

Pengaruh *Floating Stone Column* Dalam Perbaikan Tanah Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga

ANHAR, RANGGA¹, HAMDHAN, INDRA NOER²

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional

Email : rangganhar@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lunak umumnya memiliki daya dukung yang rendah. Apabila ada pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya, akan terjadi penurunan yang drastis. Maka perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Pada analisis ini pemodelan dengan Stone Column dipilih sebagai metode perbaikan tanah. Pemodelan Stone Column yang dilakukan adalah mengambang (floating) di lapisan tanah lunak. Dalam analisis ini menggunakan perhitungan numerik pada program PLAXIS 2D AE yang berbasis metode elemen hingga. Analisis dengan Floating Stone Column dilakukan dengan variasi pemodelan dan variasi kedalaman. Variasi konfigurasi yang dilakukan dengan berbagai tipe yaitu tipe sejajar, tipe tangga dan tipe piramida. Variasi kedalaman yang dilakukan yaitu 90%, 80%, 70%, 60%, dan 50% dari kedalaman tanah lunak. Model floating stone column dipilih mana yang paling efisien baik dari segi hasil maupun segi ekonomis. Kondisi S2 dipilih dengan nilai penurunan 0,158 m dengan dan waktu konsolidasi 62 hari.

Kata Kunci: *Floating Stone Column, Perbaikan Tanah, Tanah Lempung Lunak, Metode Elemen Hingga.*

ABSTRACT

Soft soil generally has low bearing capacity. Therefore the soft soil is need to improve for increase the bearing capacity of soft soil. The method of soil improvement that chosen in this analysis is stone column method. The model of Stone Column is floating in soft soil layer. PLAXIS 2D AE with finite element method are used in the numerical analysis. Analysis with Floating Stone Column were done by variation of configuration and depths. The configurations of floating stone column model are parallell type, stairs type and pyramid type. The depths variation of floating stone column are 90%, 80%, 70%, 60%, and 50% in soft soil layer. The model of stone column was selected which most efficient model in term both of result and ecomically. S2 Condition is selected that the settlement is 0,158 m and the time of consolidation is 62 days.

Key Words: *Floating Stone Column, Soil Improvement, Soft Soil, Finite Element Method.*

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung lunak memiliki daya dukung rendah terhadap intensitas beban. Jika ada pembebanan melebihi kemampuan daya dukung tersebut, maka akan terjadi *settlement* secara signifikan. Sebagai salah satu alternatif memenuhi kebutuhan pembangunan, berbagai pembangunan baru terpaksa harus dilakukan di atas tanah-tanah yang kurang memenuhi syarat atau harus didirikan di atas tanah lunak yang berdaya dukung rendah. Berbagai metode perbaikan tanah sudah sangat berkembang belakangan ini. Setiap metode perbaikan tersebut tentunya harus bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dari tanah, mengurangi pemampatan yang mungkin terjadi dan mengurangi tingkat permeabilitas dari tanah. Pemilihan metode perbaikan tanah tersebut sangat tergantung dari kondisi geologis dari tanah, karakteristik dari tanah, biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan, pengadaan bahan perbaikan tanah serta pengalaman dalam hal pelaksanaan di lapangan. Salah satu cara perbaikan tanah ialah menggunakan *stone column*. *Floating stone column* dipilih sebagai metode analisis ini. Program PLAXIS 2D AE yang berbasis metode elemen hingga dilakukan sebagai perhitungan analisis ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Umum

Tanah lempung lunak memiliki daya dukung rendah terhadap intensitas beban. Maka perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Salah satu cara perbaikan tanah ialah penggunaan *stone column*. *Floating stone column* dipilih sebagai metode analisis ini yang bertujuan untuk pengefisienan dari segi materi dan waktu.

3.2 Deskripsi Tanah Lempung

Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

a) Karakteristik Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat *multi component* yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair dan udara. Butiran-butiran tanah lempung lunak yang berukuran koloid (<0,002 mm) dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

Air sangat mempengaruhi kelakuan tanah kohesif. Karena karakteristik tanah lempung ialah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanahnya. Distribusi ukuran butiran bukan merupakan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah butiran halus.

b) Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang berarti tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir butirnya. Secara umum tanah lempung lunak memiliki sifat tanah yang rendah. Saat kadar air yang bertambah atau struktur tanahnya terganggu maka semakin berkurang kuat geser setelah tanah lempung tersebut. Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil.

