

ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN METODE SAND COMPACTION PILE PADA TANAH RAWA (STUDI KASUS: JALAN TOL MANADO BITUNG SULUT)

Charity Joseph Manoppo

Fabian J. Manoppo, Steeva Rondonuwu.

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Sand Compaction Pile merupakan metode dimana pasir dipadatkan untuk membentuk pile yang dapat berfungsi sebagai perkuatan dan drainase. Metode ini telah digunakan pada tanah yang memiliki kadar air tinggi (Hiroki Et Al. (2012)) sehingga pada kasus ini, akan dilakukan analisa terhadap pengaruh perkuatan Sand Compaction Pile terhadap tanah rawa dengan bantuan program yang menggunakan metode limit equilibrium berupa SLIDE dan program yang menggunakan finite element berupa RS2 (Phase²) dalam mencari pengaruh perkuatan kestabilan tanah yang terjadi akibat aplikasi Sand Compaction Pile. Perilaku tanah diselidiki dalam laboratorium, dan analisis perhitungan dilakukan menggunakan program SLIDE dan RS2 sebagai kesimpulan dari masalah. Dari hasil analisa pada program SLIDE dan RS2, Sand Compaction Pile dapat meningkatkan perkuatan pada tanah namun tidak secara cukup signifikan untuk membuat perkuatan yang aman pada timbunan dengan nilai Safety Factor sebesar 0.504 dibandingkan dengan nilai Safety Factor tanpa perkuatan yaitu 0.475, dan nilai Total Deformation sebesar 71.6299 m², dibandingkan dengan nilai Total Deformation tanpa perkuatan yaitu sebesar 87.0311 m².

Kata kunci: Sand Compaction Pile, Tanah Rawa, Timbunan, SLIDE, RS2, Phase²

PENDAHULUAN

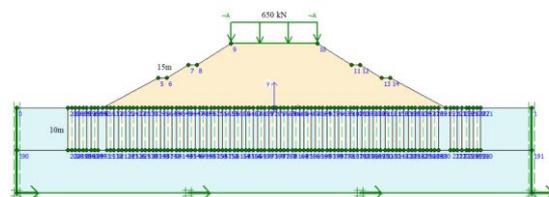
Konstruksi jalan toll Manado Bitung pada segmen1 akan dilakukan diatas tanah rawa dengan luas kurang lebih 1.8 ha dari Stat. 0.0 - 450, dikarenakan lokasi tanah rawa yang berada di daerah yang tidak rata, dibutuhkan timbunan setinggi 15 meter untuk membuat jalan memiliki ketinggian yang sama pada konstruksi.

Tanah rawa pada kasus ini, memiliki nilai CBR yang tidak memadai yakni lebih kecil dari 6 hingga kedalaman 9 meter, nilai kadar air yang tinggi disebabkan Muka Air Tanah dangkal pada elevasi 0.00, menyebabkan nilai daya dukung tanah yang rendah, dimana nilai daya dukung N SPT > 60 berada pada kedalaman > 18 meter. Dengan kondisi seperti ini maka dibutuhkan perkuatan. Pada kasus ini perkuatan pada kasus yang akan digunakan adalah Sand Compaction Pile (SCP). Penggunaan Sand Compaction Pile (SCP) dipilih oleh karena dari beberapa penelitian sebelumnya seperti (Hiroki Et Al. 2012) menunjukkan bahwa Sand Compaction Pile (SCP) dapat digunakan sebagai alternatif perkuatan pada tanah yang memiliki kadar air tinggi, serta memiliki potensi liquifaksi.

MATERIAL MODEL

Dari hasil pemeriksaan sifat fisik dan sifat mekanik dilaboratorium diperoleh tanah rawa adalah lempung berpasir (sandy clay). Tanah rawa diasumsikan bersifat homogen. Untuk material timbunan merupakan tanah pilihan yang berada disekitar lokasi yakni tanah pasir kelempungan (clayey sand) dan untuk material Sand Compaction Pile (SCP) digunakan tanah jenis pasir. Rencana pemodelan tinggi timbunan adalah 15 meter dan kedalaman Sand Compaction Pile adalah 10 meter.

