

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Tafalas (2016) menganalisis pengembangan deformasi dan beban deformasi pada pelat *flexiglass* yang didukung dan tanpa didukung oleh kolom-kolom SiCC. Teknik kolom yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua bentuk, yaitu kolom dengan bentuk polos dan kolom dengan bentuk pembesaran di kepala kolom atau *T-Shape*. Dalam penelitian Tafalas (2016) bertujuan untuk mengkaji pengaruh diameter kepala kolom terhadap beban dan deformasi pelat terhadap pengembangan tanah. Pengamatan defleksi pelat akibat beban dan pengembangan dilakukan dengan model di laboratorium. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil antara lain: (1) Pemasangan kolom SiCC mampu mengurangi defleksi akibat pengembangan di tengah pelat dari 64,79 mm menjadi 61,65 mm dan 57,11 mm masing-masing untuk kolom polos dan kolom *T-Shape*. (2) Defleksi akibat beban sebesar 140 kg terhadap pelat fleksibel yang didukung oleh kolom polos dan kolom *T-Shape* masing-masing 35,1 mm dan 9,05 mm menunjukkan bahwa tanah yang diperkuat kolom *T-Shape* mampu mengurangi defleksi yang terjadi pada pelat akibat beban mencapai 4 kali bila dibandingkan tanah yang diperkuat dengan kolom polos. (3) Pelat fleksibel di atas tanah lempung yang tidak didukung oleh kolom hanya mampu menerima beban sebesar 45 kg dan defleksi akibat beban terhadap pelat fleksibel pada beban 45 kg adalah sebesar 11,84 mm.

Muntohar (2009) melakukan uji laboratorium untuk mengetahui kuat tekan dan karakteristik beban-penurunan tanah lunak menggunakan kolom kapur. Kolom kapur dirancang sebagai kolom tunggal dengan diameter 50 mm dan kedalaman 200 mm yang dimasukkan dalam kotak uji dengan ukuran 1,2 m x 1,2 m dan tinggi 1 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemasangan kolom kapur meningkatkan kuat dukung tanah disekitarnya baik arah radial maupun vertikal hingga mencapai jarak 3xD dari pusat kolom kapur. Dengan bertambahnya kadar kapur yang digunakan kekuatan tanah cenderung meningkat. Stabilisasi tanah

lunak dengan teknik kolom kapur ini dapat meningkatkan daya dukung tanah dari 0,23 kN menjadi 5,2 kN.

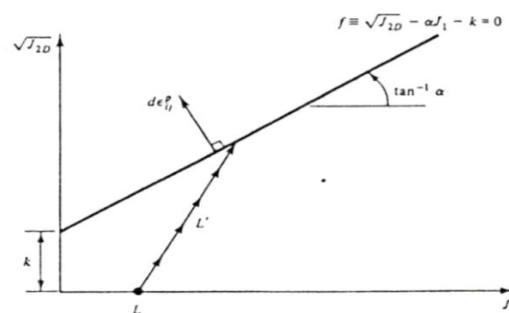
## 2.2. Parameter Material

Dalam program ABAQUS 6.11-2, *input material* yang digunakan tergantung dari tipe model yang digunakan sebagai pemodelan. Dalam pemodelan ini digunakan model *Drucker Prager* untuk memodelkan material tanah dan lapis perkerasan kaku jalan dengan sistem pelat. Menurut Nugraha (2007), penggunaan model *Drucker Prager* merupakan pendekatan yang sudah memperhitungkan seluruh *principal stress* (tegangan utama) yang mana batasan dari model ini adalah bahwa tidak berlaku untuk tanah lempung *normally consolidated* dan tanah pasir lepas (*loose*). Menurut Fattah dkk, (2015) model plastisitas *Drucker – Prager / cap* telah banyak digunakan dalam program analisis elemen hingga untuk berbagai aplikasi rekayasa geoteknik. Model *cap* sesuai untuk perilaku tanah, karena mampu mempertimbangkan pengaruh *stress history*, dilatansi, dan tekanan utama menengah (*the intermediate principal stress*).

