2 adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa yang dapat mendekati perilaku sebenarnya.

Pemodelan Material

Pada analisis ini digunakan *model Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter yaitu :

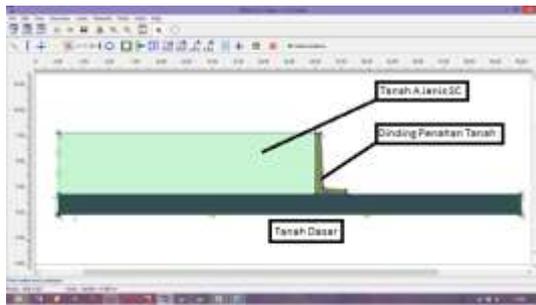
- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Modulus Young (E_{ref})
- Poisson's ratio (ν)
- Dilatancy angle (ψ)

Tahap Perhitungan Plaxis 8.2

Pada perhitungan dengan Plaxis 8.2 tahap-tahapnya adalah: i) Plaxis input, ii) Plaxis calculation, iii) Plaxis output.

Plaxis Input

Analisis stabilitas struktur tubuh timbunan dengan Plaxis 8.2 dilakukan dengan membuat file baru setelah kita membuka program Plaxis Input . Dalam membuat file baru untuk analisis harus diketahui terlebih dahulu dimensi dari struktur yang kita analisis untuk mengisi Geometry Dimensions. Satuan yang akan digunakan juga diatur terlebih dahulu pada awal pembuatan pada Plaxis 8.2.

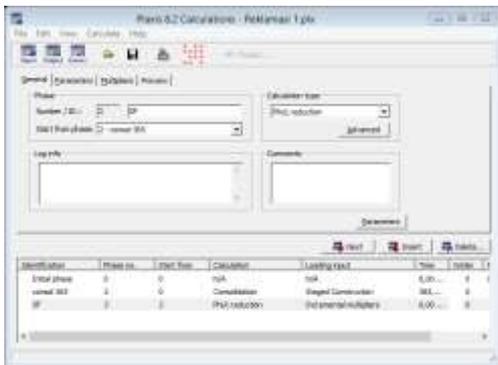


Gambar 3. Input Geometri

Plaxis Calculations

Perhitungan stabilitas reklamasi dengan Plaxis 8.2 ditinjau pada kondisi-kondisi di bawah ini:

1. Kondisi tanah asli, kondisi dimana tegangan dan regangan awal akibat berat tanah sendiri.
2. Kondisi timbunan + air, kondisi dimana terjadi tegangan dan regangan yang diakibatkan oleh beban timbunan dan beban air.

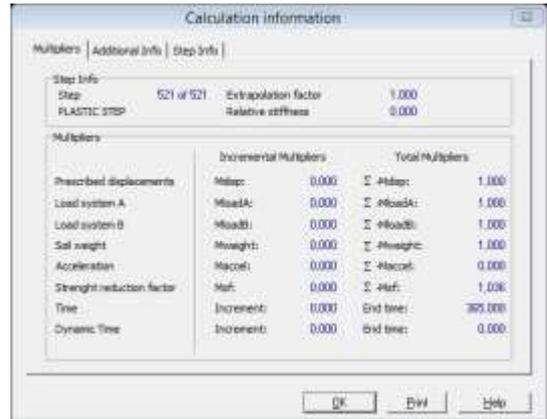


Gambar 4. Calculations

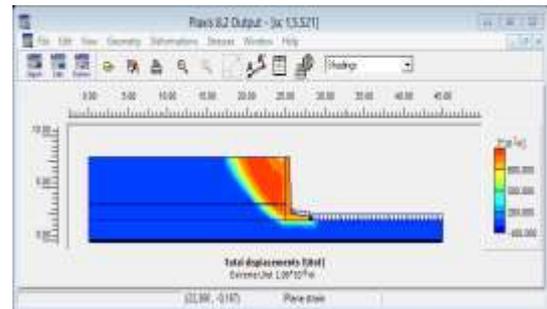
Plaxis Output V 8.2

Perhitungan stabilitas Timbunan dengan Plaxis 8.2 ditinjau pada kondisi-kondisi di bawah ini:

1. Kondisi embakment tanpa beban dengan variasi muka air laut.
2. Kondisi embakment dengan beban dengan variasi muka air laut.