Muka air tanah diaplikasikan pada permukaan tanah untuk mensimulasikan nilai kadar air tinggi pada tanah rawa.



Gambar 1. Desain Timbunan dengan Sand Compaction Pile

Efek prakompresi hilang akibat pembasahan tanah, dimana c dan ϕ yang digunakan dalam desain ditentukan dengan AB untuk desain dari sisi praktis.

Rumusan Masalah

1. Apakah Sand Compaction Pile (SCP) mampu mendukung beban dari Embankment
2. Berapa perbandingan yang didapat pada Embankment yang menggunakan Sand Compaction Pile (SCP) dan Embankment yang tidak memakai Sand Compaction Pile.

Batasan Masalah

1. Sample tanah diambil dalam keadaan terganggu.
2. Pemodelan dilakukan pada program SLIDE dan RS2.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai kuat geser optimum yang dapat dihasilkan oleh Sand Compaction Pile dalam kasus ini, Sehingga dapat diperkirakan perbandingan harga dan kuat geser yang jika menjanjikan, dapat menjadi alternatif yang ekonomis dan kuat dalam stabilisasi embankment pada tanah rawa yang ada pada kasus ini.

Manfaat Penelitian

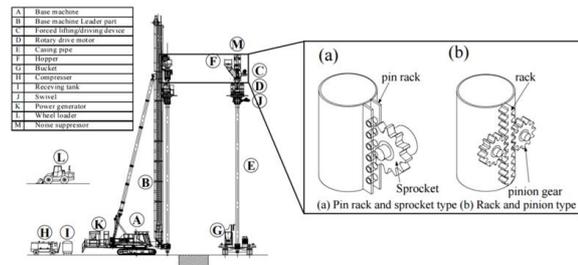
Penelitian ini bermanfaat sebagai referensi pemecahan masalah pada pembangunan jalan tol Manado-Bitung, dan stabilisasi embankment pada tanah rawa.

LANDASAN TEORI

Sand Compaction Pile (SCP)

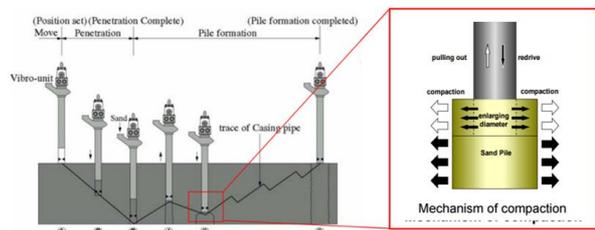
Perkuatan Sand Compaction Pile (SCP) merupakan perkuatan yang mengandalkan dan menggabungkan sistem pemadatan serta drainase untuk mendapatkan kekuatan tanah yang optimal. Perkuatan jenis ini dapat diaplikasikan dalam berbagai jenis tanah, dari tanah jenis lempung sampai tanah pasir. Pada tanah pasir metode SCP dapat digunakan sebagai metode untuk mencegah terjadinya liquefaction. Metode ini telah terbukti dalam mencegah terjadinya liquefaction pada saat gempa (Hiroki Kinoshita, 2012) Metode Sand Compaction Pile menggunakan vibro-hammer yang menggunakan teknik vibrasi untuk memadatkan pasir pada tanah. Alat yang digunakan biasanya terdiri dari mesin pemancang SCP yang akan digunakan sebagai basis dari alat

tersebut, dan alat yang dapat menjadi pengangkut dan pemancang yang memiliki mesin rotari atau hidrolik untuk menggerakkan casing cetakan pasir. Casing cetakan memiliki diameter 400-500 mm yang dapat menghasilkan SCP padat dengan diameter 700 mm. Terdapat juga dua jenis mesin pengangkat dan pemancang : Pin rack-sprocket type dan Rack-pinion type seperti Gambar 2.



Gambar 2. Detail Alat Vibro-Hammer

Karena alat Vibro-Hammer menghasilkan getaran yang dapat mengganggu daerah lingkungan sekitar. Metode SCP juga memiliki variasi dimana tidak pemadatan dibuat tanpa menggunakan vibrasi atau pancang. Metode ini disebut Non-Vibratory SCP Method seperti Gambar 3.