Parameter utama yang digunakan pada model Drucker Prager antara lain :

### 1. Sudut Gesek Internal

Sudut gesek internal dinyatakan dalam derajat. Pada pasir padat biasanya ditemukan sudut gesek internal yang tinggi, hal tersebut dapat menambah beban dalam kerja perhitungan komputasi. Sehingga disarankan menghindari nilai sudut gesek yang tinggi agar tidak menambah waktu pekerjaan perhitungan komputasi (Fattah dkk., 2015). Sudut gesek sangat menentukan kekuatan geser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan menggunakan tegangan *Drucker Prager*.



Gambar 2.1 *Drucker Prager* (Nugraha, 2007).

## 2. Sudut Dilatasi ( $\psi$ )

Sudut dilatasi  $\psi$  (psi) ditentukan dalam derajat. Tanah lempung memiliki nilai dilatasi yang kecil ( $\psi = 0$ ), sementara untuk pasir tergantung pada kepadatan dan sudut geser. Sudut dilatasi tanah jauh lebih kecil daripada sudut gesernya. Untuk pasir kuarsa, sudut dilatasinya adalah  $\psi = \phi - 30^\circ$ . Sudut dilatasi sebagian besar bernilai nol dan untuk nilai  $\phi$  lebih kecil dari  $30^\circ$ . Nilai negatif pada sudut dilatasi ( $\psi$ ) hanya dapat terjadi pada pasir yang sangat longgar.

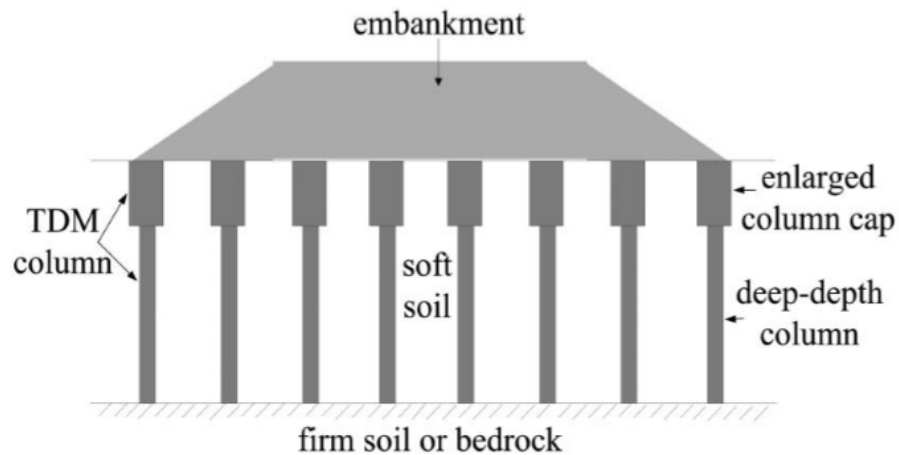
Kolom SiCC pada penelitian kali ini adalah kolom campuran silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan kalsium karbit (*calcium carbide/CC*) sehingga dapat terbentuk bahan sementasi (*cemented material*) *calcium silicate hydrate* (CSH) seperti yang telah dikaji oleh Diana dkk. (2012). Dalam beberapa analisis metode elemen hingga (FEM) baik kolom kapur/semen dan tanah liat dimodelkan sebagai *Mohr-Coulomb elastoplastic material* (Charbit, 2009), namun pada pemodelan material tanah kali ini dimodelkan sebagai *Drucker Prager model*. Karena perilaku plastik dari kolom ini, kolom dimodelkan dengan *Concrete Damaged Plasticity model*. Menurut Malm (2009) Model ini telah banyak berhasil digunakan untuk menggambarkan *cracking of concrete* (kerusakan beton). *Concrete Damaged Plasticity model* pada ABAQUS terdiri dari *non-associated multihardening* serta *plasticity* dan *isotropic damaged elasticity*.