Gambar 5. SF



Gambar 6. Garis Keruntuhan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Hasil-Hasil Penelitian

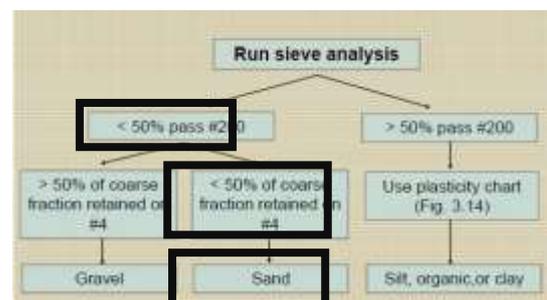
Hasil Pengujian tanah di laboratorium di rangkum dalam tabel berikut :

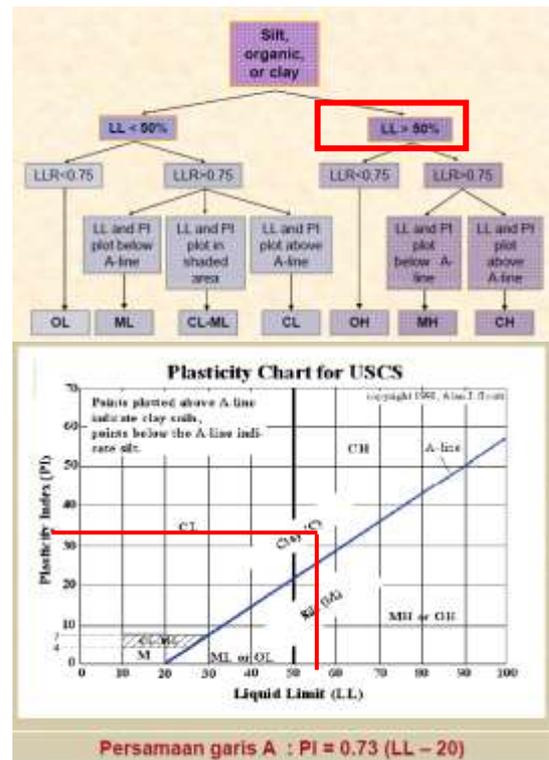
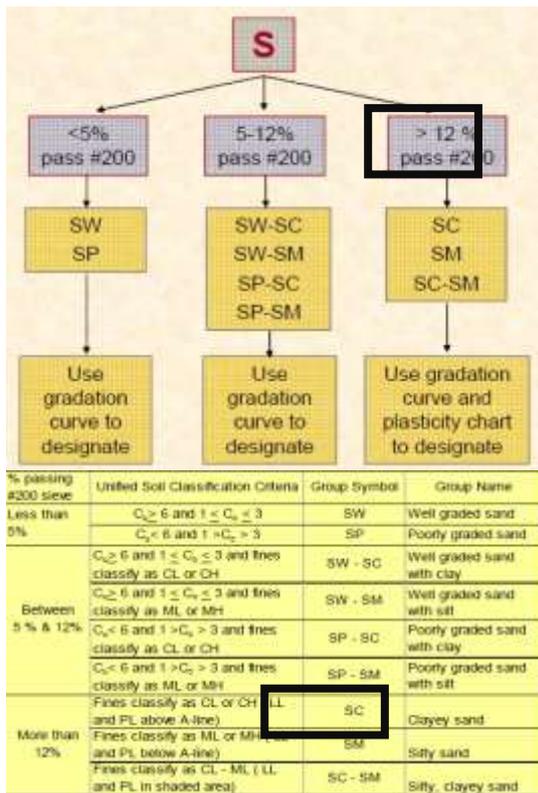
Tabel 1. Hasil-Hasil Pengujian tanah di laboratorium

Karakteristik	Tanah A	Tanah B
Batas Cair (LL)	46,4 %	63,6 %
Batas Plastis (PL)	33,44 %	35,36 %
Indeks Plastis (IP)	19,27 %	31,82 %
Berat Jenis (Gs)	2,67	2,57
Lolos Saringan no.200	18,64 %	75,15 %
Gamma dry (γ_{unsat})	14,28 KN/m ³	12,60 KN/m ³
Sudut geser dalam (ϕ)	7,2°	8°
Kohesi (c)	7,180 KN/m ²	67,7 KN/m ²