Gambar 3. Detail Non-Vibratory SCP Method

Terdapat beberapa tahap dalam Metode Vibratory SCP. Diantaranya adalah :

1. Pipa Casing dipasang pada tempat yang sudah ditentukan.
2. Dengan menggunakan alat pemancang, Pipa dipasang ke dalam tanah dengan gerakan memutar.
3. Saat Pipa sudah mencapai kedalaman yang ditentukan. Pasir diisi ke dalam pipa menggunakan alat pengisi (Hopper)
4. Pipa Casing kemudian ditarik keluar, dimana kompresi udara akan memadatkan pasir didalam Casing keluar.
5. Casing ditarik keluar sambil pemadatan dilakukan untuk memperbesar diameter SCP
6. Ulangi metode tersebut hingga mencapai permukaan tanah.

Dibandingkan dengan metode Stone Column, Sand Compaction Pile memiliki perbedaan-perbedaan seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Perbandingan Metode Stone Column dan Sand Compaction Pile.

| | Metode Sand Compaction Pile | Metode Stone Column (Dry-Bottom Feed) |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Lokasi Vibrator | Bagian Atas | Bagian Bawah |
| Arah Vibrasi | Vertikal | Horizontal |
| Arah Masuk Material | Bagian Bawah | Bagian Bawah |
| Penggunaan Udara dan Air | Udara Tanpa menggunakan Air | Udara dan Air |
| Material Pengisi | Pasir dan Kerikil | Kerikil |
| Kontrol Kualitas | Volume dari Pasir dan Kerikil | Intensitas Listrik |

Sebagai ringkasan, fitur-fitur yang didapat dari metode SCP adalah :

1. Sand Pile yang memiliki diameter konsisten yang diinstal menggunakan sistem vibrasi vertikal.
2. Vibrator dapat menggunakan material yang beragam seperti Pasir dan Kerikil
3. SCP dapat menggunakan metode Non-Vibratory jika dibutuhkan.

Tanah Rawa (Lowlands)

Tanah rawa merupakan jenis tanah dimana terdapat genangan air atau memiliki kadar air yang tinggi yang terjadi secara ilmiah dan akibat drainase yang terhambat. Tanah jenis ini juga dapat memiliki campuran fragment organik yang berasal dari vegetasi serta fosil-fosil yang telah berubah secara kimiawi, serta bersifat organik. Tanah jenis ini biasanya memiliki warna coklat sampai kehitaman, serta memiliki kandungan kadar air yang tinggi serta kompresibilitas yang tinggi. Lapisan tanah ini dapat dijumpai pada daerah hutan tropis serta daerah dataran rendah yang memiliki faktor genangan air yang tinggi dan lembab, serta udara panas yang minimum.

METODOLOGI PENELITIAN

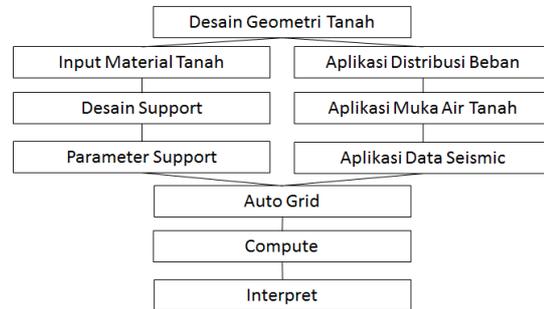
SLIDE

Slide merupakan salah satu program yang dapat menganalisa kestabilan tanah. Slide juga dapat menganalisa tekanan air tanah serta rembesan air tanah dengan menggunakan metode limit equilibrium

Pada kasus ini, metode analisis yang digunakan untuk mendapatkan faktor keamanan adalah metode Bishop Simplified, Langkah-langkah

yang dilakukan dalam pemodelan dalam program SLIDE seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Langkah-langkah Pemodelan SLIDE



