

Pemodelan 3D pada Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Deep Mixed Column*

WIDYA YUNITA PERMATASARI, INDRA NOER HAMDHAN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
e-mail: widyunitaa@gmail.com

ABSTRAK

Masalah yang sering dijumpai pada konstruksi yang dibangun diatas tanah lunak adalah masalah penurunan. Melihat kondisi tersebut maka harus dilakukan perbaikan tanah untuk mengurangi penurunan yang terjadi. Banyak metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan, salah satu metode perbaikan tanah yaitu dengan menggunakan deep mixed column. Fungsi utama dari penggunaan deep mixed column adalah mengurangi penurunan di bawah timbunan. Ada berbagai macam pola penggunaan deep mixed column yang sering digunakan, namun pola yang digunakan pada pemodelan ini adalah pola persegi. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Program PLAXIS 3D AE yang berbasis Elemen Hingga. Pemodelan deep mixed column dilakukan dengan berbagai jenis variasi jarak (1,4 m ; 1,6 m ; 1,8 m dan 2 m) dan diameter (0,4 m ; 0,6 m dan 0,8 m). Hasil pemodelan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan deep mixed column dapat mengurangi penurunan sebesar 93,44 %.

Kata kunci: tanah lunak, penurunan, perbaikan tanah, deep mixed column.

ABSTRACT

Problems that often found is construction built on soft soil is settlement problem. As on that condition, to decrease the settlement, soil improvement should be provided. Many kinds of soft soil improvement can be used, one of them is using deep mixed column. Main function of using deep mixed column is to decrease the settlement under embankment. There are lots of pattern in using deep mixed column that commonly used, none the less the pattern that used in this modeling is rectangular pattern. This analysis was done by using PLAXIS 3D with finite element method based. The deep mixed column was modeled with some variation of distance (1.4 m : 1.6 m : 1.8 m and 2 m) and diameter (0.4 m : 0.6 m and 0.8 m). The result of the modeling showing that using deep mixed column could decrease 93.44 % of settlement.

Keywords: soft soil, settlement, soil improvement, deep mixed column.

1. PENDAHULUAN

Tanah lunak dapat mengembang atau menyusut akibat masuk atau keluarnya air. Tingkat kepekaan yang tinggi dari tanah lunak terhadap air dapat menyebabkan penurunan yang cukup besar saat tanah dibebani. Penimbunan yang dilaksanakan di atas tanah lunak akan mengalami kegagalan geser dan penurunan yang berlebih. Maka perlu dilakukan perbaikan tanah untuk mengurangi penurunan yang terjadi.

Metode perbaikan tanah berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi pemampatan, serta mengurangi tingkat permeabilitas tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *deep mixed column*. Metode ini dapat diterapkan untuk berbagai jenis tanah lunak, tanah organik dan tanah gambut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbaikan tanah yang dimodelkan secara numerik yang berbasis metode elemen hingga dengan menggunakan *deep mixed column* terhadap besar penurunan akibat jarak dan diameter *deep mixed column*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral–mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang–ruang kosong di antara partikel–partikel tersebut. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil, pasir, lanau atau lempung tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Das, B. M. 1998).

2.2 Tanah Lunak

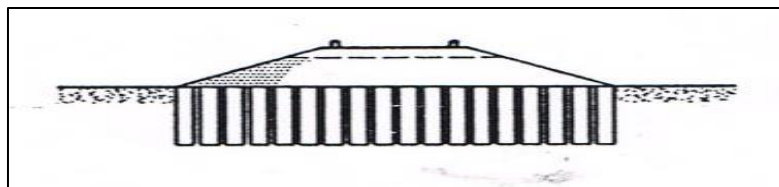
Sifat lapisan tanah lunak adalah kekuatan gesernya yang kecil, kemampatan yang besar dan koefisien permeabilitas yang kecil. Berdasarkan penelitian beberapa ahli dapat disimpulkan bahwa tanah lunak memiliki nilai uji penetrasi standar (SPT) yang rendah yaitu antara N-SPT 0–5. Saat kadar air bertambah atau struktur tanahnya terganggu maka semakin berkurang kuat geser tanah lempung tersebut. Saat tanah jenuh dengan air, sifat tanah tersebut bersifat plastis dan mudah mampat. Tanah lempung lunak memiliki sifat kompresibilitas yang besar, yang apabila tanah tersebut diberi beban maka akan terjadi penurunan (Bowles, Joseph E. 1984).

2.3 Metode Perbaikan Tanah Menggunakan *Deep Mixed Column*

Perbaikan tanah adalah kumpulan upaya–upaya yang dapat dilakukan terhadap tanah yang memiliki karakteristik teknik (*engineering properties*) yang bermutu rendah diubah menjadi material yang layak digunakan sebagai material konstruksi (mempunyai karakteristik teknis yang lebih baik). Perbaikan tanah memiliki tujuan, secara umum tujuan dari perbaikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah.
2. Mengurangi kompresibilitas.
3. Meningkatkan modulus.
4. Mengontrol stabilitas volume (*shrinking & swelling*).
5. Mengurangi kerentanan terhadap likuifaksi.
6. Memperbaiki kualitas material untuk bahan konstruksi.
7. Mengontrol permeabilitas dan mereduksi tekanan air pori.
8. Memperkecil pengaruh lingkungan.

Salah satu metode perbaikan tanah adalah menggunakan *deep mixed column*. Fungsi dari *deep mixed column* yaitu untuk mengurangi penurunan (*settlement*) yang terjadi apabila menerima beban. *Deep mixed column* dapat dibagi menjadi dua metode yaitu metode kering dan metode basah. Metode basah adalah metode dimana pengikat yang dimasukkan dalam bentuk basah, yang bertentangan dengan metode kering dimana bahan pengikat dimasukkan dengan udara. Dalam metode basah pengikat yang paling umum digunakan adalah bubur semen dengan air. Sedangkan metode kering pengikat yang digunakan adalah kapur kering, semen, *fly ash* atau stabilisator lainnya yang dimasukkan melalui alat pneumatik *deep mixed*.



Gambar 1. *Deep mixed column* di bawah timbunan
(Sumber : Execution of Special Geotechnical Works – Deep Mixing, BS EN 14679:2005, 2005)

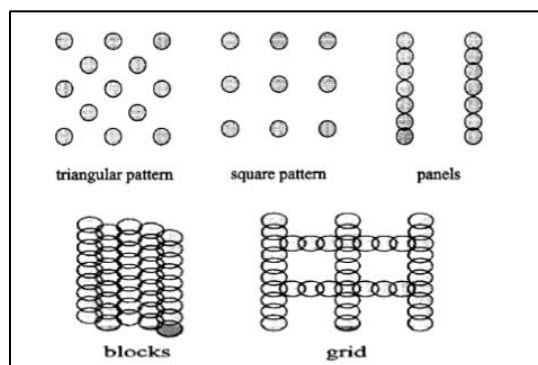
Pilihan pengikat merupakan aspek penting dari *deep mixed*, yang sangat tergantung pada kondisi tanah dan tujuan *deep mixed*. Pengujian binder dengan tanah yang akan diolah biasanya merupakan persyaratan penting pada setiap proyek *deep mixed column*. Ringkasan pengikat yang umum digunakan diberikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Pengikat Umum yang Digunakan dalam Pencampuran Kering

Jenis Tanah	Pengikat yang Cocok
<i>Clay</i>	Kapur / Semen
<i>Quick clay</i>	Kapur / Semen
<i>Organic clay and gyttja</i>	Kapur / Semen/ Butiran Kapur/ Gypsum
<i>Peat</i>	Semen/ Butiran Kapur atau Terak/ Gypsum
<i>Sulphate Soil</i>	Semen/ Butiran Terak
<i>Silt</i>	Kapur/ Semen

(Sumber : Execution of Special Geotechnical Works – Deep Mixing, BS EN 14679:2005, 2005)

Dalam metode *deep mixed column* terdapat beberapa pola yang sering diterapkan. Pola-pola tersebut diantaranya *triangular pattern*, *square pattern*, *panels pattern*, *blocks pattern* dan *grid pattern*. Gambar pola *deep mixed column* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pola *deep mixed column*
(Sumber: Kurniawan, I. D., 2015)

2.4 Penurunan (*Settlement*)

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban di atasnya (misalnya pondasi atau timbunan tanah di atasnya) maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (*settlement*). Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah. Berkurangnya volume tanah ini menyebabkan penurunan lapisan tanah tersebut. Secara umum jenis penurunan yang terjadi akibat pembebanan dapat dibagi dalam 3 tahap, yaitu:

1. Penurunan seketika (*immediate settlement*).
2. Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*).
3. Penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*).

Penurunan total dari tanah berbutir halus yang jenuh ialah jumlah dari penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah (Hardiyanto, 2002):

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad \dots (1)$$

dimana:

- S_t = penurunan total,
- S_i = penurunan segera,
- S_c = penurunan akibat konsolidasi primer,
- S_s = penurunan akibat konsolidasi sekunder.

2.5 Definisi Umum *Stress* dan *Strain*

Material model adalah suatu set persamaan matematika yang mendeskripsikan hubungan antara tegangan dan regangan yang biasanya dinyatakan dalam bentuk pertambahan tegangan yang sangat kecil (biasa disebut juga dengan istilah *stress rates*), yang berhubungan dengan pertambahan dari regangan yang sangat kecil (*strain stress*).

Tetapi untuk kondisi *plane strain* dan *axisymmetric*, seperti yang dimodelkan pada PLAXIS hanya empat komponen yang diperlukan, karena memiliki nilai nol. Komponen normal stress yang bernilai positif dianggap tarik (*tension*), dan normal stress yang negatif dianggap tekan (*compression*). Juga untuk normal strain positif dianggap dilatasi (mengembang), dan normal strain negative dianggap kompaksi (mengecil).

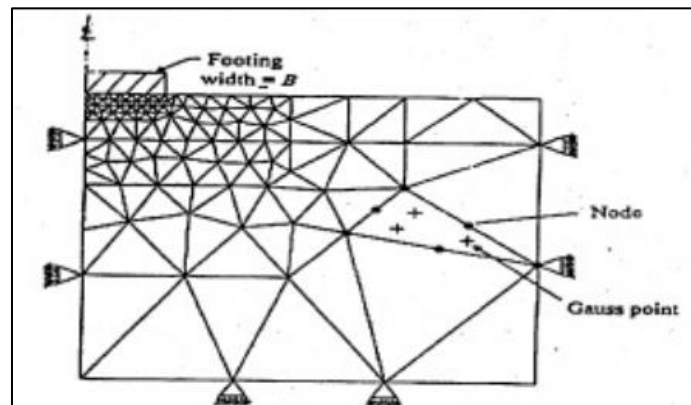
2.5.1 Model Mohr – Coulomb

Kondisi keruntuhan Mohr-Coulomb merupakan pengembangan dari hukum Coulomb. Untuk menjamin bahwa hukum Coulomb berlaku untuk semua bidang datar dalam sebuah material elemen, kondisi keruntuhan Mohr-Coulomb dapat didefinisikan dengan fungsi keruntuhan tiga dimensi yang dirumuskan dalam bentuk tegangan-tegangan utama. Dua parameter mode plastis yang ada pada fungsi keruntuhan Mohr-Coulomb adalah sudut geser (φ) dan kohesi (c). Fungsi keruntuhan ini menggambarkan sebuah kerucut segi enam dalam ruang tegangan.

2.5.2 Metode Elemen Hingga / *Finite Element Method (FEM)*

Metode elemen hingga adalah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa teknik. Konsep dasar dari metode ini adalah membagi sebuah bentuk atau struktur yang kompleks menjadi beberapa elemen yang lebih kecil. Elemen-elemen tersebut selanjutnya terhubung dengan node/titik terlihat pada **Gambar 3**.

Pada setiap titik terdapat satu derajat kebebasan atau lebih untuk mendefinisikan jumlah fungsi yang digunakan. Dengan menggunakan nilai-nilai pada tiap titik, tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat diperhitungkan. PLAXIS adalah program elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk analisis pada bidang geoteknik yang menggunakan metode FEM.



Gambar 3. Contoh jaring-jaring elemen hingga

3 ANALISIS DATA

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Pengumpulan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu pengumpulan data tanah dan data *deep mixed column* sebagai metode perbaikan tanah.

Tabel 2. Parameter Tanah dan Timbunan

	Ketebalan	γ_{sat}	γ_{unsat}	E'	ν	c	ϕ	$K_x - K_z$
	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)		(kN/m ²)	(°)	(m/hari)
Lempung lunak	8	15	16	2.000	0,4	5	25	$1,274 \times 10^{-4}$
Timbunan	3	20	21	22.000	0,3	10	30	$8,64 \times 10^{-3}$

(Sumber: Karstunen, Minna & Leoni, Martino, 2009)

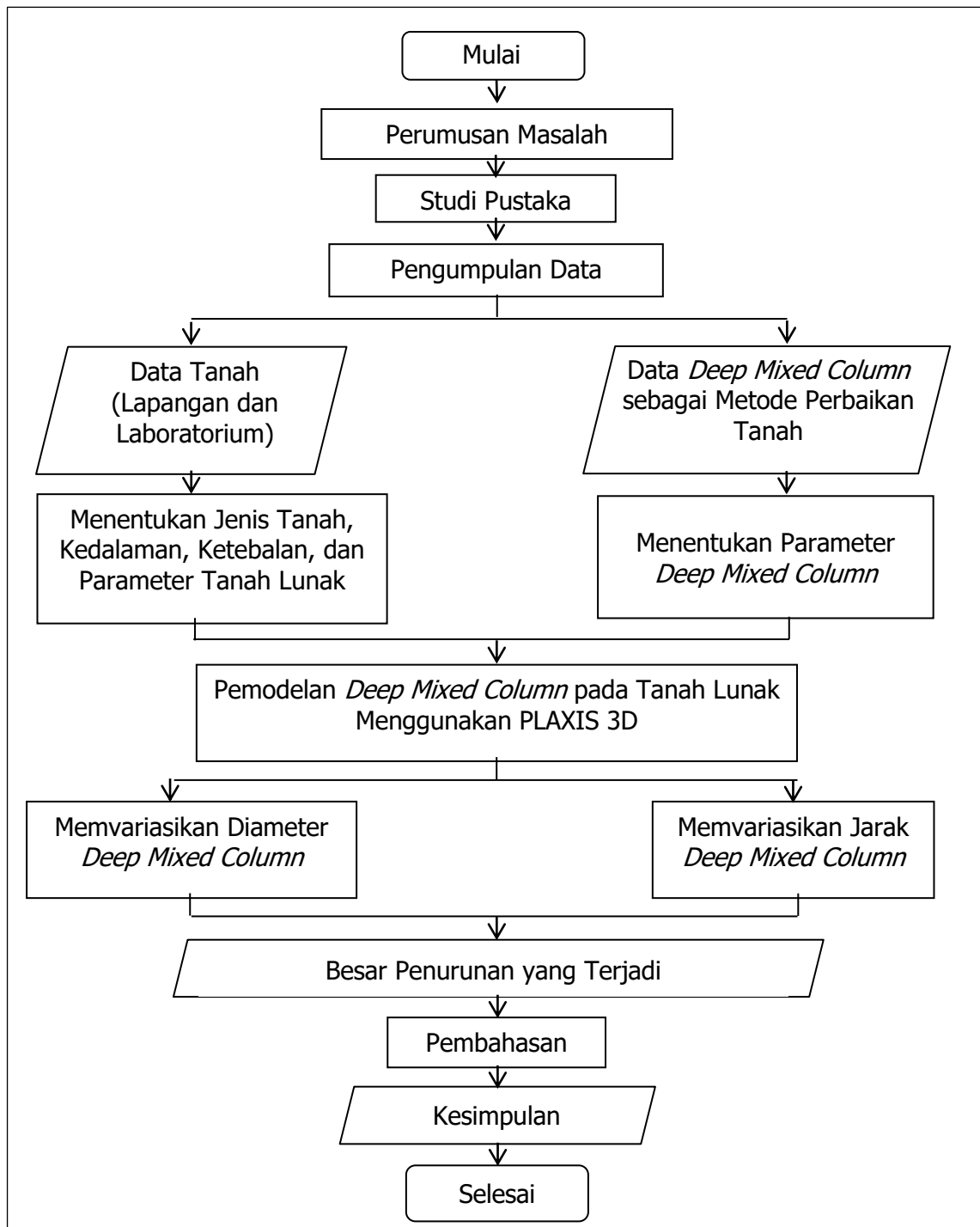
Tabel 3. Parameter *Deep Mixed Column*

	γ	E'	ν
	(kN/m ³)	(kN/m ³)	
<i>Deep Mixed Column</i>	20	360.000	0,21

(Sumber: Navin, Michael P, 2005)

3.2 Diagram Alir Metodologi Analisis

Metodologi analisis yang dijadikan dasar studi ini dapat dijabarkan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) pada Gambar 4.

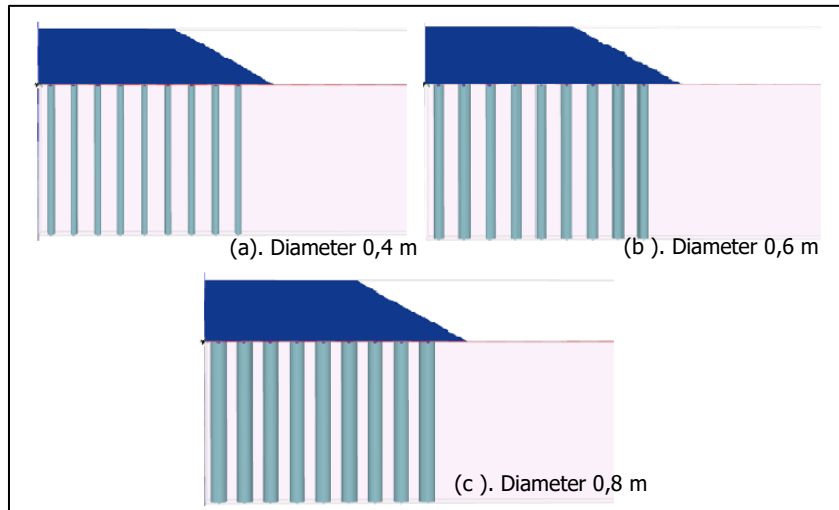


Gambar 4. Diagram alir metodologi analisis

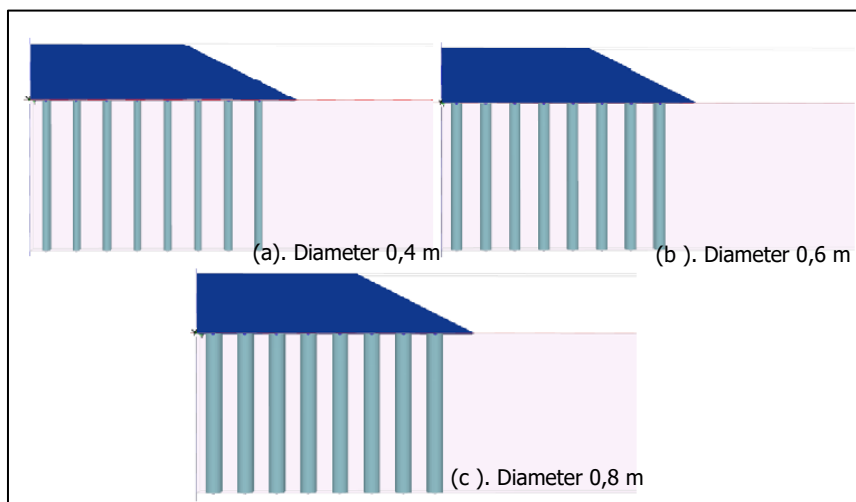
3.3 Pemodelan *Deep Mixed Column* pada PLAXIS 3D AE

Pemodelan *deep mixed column* dilakukan 12 kali pemodelan, dengan memvariasikan jarak dan diameter dari *deep mixed column*. Variasi jarak *deep mixed column* antara lain 1,4 m ; 1,6 m ; 1,8 m dan 2 m. Serta diameter *deep mixed column* yang digunakan yaitu 0,4 m ; 0,6 m dan 0,8 m. Pemodelan *deep mixed column* ini menggunakan pola persegi, terlihat pada **Gambar 5**, **Gambar 6**, **Gambar 7** dan **Gambar 8**

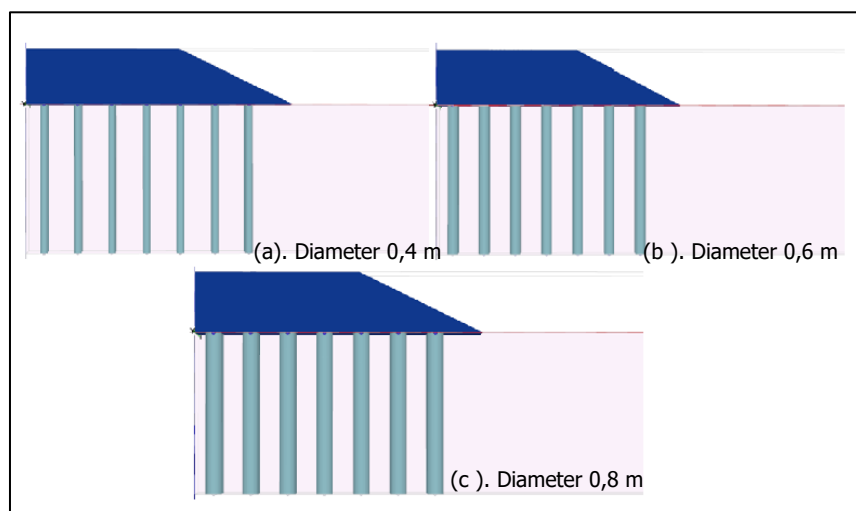
Pemodelan 3D pada Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Deep Mixed Column*



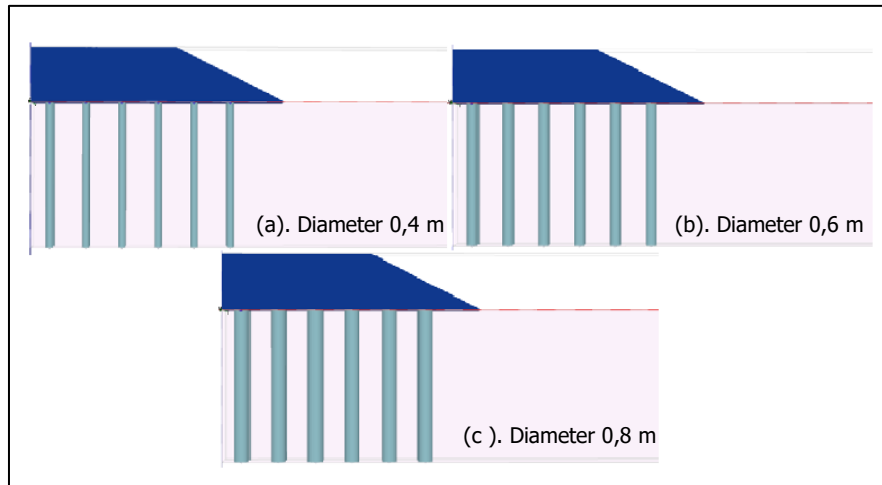
Gambar 5. Pemodelan *deep mixed column* dengan jarak 1,4 m



Gambar 6. Pemodelan *deep mixed column* dengan jarak 1,6 m



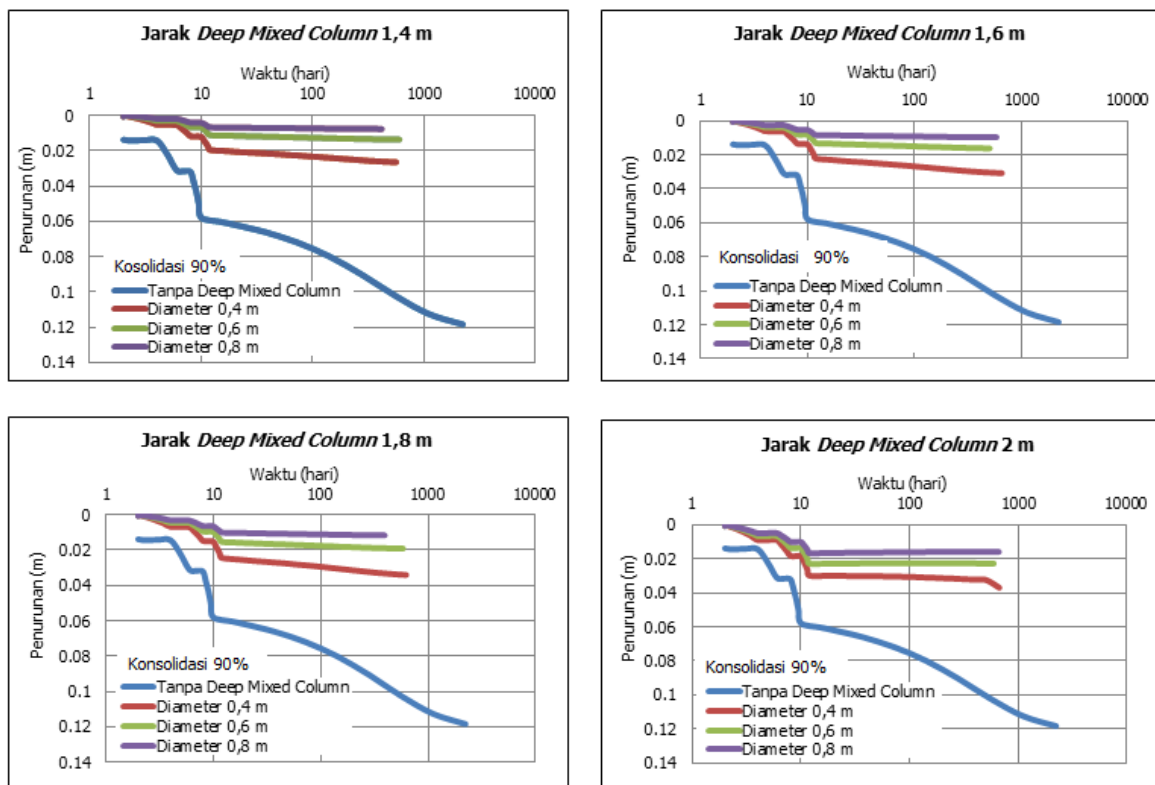
Gambar 7. Pemodelan *deep mixed column* dengan jarak 1,8 m



Gambar 8. Pemodelan *deep mixed column* dengan jarak 2 m

3.4 Hasil Analisis PLAXIS 3D

Setelah dilakukan pemodelan maka dapat diketahui jarak dan diameter dari penggunaan *deep mixed column* yang optimal sebagai perbaikan tanah pada tanah lempung lunak. Perbandingan hasil analisis penurunan dan waktu konsolidasi berdasarkan jarak *deep mixed column* dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil analisis berupa persentase nilai penurunan akibat penggunaan *deep mixed column* disajikan pada Tabel 4. Perbedaan nilai penurunan dipengaruhi oleh variasi jarak dan diameter.



Gambar 9. Grafik analisis penurunan dan waktu konsolidasi berdasarkan jarak *deep mixed column*

Tabel 4. Perentase Nilai dan Waktu Penurunan pada Setiap Variasi Jarak dan Diameter

Kondisi		Besar Penurunan	Waktu Konsolidasi	Persentase Besar Penurunan	Persentase Waktu Penurunan
Jarak	Diameter				
(m)	(m)	(m)	(hari)	(%)	(%)
Tanpa <i>Deep Mixed Column</i>		0,118	2.230		0
1,4	0,4	0,027	562	77,58	74,80
	0,6	0,014	600	88,40	73,09
	0,8	0,008	418	93,44	81,26
1,6	0,4	0,031	658	74,00	70,49
	0,6	0,016	505	86,33	77,35
	0,8	0,010	586	91,85	73,72
1,8	0,4	0,034	625	71,28	71,97
	0,6	0,019	584	83,86	73,81
	0,8	0,012	394	90,18	82,33
2	0,4	0,037	668	68,74	70,04
	0,6	0,023	594	80,57	73,36
	0,8	0,015	662	87,33	70,31

Berdasarkan **Tabel 4** dapat diketahui bahwa nilai persentase penurunan dari penggunaan *deep mixed column* sebagai perbaikan tanah pada tanah lempung memiliki nilai persentase yang semakin besar jika diameter besar dan semakin rapatnya jarak antar *deep mixed column*. Jika dilihat dari diameter terbesar dan jarak paling rapat maka nilai persentase penurunan yang didapatkan adalah 93,44 %, nilai penurunan tersebut lebih kecil dibandingkan dengan tanah tanpa *deep mixed column*.

4 KESIMPULAN

1. Semakin besar diameter *deep mixed column* maka penurunan yang terjadi akan semakin kecil. Semakin rapat jarak *deep mixed column* maka penurunan semakin kecil.
2. Waktu konsolidasi pada tanah yang menggunakan *deep mixed column* menghasilkan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang tidak menggunakan *deep mixed column*.
3. Pengaruh jarak dan diameter yang divariasikan setiap pemodelannya memiliki hasil yang tidak signifikan dengan perbedaan nilai penurunan hanya berkisar 0,002 – 0,015 m. Namun bila variasi tersebut dibandingkan dengan tanah tanpa *deep mixed column* nilai penurunan memiliki perbedaan yang signifikan.
4. Dipilih diameter dan jarak yang efisien, yaitu jarak 2 m dan diameter 0,4 m. Karena pada variasi tersebut jumlah proporsi penggunaan campuran sebagai pengikat akan lebih sedikit digunakan, namun tetap bisa mengurangi penurunan yang terjadi pada tanah lunak.

DAFTAR RUJUKAN

- BS EN 14679. (2005). Execution of Special Geotechnical Works – Deep Mixing.
- Bowles, Joseph E. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1998). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik). Jakarta: Erlangga.
- Karstunen, Minna & Leoni, Martino. (2009). Geotechnics of Soft Soil – Focus on Ground Improvement. London: Taylor & Francis Group.
- Kurniawan, I. D. (2015). Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Deep Mixing Soil (DSM) 15% Fly Ash Diameter 3 cm Berpola Panels Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif di Bojonegoro. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Malang: Universitas Brawijaya.
- Navin, Michael P. (2005). Stability of Embankments Founded on Soft Soil Improved with Deep Mixing Method Columns. Blackburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University.