Pembahasan Klasifikasi Tanah

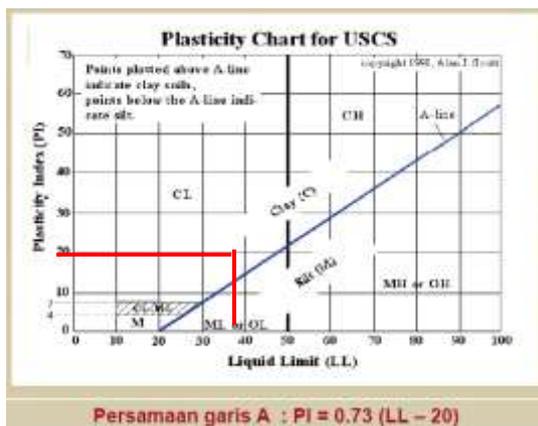
A. Klasikasi tanah A (desa Tarabitan)





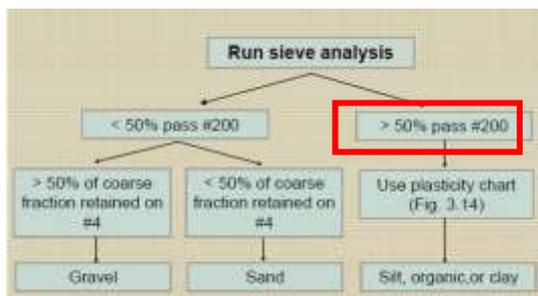
Gambar 7b. Klasifikasi tanah B

Setelah dilakukan klasifikasi tanah, maka jenis tanah untuk tanah A adalah SC (sand clayey) dan Tanah B adalah CH (fat clay).



Gambar 7a. Klasifikasi tanah A (desa Tarabitan)

B. Klasifikasi tanah B (Kampung Islam)



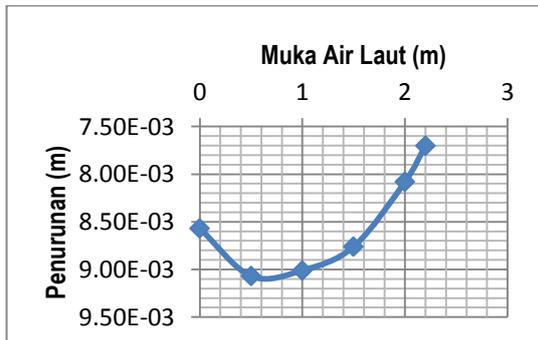
- Tanah dasar
 - $Y_{sat} = 21,3 \text{ KN/m}^3$
 - $Y_{unsat} = 17,83 \text{ KN/m}^3$
 - $K_{x,y} = 10E+4 \text{ m/day}$
 - $E = 24500 \text{ KN/m}^2$
 - $v = 0,4$
 - $c = 0,392 \text{ KN/m}^2$
 - $\phi = 37,83^\circ$
- Tanah A (SC)
 - $Y_{sat} = 17,2 \text{ KN/m}^3$
 - $Y_{unsat} = 14,28 \text{ KN/m}^3$
 - $K_{x,y} = 10 \text{ m/day}$
 - $E = 3000 \text{ KN/m}^2$
 - $v = 0,2$
 - $c = 7,180 \text{ KN/m}^2$

- $\phi = 7,2^\circ$
- Tanah B(CH)
 - $Y_{sat} = 18,43 \text{ kN/m}^3$
 - $Y_{unsat} = 12,60 \text{ kN/m}^3$
 - $K_{x,y} = 0,01 \text{ m/day}$
 - $E = 2000 \text{ kN/m}^2$
 - $\nu = 0,4$
 - $c = 67,7 \text{ KN/m}^2$
 - $\phi = 8^\circ$

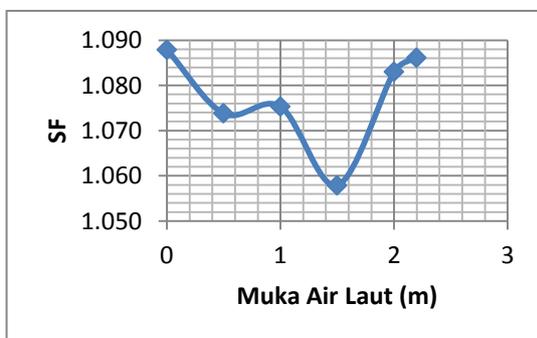
Hasil-Hasil Perhitungan Program Plaxis v8.2