Metode Bishop Simplified

Metode Bishop Simplified menggunakan prinsip irisan dalam penentuan faktor keamanan dalam suatu massa tanah yang berpotensi mengalami keruntuhan. Metode ini hanya memperhitungkan keseimbangan pada arah gaya vertical dan momen pada titik pusat lingkaran. Metode ini mengabaikan gaya geser antar irisan. Persamaan kuat geser adalah :

$$\tau = c'/F + (\sigma - \mu) \text{tg} \phi'/F$$

Untuk irisan ke-i, nilai $T_i = \tau_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, yaitu

$$\tau = \frac{c'a_i}{F} + (N_i - \mu_i a_i) \frac{\text{tg} \phi'}{F}$$

Keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya total yang dikerahkan tanah pada bidang longsor adalah ;

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R$$

Dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O, dapat diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c'a_i + (N_i - \mu_i a_i) \text{tg} \phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i}$$

Pada kondisi keseimbangan vertikal, jika $X_1 = X_i$ dan $X_r = X_{i+1}$

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$$

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i}$$

Dengan $N_i' = N_i - \mu a_i$ disubstitusikan ke persamaan diatas maka diperoleh :

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - \mu_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / F}$$

Nilai N_i dimasukkan pada persamaan F

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} \left(c' a_i + \tan \phi' \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - \mu_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / F} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Penyerdehanaan dianggap $X_i - X_{i+1} = 0$, dan $x_i = R \sin \theta_i$, serta $b_i = a_i \cos \theta_i$, diperoleh:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - \mu_i b_i) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dengan :

- F = faktor aman
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)
- μ_i = tekanan air pori irisan ke-i (kN/m²)
- θ_i = sudut
- b_i = lebar irisan ke-i (m)
- ϕ' = sudut gesek dalam efektif (°)

Rasio Tekanan Pori

$$r_u = \frac{\mu b}{W} = \frac{\mu}{\gamma h}$$

Dengan :

- r_u = rasio tekanan air pori
- μ = tekanan air pori (kN/m²)
- b = lebar irisan ke-i (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m³)
- h = tinggi irisan rata-rata (m)

Dengan mensubstitusikan Ratio Tekanan Pori pada persamaan F, maka didapat:

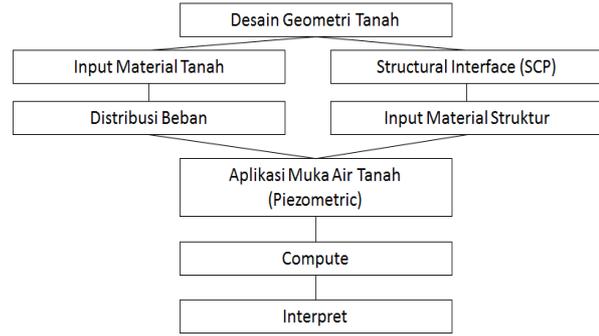
$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

RS2

RS2 merupakan salah satu program yang dapat menganalisa kestabilan tanah. RS2 juga dapat menganalisa tekanan air tanah serta rembesan air tanah dengan menggunakan metode Finite Element.

RS2 juga dapat menganalisa total deformasi yang terjadi pada tanah, program ini menggunakan nilai SRF (Strength Reduction Factor) dimana SLIDE menggunakan nilai SF (Safety Factor), Metode perhitungan analisa yang digunakan pada kasus ini adalah metode Mohr-Coulomb. Langkah-langkah pemodelan RS2 seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Langkah-langkah Pemodelan RS2

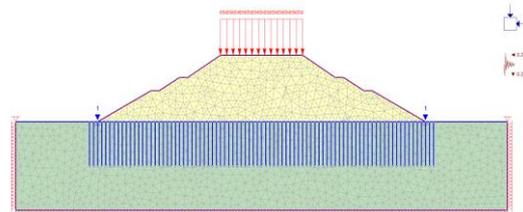


KALKULASI PROGRAM

Program SLIDE menggunakan metode limit equilibrium dalam menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan rumus Bishop Simplified.

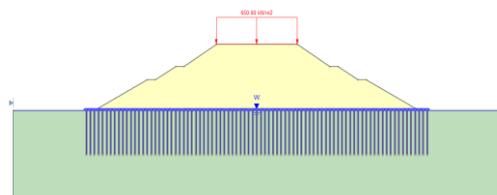
Sand Compaction Pile (SCP) pada SLIDE dimodelkan dengan menggunakan Support Pattern.

Program RS2 menggunakan metode finite element dalam menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan rumus Mohr Coulomb. Pada pemodelan ini RS2 menggunakan metode garis Piezometric untuk perhitungan faktor muka air tanah



Gambar 4. Pemodelan dengan RS2

RS2 menggunakan parameter Strength Reduction Factor (SRF) seperti pada Gambar 4, dibandingkan dengan SLIDE yang menggunakan parameter Safety Factor seperti pada Gambar 5. SRF merupakan faktor pengurangan beban pada tanah. Nilai SRF merupakan nilai kritis yang terjadi pada tanah dengan faktor pengurangan beban.



Gambar 5. Pemodelan dengan SLIDE

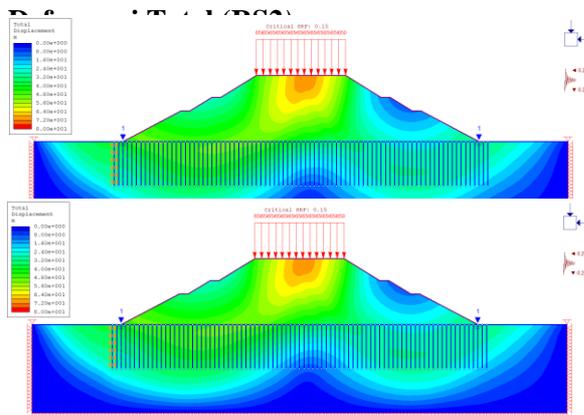
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil laboratorium, data tanah diperoleh seperti pada Tabel 3.

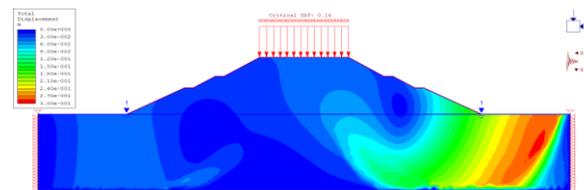
Tabel 3. Sifat fisik dan mekanik tanah

| Parameter | | 1 Tanah Rawa | 2 Tanah Timbunan | 3 Pasir |
|---|----------------------|--------------|------------------|-----------|
| Type | | Undrained | Undrained | Undrained |
| Unsaturated soil weight, γ_{unsat} | (kN/m ³) | 19.00 | 18.00 | 17.00 |
| Saturated soil weight, γ_{sat} | (kN/m ³) | 17.00 | 17.00 | 19.00 |
| Horizontal permeability, k_x | (m/day) | 0.001 | 0.001 | 1.000 |
| Vertical permeability, k_v | (m/day) | 0.001 | 0.001 | 1.000 |
| Young's modulus, E_{rev} | (kN/m ²) | 300 | 90 | 2000 |
| Poisson's ratio, ν | (-) | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| Cohesion, c_{ref} | (kN/m ²) | 12.00 | 20.00 | 0 |
| Friction angle, ϕ | ($^{\circ}$) | 10.00 | 10.00 | 32.00 |
| Dilatancy angle, λ | ($^{\circ}$) | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

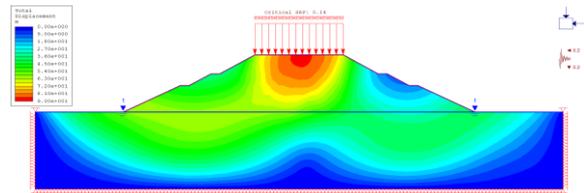
Hasil perhitungan deformasi total pada nilai kritis minimum 0.15 dan 1.0 dengan SCP ditunjukkan pada Gambar 6. dan 7. Hasil perhitungan deformasi total pada nilai kritis minimum 0.14 dan 1.0 tanpa SCP ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 7. Deformasi Total pada Nilai Kritis 1.0 (Deformasi Total – 71.6299 m²)



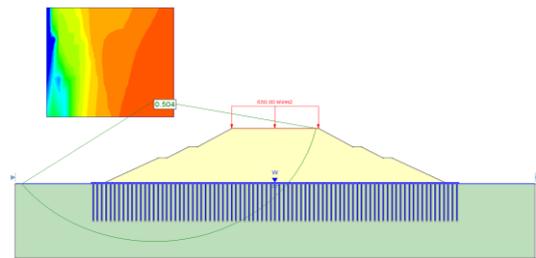
Gambar 8. Deformasi Total pada Nilai Kritis Minimum 0.14 (Tanpa SCP) (Deformasi Total – 0.32955 m²)



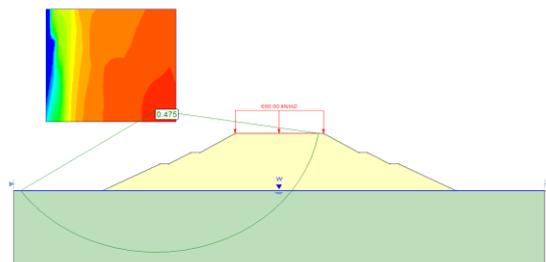
Gambar 9. Deformasi Total pada Nilai Kritis 1.0 (Tanpa SCP) (Deformasi Total – 87.0311 m²)

Dalam pemodelan ini, nilai deformasi total, serta nilai kritis minimum (SRF) mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan dengan menggunakan perkuatan Sand Compaction Pile (SCP) dibandingkan tanpa perkuatan Sand Compaction Pile (SCP). Dengan menggunakan Program Slide Faktor Keamanan dengan SCP ditunjukkan pada Gambar 10. dan tanpa SCP pada Gambar 11.

Faktor Keamanan (SLIDE)



Gambar 10. Faktor Keamanan dengan Sand Compaction Pile (SF = 0.504)



Gambar 11. Faktor Keamanan tanpa Sand Compaction Pile (SF = 0.475)

Pada program SLIDE, digunakan metode Bishop Simplified sebagai rumus yang digunakan dalam proses analisis faktor keamanan.

HASIL ANALISIS

Dari pemodelan dan pembahasan diatas, diperoleh nilai perbandingan nilai faktor keamanan dan deformasi pada tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan SCP. Hasil analisis ini dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil analisis program

| Jenis Perkuatan | Deformasi Total | | Faktor Keamanan |
|----------------------------|-----------------|-----------|-----------------|
| | SRF Kritisal | SRF = 1.0 | |
| Tanpa Sand Compaction Pile | 0.32955 (0.14) | 87.0311 | 0.475 |
| Sand Compaction Pile | 0.37541 (0.15) | 71.6299 | 0.504 |

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil diatas, meskipun Sand Compaction Pile (SCP) dapat memperkuat timbunan, namun perkuatan yang didapat tidak cukup signifikan untuk mengamankan bangunan timbunan. Dengan faktor keamanan sebesar 0.504, dan H.B deformasi total sebesar 71.6299 m². Sand Compaction Pile (SCP) dapat mencegah liquefaksi (Hiroki Et Al. 2012), dan dapat memperkuat tanah dengan menggunakan fungsi drainase. Namun pada kasus ini, perkuatan yang diberikan tidak cukup signifikan untuk menstabilisasikan timbunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hiroki Kinoshita, Kenji Harada, Mitsuo Nozu, Jun Ohbayasi, 2012. Jurnal Ilmiah :*Sand Compaction Pile Technology and its Performance in both Sandy and Clayey Ground*. International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels.
- Poorooshab, H.B., M.R Madhav, Ali Noorzad., 2006. *Perfomance of Stone Columns Subjected To A Seismic Base Excitation*, International Association of Lowland Technology Institute of Lowland Technology, Saga University.
- Samanta M, Sawant.V.A, Ramasamy.G, 2010. Jurnal Ilmiah :*Ground Improvement using Displacement Type Sand Piles*. India Geotechnical Conference.