### 2.3. Stabilisasi Tanah dengan Teknik Kolom

Stabilisasi tanah menggunakan kolom kapur adalah salah satu teknik perbaikan tanah yang paling murah dari pada harus mengganti material tanah lama yang kurang baik dengan yang lebih baik. Dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah asli yang memiliki kuat dukung rendah, indeks plastisitas tinggi, pengembangan tinggi dan gradasi buruk, terutama untuk perbaikan tanah pada daerah yang cukup luas. Metode kolom kapur ini merupakan salah satu jenis stabilitas tanah secara kimiawi. Metode ini dilakukan dengan cara menyemprotkan (*injection*) campuran kering kapur ke dalam tanah lempung sehingga terbentuklah kolom-kolom tegak.

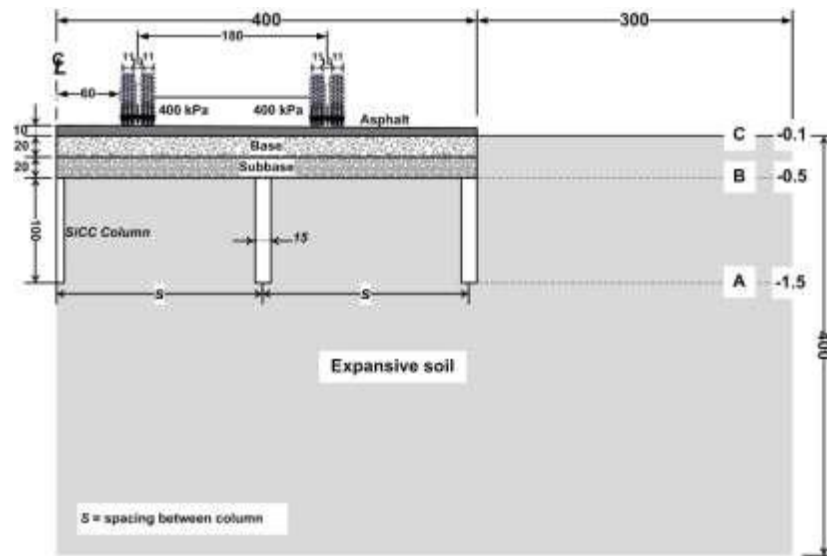
Liu dkk. (2012) melakukan pengujian dengan membandingkan efektifitas penggunaan kolom *deep mixing* (DM) dengan konvensional (*O-Shape*) dan modifikasi perbesaran pada ujung atasnya (*T-Shape*) pada *embankment* diatas

tanah lempung lunak (Gambar 2.2). Hasilnya penggunaan kolom *T-Shape* dapat menghemat penggunaan semen dan waktu pelaksanaan konstruksi. Kolom *T-Shape* mampu mengurangi *settlement* dan deformasi pada arah vertikal dan horizontal, serta lebih kaku pada kedalaman dangkal daripada kolom biasa (*O-Shape*).

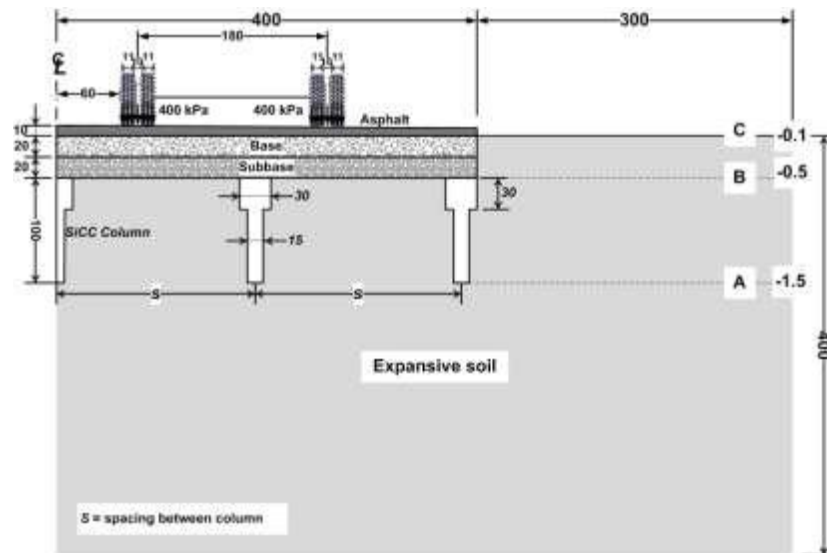


Gambar 2.2 Ilustrasi penggunaan kolom *T-Shape* pada timbunan diatas tanah lunak (Liu dkk., 2012).