3.3 Konsolidasi Tanah

Tanah yang mengalami proses konsolidasi ialah pengurangan volume air di dalam rongga pori tanah sehingga permeabilitas tanah lempung yang rendah, perubahan volume tersebut berlangsung lama dan merupakan fungsi dari waktu. Tekanan akibat beban tersebut ke tanah selain menyebabkan kompresi elastis yang menyebabkan penurunan segera

(immediately settlement), juga menyebabkan kelebihan tekanan air pori eksess (excess pore pressure).

Pada proses konsolidasi ini ada dua hal yang perlu diamati, ialah laju konsolidasi dan besarnya penurunan yang terjadi. Laju konsolidasi dipengaruhi oleh permeabilitas tanah, tebal tanah kompresibel, waktu pembebanan bekerja, serta kondisi drainase di atas dan dibawah lapisan kompresibel. Sedangkan besarnya penurunan yang akan terjadi ditentukan oleh kompresibilitas tanah dan besarnya tambahan beban efektif, serta dipengaruhi juga oleh tebal tanah kompresibel.

Berikut faktor yang mempengaruhi kecepatan konsolidasi:

- a) Koefisien permeabilitas (k)
- b) Beban (B)
- c) Panjang lintasan drainase (l)

3.4 Metode Perbaikan Tanah

Tanah lunak memiliki sifat mekanis yang buruk dan tidak mampu memikul beban berlebih. Sifat tanah lunak ialah gaya gesernya yang kecil dan permeabilitas yang juga kecil. Prinsip dasar perbaikan tanah pada dasarnya adalah memperbaiki karakteristik mekanis tanah. Sehingga *floating stone column* yang akan dipakai sebagai metode perbaikan tanah.

a) Perbaikan Tanah Menggunakan *Floating Stone Column*

Pemasangan stone column adalah salah satu metode perbaikan tanah. Fungsi utama pemasangan stone column adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah yang rendah sehingga tanah lunak tersebut dapat menerima beban yang lebih besar dan settlement yang terjadi akan berkurang.

Selain untuk meningkatkan daya dukung tanah, menurut Barksdale dan Banchus, 1982 ada beberapa keuntungan lain, seperti :

- Mengurangi total settlement tanah.
- Memperpendek waktu konsolidasi.
- Mengurangi bahaya *liquefaction*.

Stone column merupakan kolom-kolom vertikal dari batu kerikil. Batu kerikil tersebut merupakan kerikil lepas yang tidak diikat oleh bahan pengikat semen atau bahan lainnya.

b) Perencanaan *Floating Stone Column*

Perencanaan *floating stone column* meliputi perencanaan diameter, jarak, dan panjang *floating stone column*. *Floating stone column group* dipilih sebagai parameter perencanaan ini. Selain itu, parameter lain dalam perencanaan ini meliputi nilai penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi sebelum dipasang *floating stone column* dan setelah dipasang *floating stone column*.

Berikut hal-hal yang harus diperhitungkan, antara lain:

- Diameter *floating stone column*
- Panjang dan jarak *floating stone column*
- *Area replacement ratio*
- Konsentrasi tegangan

Pada pemodelan perbaikan tanah menggunakan *stone column* dapat menemukan berbagai masalah. Kegagalan dalam desain ataupun kesalahan dalam menetapkan parameter-parameter tanah merupakan masalah yang akan ditemui dalam perencanaan *stone column*.

Untuk menghindari masalah dalam perencanaan *stone column*, program PLAXIS 2D AE digunakan karena berbasis metode elemen hingga. Metode plane strain dipilih sebagai alternatif pemodelan *Axisymmetric* (3D) menjadi *Plane Strain* (2D) pada program PLAXIS 2D AE.

Berbagai teori mengenai konversi satuan dari axisymmetri ke plane strain, namun pada analisis yang akan dilakukan hanya menggunakan metode Indraratna dan Redana (1997). Menurut Indraratna dan Redana (1997) memerlukan ekuivalensi hubungan antara area replacement ratio dari axisymmetri terhadap plane strain. Berikut persamaan yang akan digunakan:

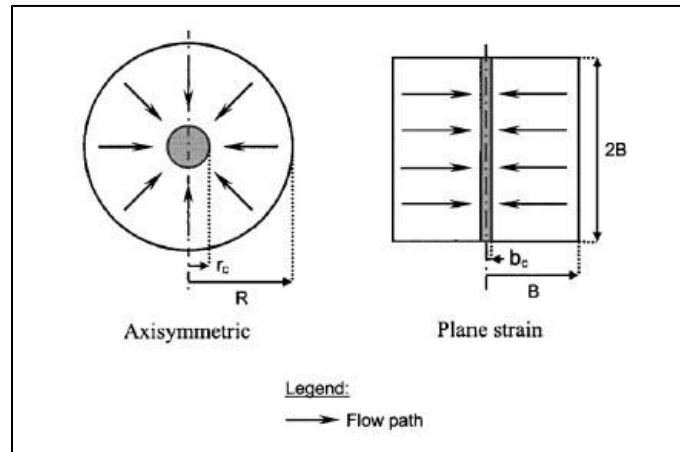
$$b_c = B \frac{r_c^2}{R^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana hubungan antara R dan B diekuivalensikan sebagai total area untuk pola *plane strain* (Barron 1948):

$$R = 1,13B \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- r_c = jari – jari column (*Axisymmetric*)
- R = daerah aliran (*Axisymmetric*)
- b_c = jari – jari column (*Plane Strain*)
- B = daerah aliran (*Plane Strain*)



Gambar 1. Cross sections unit-cell terhadap stone column dan ekuivalensi plane strain. (Indraratna dan Redana, 1997)

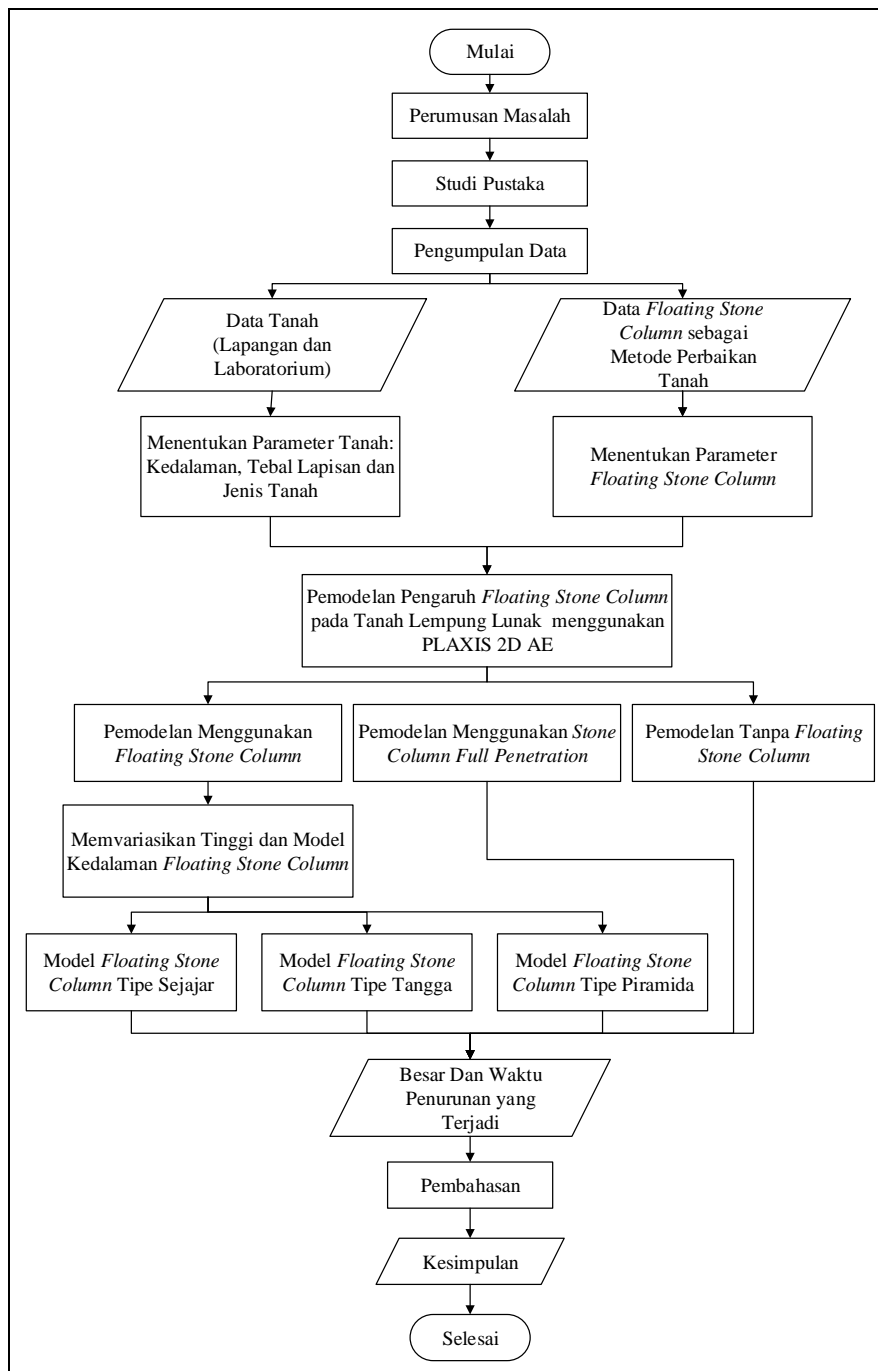
3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Proses analisis yang akan dilakukan pada tugas akhir ini dibutuhkan beberapa data sekunder yang menunjang. Data yang akan digunakan ialah data sekunder berupa parameter tanah untuk menentukan kondisi tiap lapisan tanah. Data yang didapat untuk tugas akhir ini diperoleh dari Proyek Eastkal Supply Base, PT. Pelabuhan Penajam Banua Taka (PT. PPBT), desa Gunung Steleng, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Selain itu, data *floating stone column* didapatkan dari buku, papers, dan referensian yang menyangkut

Pengaruh *Floating Stone Column* dalam Perbaikan Tanah Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga

dengan *floating stone column*. Prosedur analisis yang dilakukan ditunjukkan dengan bagan alir pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Bagan Alir Pemodelan Perbaikan Tanah dengan *Floating Stone Column* pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Program PLAXIS 2D AE.

4. ANALISIS DATA

4.1 Analisis Menggunakan Program PLAXIS 2D AE

Analisis Perbaikan Tanah dengan *Floating Stone Column* pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Program PLAXIS 2D AE. yang berbasis metode elemen hingga. Berikut parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan *floating stone column* :

Tabel 1. Parameter Tanah Asli

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	ν	E' (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	$k_h=k_v$ (m/day)
Lempung lunak	17	16	0,3	1500	12,5	1	4,37184E-3

Tabel 2. Parameter Tanah Timbunan

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	ν	E' (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	$k_h=k_v$ (m/day)
Selimut Pasir	17	16	0,3	20000	5	39,5	7,128
Tumbuhan	20	19	0,3	40000	20	25	0,6

Tabel 3. Parameter *Stone Column*

Jenis Tanah	D (m)	Jarak S C (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	ν	E' (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	$k_h=k_v$ (m/day)
<i>Stone Column</i>	1	2	21	20	0,2	45000	5	42	7,128

4.2 Analisis Pemodelan *Floating Stone Column*

Analisis *floating stone column* dilakukan dengan menggunakan Program Plaxis 2D AE yang berbasis Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM). Output yang dihasilkan dari analisis *floating stone column* ini, yaitu nilai penurunan dan waktu penurunan yang terjadi.

Pada analisis ini dilakukan dengan berbagai pemodelan instalasi *floating stone column*, yaitu tipe sejajar ialah ketika kondisi kedalaman *floating stone column* adalah sama, tipe tangga ialah ketika kondisi kedalaman *floating stone column* berjajar menyerupai tangga dengan selisih kedalaman 1 m, tipe piramida adalah ketika kondisi kedalaman *floating stone column* berjajar menyerupai piramida dengan selisih kedalaman 1 m dan 2 m.

a) Analisis Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Sejajar

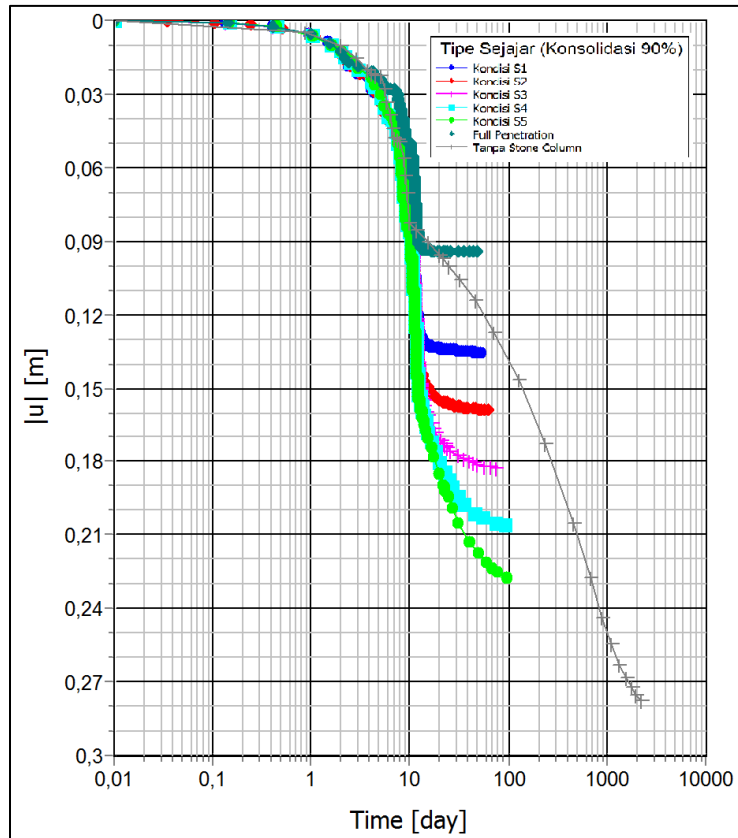
Pada pemodelan *floating stone column* yang pertama, akan dilakukan menggunakan tipe sejajar. Analisis tipe sejajar dengan variasi kedalaman *floating stone column* menggunakan berbagai kondisi, berikut yang disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Sejajar

Tipe Sejajar	Kondisi	Penurunan (m)	Waktu (hari)
Tanpa <i>Stone Column</i>		0,277	2194
Kedalaman 50%	S5	0,227	97
Kedalaman 60%	S4	0,207	92
Kedalaman 70%	S3	0,182	75
Kedalaman 80%	S2	0,158	62
Kedalaman 90%	S1	0,135	52
<i>Full Penetration</i>		0,094	49

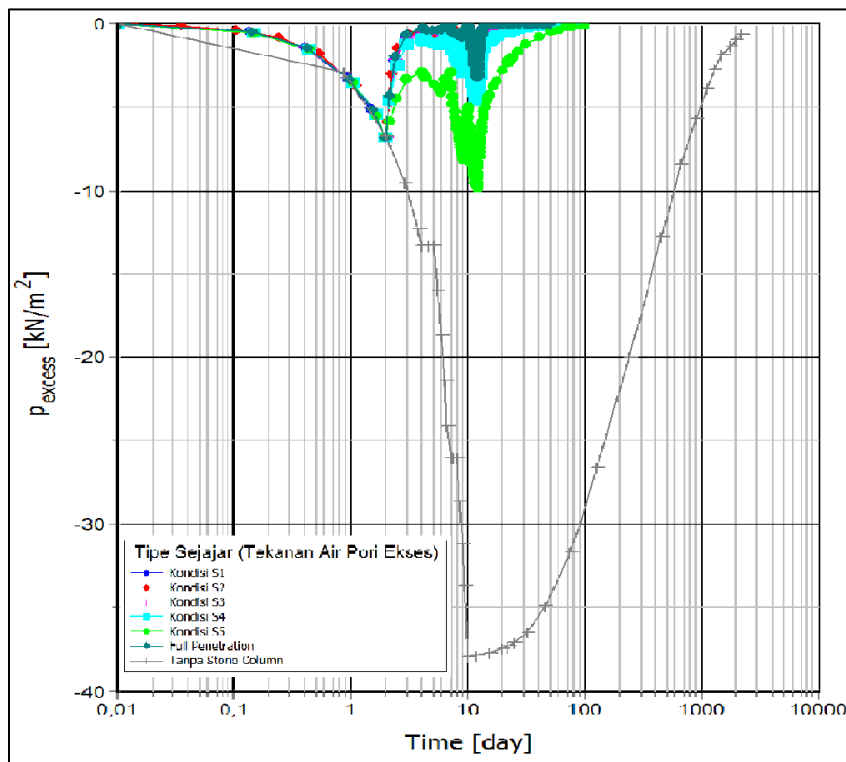
Nilai penurunan dan waktu konsolidasi pun dibuat dalam bentuk grafik yang disajikan pada **Gambar 3**.

Pengaruh *Floating Stone Column* dalam Perbaikan Tanah Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga



Gambar 3. Grafik nilai penurunan dan waktu penurunan tipe sejajar.

Selain nilai penurunan dan waktu konsolidasi, adapun nilai tegangan air pori eksek yang disajikan ke dalam grafik pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik tekanan air pori eksek tipe sejajar dengan tanpa *stone column*.

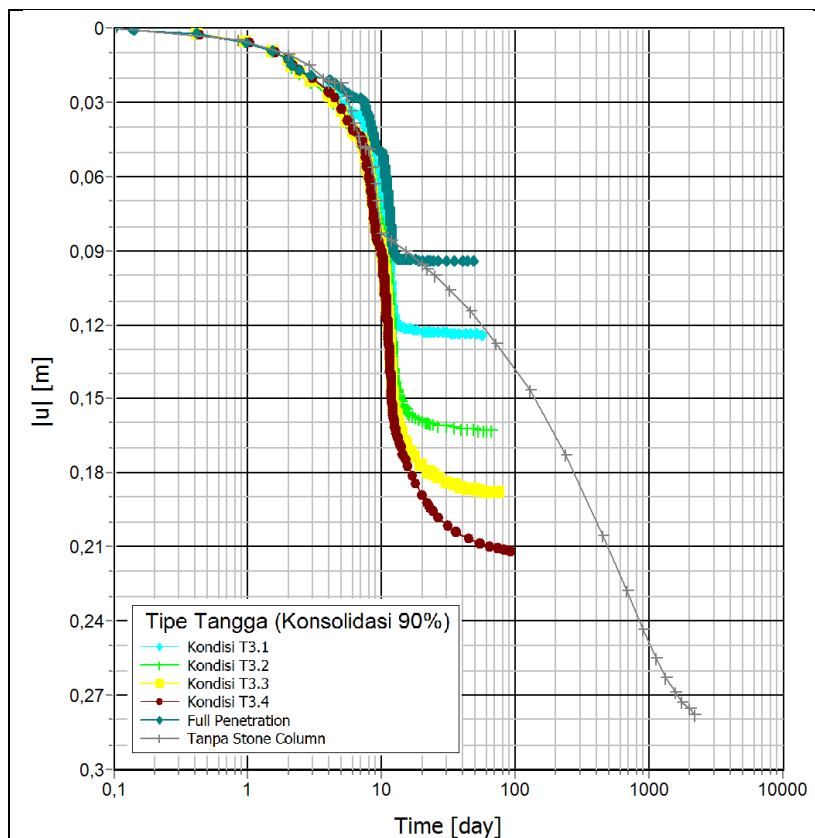
Pada gambar diatas menunjukkan bahwa kondisi tekanan air pori naik saat diberi pembebanan dan turun kembali saat terjadi konsolidasi.

b) Analisis Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Tangga

Pada pemodelan *floating stone column* berikutnya, akan dilakukan pemodelan tipe tangga. Analisis tipe sejajar dengan variasi kedalaman *floating stone column* menggunakan berbagai kondisi, berikut yang disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Tangga

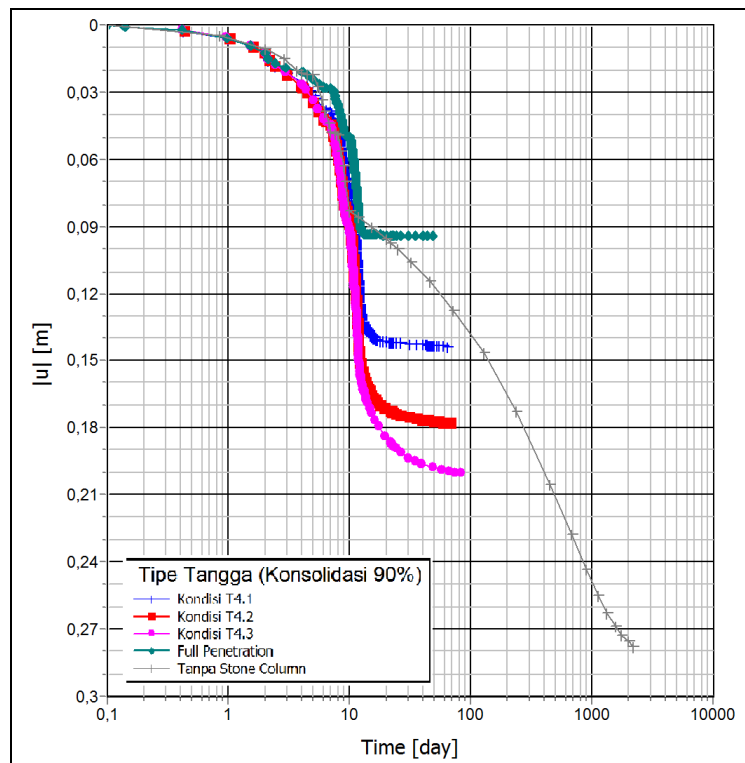
Tipe Sejajar	Kondisi	Penurunan (m)	Waktu (hari)
Tanpa <i>Stone Column</i>		0,277	2194
Tiga Kombinasi kedalaman			
Kedalaman 70%, 60%, 50%	T3.4	0,211	92
Kedalaman 80%, 70%, 60%	T3.3	0,187	75
Kedalaman 90%, 80%, 70%	T3.2	0,163	66
Kedalaman 100%, 90%, 80%	T3.1	0,124	55
Empat kombinasi kedalaman			
Kedalaman 80%, 70%, 60%, 50%	T4.3	0,200	84
Kedalaman 90%, 80%, 70%, 60%	T4.2	0,178	69
Kedalaman 100%, 90%, 80%, 70%	T4.1	0,143	64
<i>Full Penetration</i>		0,094	49



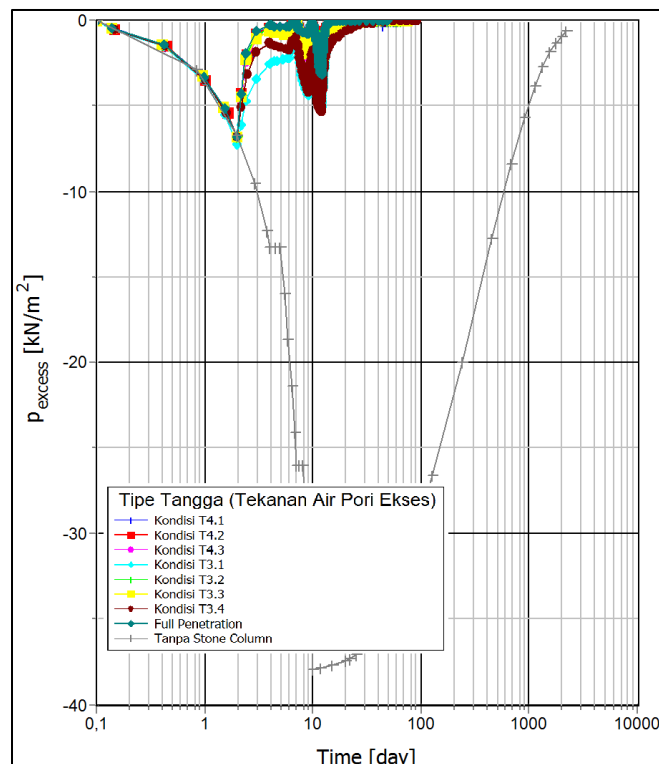
Gambar 5. Grafik nilai penurunan dan waktu penurunan tipe tangga dengan tiga kombinasi kedalaman

Pengaruh *Floating Stone Column* dalam Perbaikan Tanah Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga

Selain nilai penurunan dan waktu konsolidasi, adapun nilai tegangan air pori eksek yang disajikan ke dalam grafik pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik nilai penurunan dan waktu penurunan tipe tangga dengan empat kombinasi kedalaman



Gambar 7. Grafik tekanan air pori eksek tipe tangga dengan tanpa *stone column*.

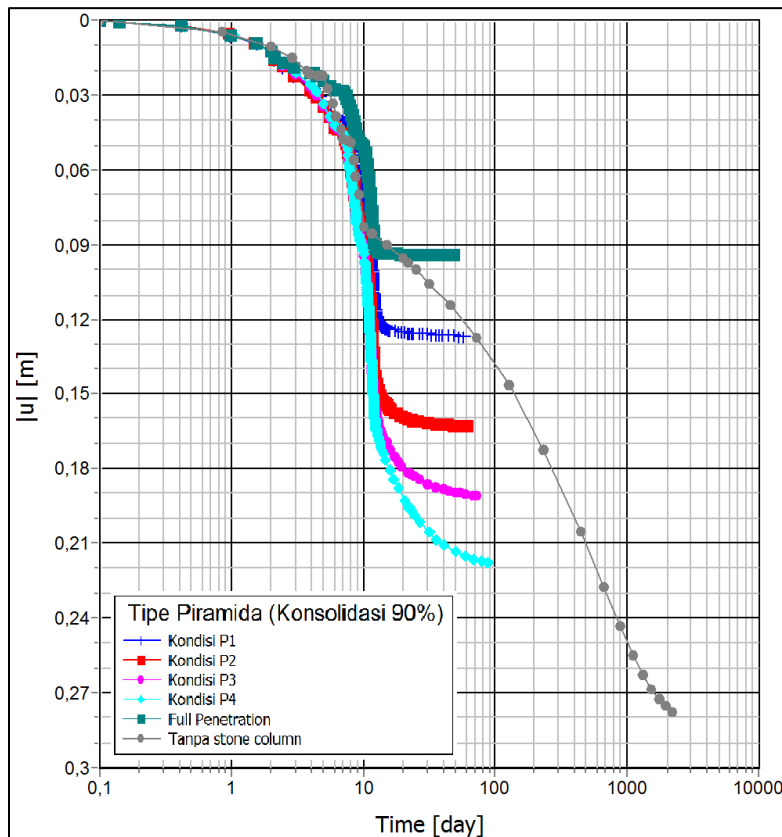
Pada gambar diatas menunjukan bahwa kondisi tekanan air pori naik saat diberi pembebanan dan turun kembali saat terjadi konsolidasi.

c) Analisis Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Piramida

Pemodelan terakhir dilakukan dengan menggunakan *floating stone column* tipe piramida. Analisis tipe tangga dengan variasi kedalaman *floating stone column* menggunakan berbagai kondisi, berikut yang disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pemodelan *Floating Stone Column* Tipe Piramida

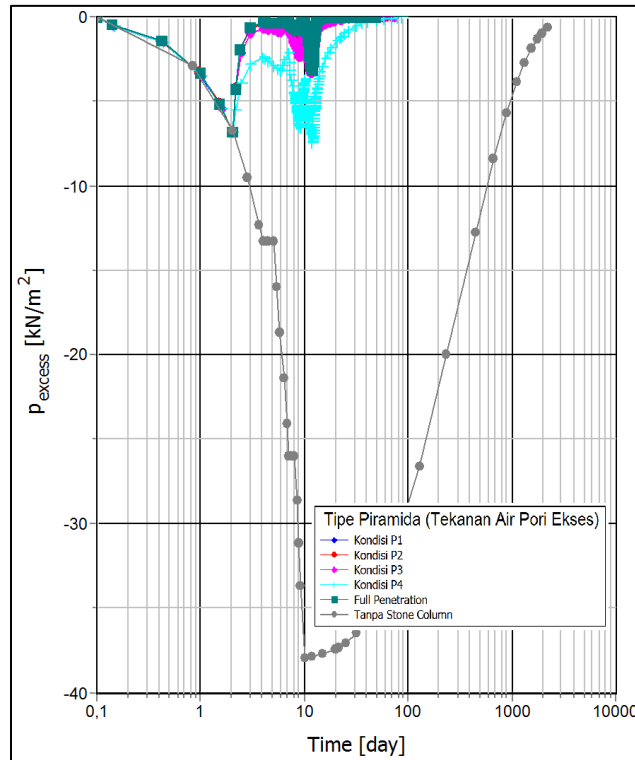
Tipe Seजार	Kondisi	Penurunan (m)	Waktu (hari)
Tanpa <i>Stone Column</i>		0,277	2194
Kedalaman 70%, 60%, 50%	P4	0,218	88
Kedalaman 80%, 70%, 60%	P3	0,191	74
Kedalaman 90%, 80%, 70%	P2	0,163	62
Kedalaman 100%, 90%, 80%	P1	0,127	57
<i>Full Penetration</i>		0,094	49



Gambar 8. Grafik nilai penurunan dan waktu penurunan tipe piramida.

Selain nilai penurunan dan waktu konsolidasi, adapapun nilai tegangan air pori eksess yang disajikan ke dalam grafik pada **Gambar 8**.

Sedangkan pada **Gambar.9** menunjukan bahwa kondisi tekanan air pori naik saat diberi pembebanan dan turun kembali saat terjadi konsolidasi.



Gambar 9. Grafik tekanan air pori eksek tipe piramida dengan tanpa *stone column*.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan dan analisis menggunakan program PLAXIS 2D AE, maka dihasilkan nilai penurunan dan waktu penurunan. Model *floating stone column* dipilih mana yang paling efisien baik dari segi hasil maupun segi ekonomis. Dari tiga tipe pemodelan yang dilakukan yang pertama adalah tipe sejajar dipilih kondisi S2 dipilih sebagai yang paling efisien karena mendekati hasil dari kondisi S1. Kedua, tipe tangga dipilih kondisi T4.1 dinilai sebagai yang efisien karena hasil kondisi T4.1 berada diantara kondisi T3.1 dan T3.2 dimana kondisi-kondisi tersebut memiliki hasil tiga terbaik. Ketiga pada tipe piramida, kondisi P2 dipilih sebagai yang efisien karena hasilnya diantara kondisi terbaik dan kondisi terburuk. Diantara ketiga kondisi terbaik antar berbagai tipe, kondisi S2 dipilih karena memiliki nilai penurunan terendah 0,158 m dengan persentase 43% dan waktu konsolidasi tercepat 62 hari dengan persentase 2,8%.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M., 1985 *Principle of Geotechnical Engineering*
FHWA-NHI 132034 Ground Improvement Techniques
FHWA/RD-83/026 Design and Construction of Stone Column Vol. I (1983)
FHWA/RD-83/027 Design and Construction of Stone Column Vol. II (1983)
Indraratna, B., and Redana, I. W. 1997 "Plane-strain modeling of smear effects associated with vertical drains." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123_5_, 474-478.
Indra Nurtjahjaningtyas, Akh. Maliki 2009 Efektifitas Penggunaan Stone Column Untuk Mengurangi Besar Pemampatan Pada Tanah Dengan Daya Dukung Rendah
S., Tan A., 2008 Simplified Plane-Strain Modeling of Stone-Column Reinforced Ground
Weber, T.M. and Springman, S.M. :Numerical modelling of stone columns in soft clay under an embankment