Tabel 2. Hubungan Antara Nilai SF dan Penurunan Tanah A dengan Kenaikan MAL

Muka Air Laut (m)	SF	Penurunan (m)
0	1,088	8,57E-03
0,5	1,074	9,07E-03
1	1,075	9,01E-03
1,5	1,058	8,76E-03
2	1,083	8,08E-03
2,2	1,086	7,70E-03



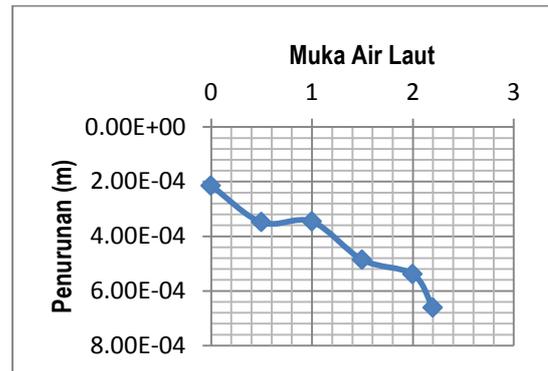
Gambar 8. Grafik Hubungan antara MAL dan Penurunan Tanah A (desa Tarabitan)



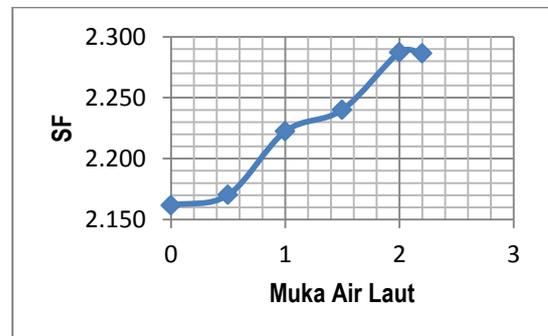
Gambar 9. Grafik Hubungan antara MAL dan SF Tanah A (desa Tarabitan)

Tabel 3. Hubungan Antara Nilai SF dan Penurunan Tanah B (Kampung Islam) dengan Kenaikan MAL

Muka Air Laut (m)	SF	Penurunan (m)
0	2,162	2,15E-04
0,5	2,170	3,49E-04
1	2,222	3,46E-04
1,5	2,240	4,86E-04
2	2,287	5,39E-04
2,2	2,286	6,62E-04



Gambar 10. Grafik Hubungan antara MAL dan Penurunan Tanah B (Kampung Islam)

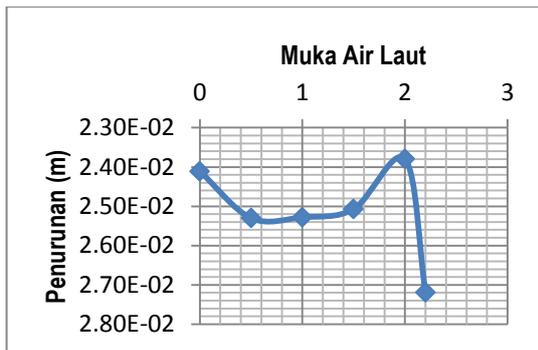


Gambar 11. Grafik Hubungan Antara MAL dan SF

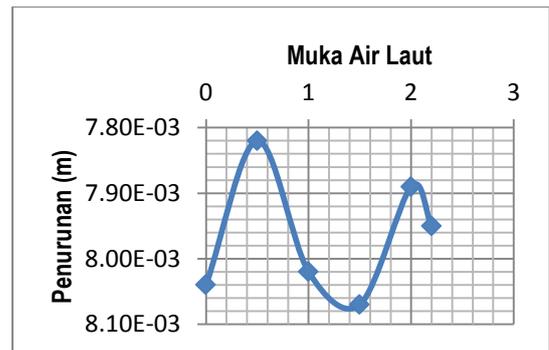
Tanah A (SC) diuji dengan beban

Tabel 4. Hubungan Antara Nilai SF dan Penurunan Tanah A dengan Kenaikan MAL pada Beban 5kN/m²