Muntohar (2014) telah mengkaji analisis numerik kolom campuran kapur dan abu sekam padi yang difungsikan sebagai sistem fondasi untuk perkerasan lentur pada tanah yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pemodelan numerik dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D ver. 8.5 dengan 3 model yakni kolom *O-shape*, kolom *T-shape* dan tanpa kolom. Pemodelan pada potongan memanjang dan pada kondisi dengan dan tanpa beban lalu lintas. Pengembangan tanah diberikan dengan cara mengaktifkan *volumetric strain* sebesar 5 % pada tanah lempung. Parameter material pemodelan ditunjukkan pada Tabel 2.1. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan kolom dapat mengurangi *settlement* dan *heave* pada tanah. Efektifitas kolom ditentukan dari bentuk dan jarak antar kolom dimana kolom *T-shape* lebih efektif daripada *O-shape* karena luas *transfer* beban lebih besar.



(a)



(b)

Gambar 2.3 Model Perkerasan lentur pada tanah ekspansif yang diperkuat dengan kolom (a) *O-Shape* , (b) *T-Shape* (Muntohar, 2014).

Tabel 2.1 *Material properties* yang digunakan (Muntohar, 2014)

Parameter	Expansive Soil	SiCC Column	Subbase layer	Base layer	Asphalt
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	17	22	21	25
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	20	24	23	25
$E_{50}^{\text{ref}}$ (MPa)	0.718	3.317	200	400	$4 \times 10^3$
$E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ (MPa)	0.575	2.653	220	440	$4.4 \times 10^3$
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (MPa)	3	4	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$2 \times 10^4$
$\nu_{\text{ur}}$	0,495	0,495	0.35	0.45	0.4
$m$	1	0.5	0.5	0.5	0.5
$c'$ (kPa)	57	43	20	30	30
$\phi'$ (degree)	15	46	40	40	40

Khodair dan Mohti (2014) melakukan analisis numerik terhadap interaksi *pile-soil* di bawah beban aksial dan lateral dengan program ABAQUS/Cae dan SAP2000. Analisis yang dipakai dalam pemodelan ini adalah gabungan sistem *pile-soil* dengan model metode beda hingga (*Finite Difference Method Model*) menggunakan program LPILE. Lalu pemodelan 2D dan 3D dilakukan pada program ABAQUS/Cae dan SAP2000 dengan model elemen hingga (*Finite Element Models*) untuk mempelajari pengaruh beban lateral dari *pile* yang tertanam pada tanah. Perbandingan antara momen lentur dan penurunan akibat beban lateral di sepanjang kedalaman *pile* yang diperoleh dari hasil analisis numerik beda hingga dan analisis numerik elemen hingga. Hasil dari analisis ini didapatkan erat kaitanya parameter modulus elastisitas tanah di sekitar *pile* dan pengaruh kadar air yang menunjukkan bahwa penambahan *pile* di sekitar tanah mengurangi momen lentur yang diinduksi dan penurunan akibat beban lateral oleh *pile* (kolom) karena itu meningkatkan untuk menahan pembebanan lateral.

Kaufmann dkk. (2010) melakukan kajian analisis interaksi antara tiang dengan tanah yang mengalami *swelling* akibat adanya proses *unloading* seperti penggalian. Analisis numerik dilakukan dengan pemodelan *axisymmetric* menggunakan PLAXIS 2D dengan membandingkan antara model material *Hardening Soil* dan *Mohr-Coulomb*. Benda uji berbentuk silinder yang dimodelkan mengalami proses galian. Parameter material pemodelan ditunjukkan pada Tabel 2.2. Hasil kajian menunjukkan bahwa model *Hardening Soil* menghasilkan pengembangan lebih kecil daripada model *Mohr-Coulomb*

sehingga dapat dikatakan pemilihan dan input material, terutama nilai modulus elastisitas, mempengaruhi besar pengembangan. Jangkauan interaksi tiang optimum adalah 3D tiang, interaksi dipengaruhi oleh nilai kekasaran permukaan material ( $R_{inter}$ ).

Tabel 2.2 *Material properties* pemodelan (Kaufmann dkk., 2010)

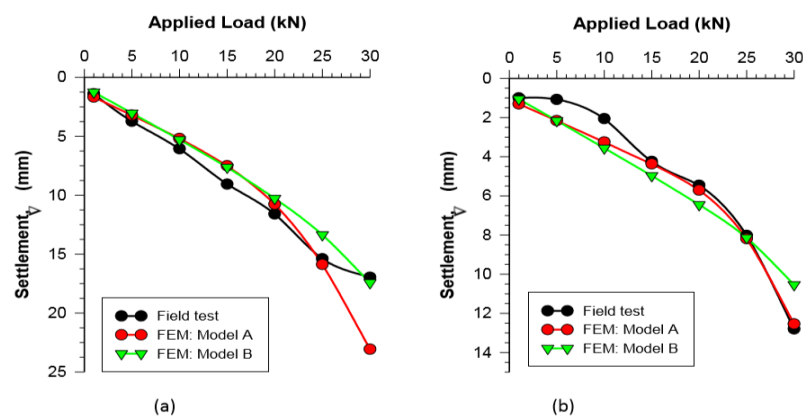
Parameter	Little Belt Clay	Concrete
$w$ [%]	33.3	-
$I_p$ [%]	183.8	-
$\sigma'_{pc}$ [kPa]	550	-
$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.49	-
$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16.49	24
$k_x$ [m/s]	$10^{-11}$	-
$k_y$ [m/s]	$10^{-11}$	-
$\nu$ [-]	0.3	0.15
$c'/c_u$ [kPa]	40/225	-
$E_{oed}$ [MPa]	10	$34.8 \cdot 10^3$
$E_{50}$ [MPa]	10	-
$E_{ur}$ [MPa]	30	-
$\phi'$ [°]	16	-
$\psi$ [°]	0	-

Larsson dkk. (2012) mengkaji perilaku kolom kapur secara lateral pada *shear box*. Hasil dari laboratorium disajikan bersama data analisis numerik dimana, kolom disimulasikan bersama beton sebagai model plastis yang mempertimbangkan degradasi dari kerusakan. Dalam pemodelan ini dikaji 7 model kolom yang disusun sejajar pada *shear box*. Hasil dari analisis numerik ini menunjukkan hasil yang baik antara hubungan tegangan geser-penurunan dan akurasi yang baik sehubungan dengan kembang susut.

Anshorie dkk. (2015) melakukan kajian terhadap pengaruh variasi jarak dan panjang kolom untuk stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM) tipe *Single Square* diameter 3 cm terhadap daya dukung tanah. Stabilisasi menggunakan bahan aditif *fly ash* dengan metode DSM dapat meningkatkan daya dukung terhadap tanah lempung ekspansif yang berasal dari Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium menggunakan konfigurasi DSM tipe *single square* dengan diameter kolom 3 cm pada variasi jarak antar kolom (L) 1D ; 1,25D ; 1,5D dan variasi panjang kolom (Df) 1B, 2B dan 3B. Sampel tanah ditempatkan di dalam

kotak berukuran 50 cm x 50 cm x 30 cm dengan tinggi tanah sampel 20 cm. Pengujian dilakukan dengan uji beban pelat fondasi berukuran 5 cm x 5 cm menggunakan sistem hidrolik manual sebagai pemberi tekanan beban. Hasil uji beban menyatakan bahwa daya dukung meningkat seiring dengan jarak antar kolom (L) semakin rapat dan panjang kolom (Df) semakin panjang, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dan tabel 2.3. Peningkatan daya dukung maksimum pada penelitian ini mencapai 275,79 % dari tanah tanpa stabilisasi yang semula nilai daya dukung sebesar 14,28 kg/cm<sup>2</sup> pada jarak antar kolom (L) 1D dan panjang kolom (Df) 3B.

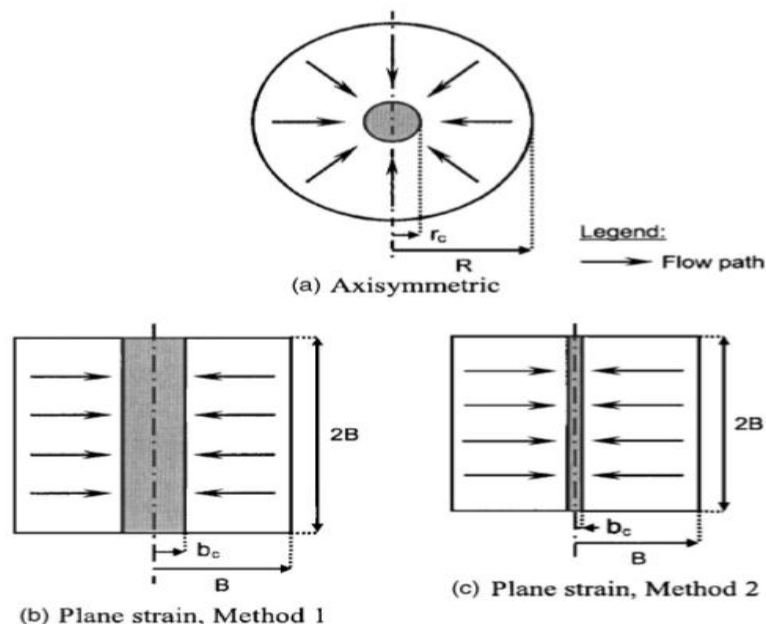
Muntohar dkk. (2013) telah mengkaji penurunan terhadap beban dengan metode *Prebored-premixed* (PPM) dan *Mixing Auger Method* (MAM) pada tanah gambut dari analisis elemen hingga yang dilakukan pada program PLAXIS 2D dan hasil uji pembebanan statis lapangan. Penelitian ini menggunakan analisis numerik dari *Pulverized Fuel Ash* (PFA) yang kemudian dibandingkan dengan hasil uji pembebanan statis di lapangan. Analisis dilakukan untuk menentukan parameter material terhadap kekakuan tanah disekitar *pile-soil*. Dua model geometri digunakan dalam analisis ini : A. *Block* (model A) dan B. *Column group* (model B). Pemodelan dilakukan dalam program PLAXIS 2D ver. 8.2. Hasil dari penelitian ini model B menunjukkan stabilitas yang lebih tinggi terhadap kegagalan jika dibandingkan dengan model A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



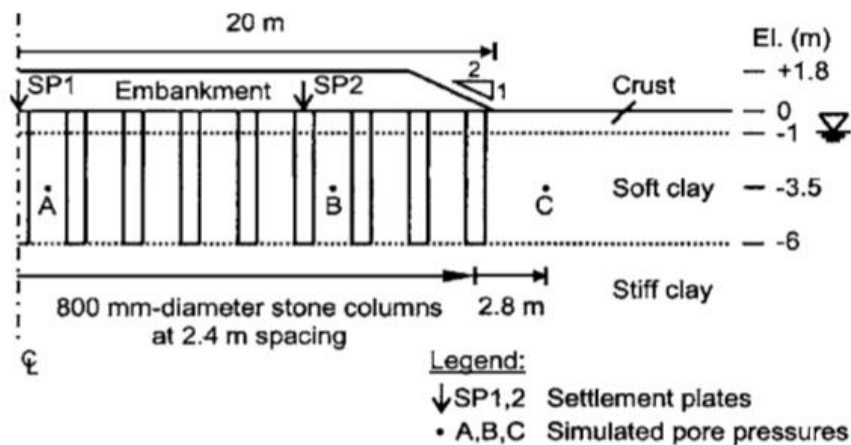
Gambar 2. 4 Kurva beban terhadap penurunan untuk (a) *prebored-premixed* (PPM), dan (b) *mixing-auger method* (Muntohar dkk., 2013).



Tan dkk. (2008) telah melakukan pemodelan *plane-strain* sederhana dari tanah yang diperkuat dengan *stone-column* dengan metode konversi sel satuan aksisimetrik ke dalam model *plane-strain* yang setara, akan diperlukan untuk pemodelan dua dimensi dari aplikasi multikolom di lapangan seperti yang tampak pada Gambar 2.5. Dalam penelitiannya Tan dkk. (2008) mengusulkan dua metode konversi yang disederhanakan untuk mendapatkan model *plane-strain* yang setara dari sel satuan, dan menginvestigasi penerapannya ke tanah bertulang multikolom. Pada metode konversi pertama, permeabilitas tanah dicocokkan menurut persamaan analitis, sedangkan dalam metode kedua, lebar kolom dicocokkan berdasarkan kesetaraan area kolom. Validitas metode ini diuji dengan perbandingan dan hasil numerik simulasi unit-sel dan dengan data lapangan dari *embankment* sebelumnya dan dapat dilihat pada Gambar 2.6. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk kasus pemodelan material elastis-linier, kedua metode menghasilkan penyelesaian konsolidasi jangka panjang yang cukup akurat, sedangkan untuk kasus pemodelan material elastoplastik, metode kedua lebih disukai karena metode pertama memberikan penyelesaian jangka panjang yang lebih rendah.

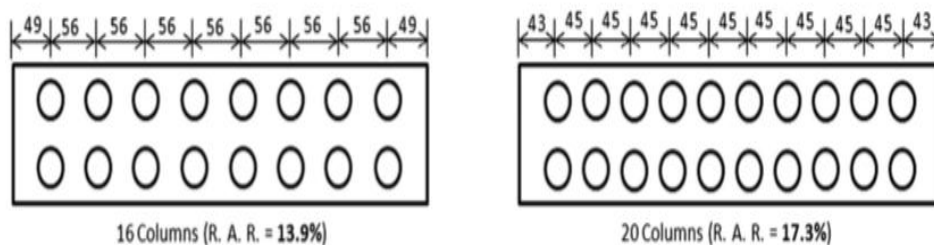


Gambar 2. 5 Penampang kolom-kolom sel satuan dan konversi *plane-strain* (Tan dkk., 2008).



Gambar 2. 6 Penampang *Embankment Case History* yang melalui *centerline stone-column* (Tan dkk., 2008).

Farouk dan Shanien (2013) melakukan pengujian terhadap kuat tekan kolom untuk perbaikan tanah lunak. Kolom berupa campuran semen yang divariasikan faktor air semennya. Variabel pengujian yaitu panjang kolom, ukuran kolom, waktu perawatan, serta jumlah dan susunan kolom seperti pada Gambar 2.7. Hasil penelitian tersebut antara lain meningkatnya faktor air semen mengurangi kuat tekan dan menambah daktalitas tanah. Meningkatnya kadar campuran semen menambah kekuatan dan kekakuan tanah (getas). Kuat tekan dan kekakuan tanah berkurang dengan bertambahnya ukuran butir halus dalam tanah. Ukuran kolom dan lama masa perawatan mempengaruhi nilai kuat dukung tanah, sementara panjang kolom dan jumlah kolom mempengaruhi nilai *settlement* yang terjadi.



Gambar 2. 7 Jumlah dan susunan kolom yang digunakan dalam pengujian (Farouk dan Shanien, 2013).