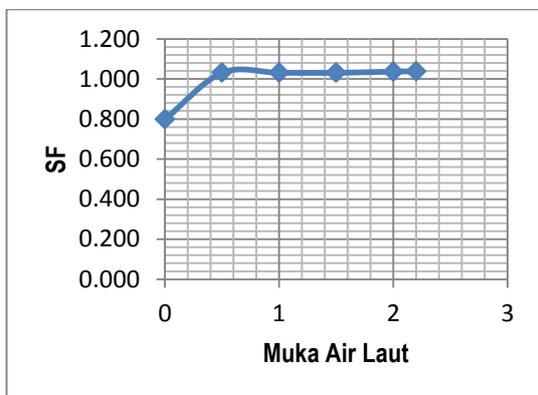
Muka Air Laut (m)	SF	Penurunan (m)
0	0,798	2,41E-02
0,5	1,031	2,53E-02
1	1,031	2,53E-02
1,5	1,031	2,51E-02
2	1,037	2,38E-02
2,2	1,038	2,72E-02



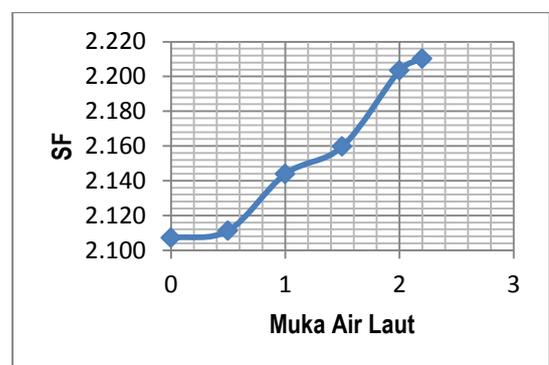
Gambar 12. Grafik Hubungan antara MAL dan Penurunan Tanah A (desa Tarabitan) dengan Beban 5kN/m²



Gambar 14. Grafik Hubungan antara MAL dan Penurunan Tanah B (Kampung Islam) dengan Beban 5 kN/m²



Gambar 13. Grafik Hubungan antara MAL dan SF Tanah A (desa Tarabitan) dengan Beban 5kN/m²



Gambar 15. Grafik Hubungan antara MAL dan SF Tanah B (Kampung Islam) dengan Beban 5kN/m²

Tanah B (CH) diuji dengan beban

Tabel 5. Hubungan Antara Nilai SF dan Penurunan Tanah B(Kampung Islam) dengan Kenaikan MAL pada Beban 5kN/m²

Muka Air Laut (m)	SF	Penurunan (m)
0	2,107	8,04E-03
0,5	2,111	7,82E-03
1	2,144	8,02E-03
1,5	2,1597	8,07E-03
2	2,203	7,89E-03
2,2	2,2102	7,95E-03

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil analisa penurunan pada tanah A (desa Tarabitan) menunjukkan di ketinggian muka air laut 0 m sampai dengan 2,2 m , membentuk parabola dengan penurunan terbesar pada muka air laut 1m dan terkecil pada 0 m sedangkan untuk tanah B(Desa Kampung Islam) kenaikan muka air laut di ikuti juga dengan penambahan penurunan.
2. Hasil analisa SF pada tanah A (desa Tarabitan) menunjukkan pada ketinggian muka air laut 0 s/d 1,5 m mengalami penurunan nilai SF dan 1,5s/d 2,2 m mengalami kenaikan sedangkan tanah B(Desa Kampung Islam) nilai SF naik seiring dengan kenaikan muka air laut.
3. Pembebananan embakmen pada tanah A(Desa Tarabitan) menyebabkan nilai SF berkurang sebesar 0,045 dan penurunan bertambah sebesar 0,041 m, untuk tanah B (desa Kampung Islam) nilai SF bertambah sebesar 0,085 m dan penurunan bertambah sebesar 0,008 m.
4. Hasil analisa tanah A dan tanah B ,menunjukkan bahwa tanah B lebih baik digunakan sebagai tanah timbunan pada reklamasi. Hal ini di tunjukan penurunan tanah B lebih kecil walaupun nilai SF tanah B kecil.

Saran

1. Diperlukan perlakuan lebih khusus lagi untuk mengatasi penurunan tanah A, apabila tanah tersebut harus digunakan untuk material reklamasi.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tinggi muka air terhadap penurunan dan SF.

DAFTAR PUSTAKA

- Das. Braja. M. 1993, Mekanika Tanah, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das Braja. M. 1995, Mekanika Tanah, jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- G Djatmiko Soedarmo, S.J. Edy Purnomo, 1993, Mekanika Tanah 1, Penerbit Kanisius, Malang
- Hardiyatmo H.C, 2012, Mekanika Tanah 1, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta
- Hardiyatmo H.C, 2010, Mekanika Tanah 2, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta
-, Panduan Praktikum mekanika tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi