

**KARAKTERISTIK KOLOM PASIR GROUTING SEBAGAI
METODE PERKUATAN TANAH LEMPUNG KEPASIRAN**

*CHARACTERISTIC OF GROUTED SAND COLUMN AS
A METHOD FOR SANDY CLAY SOIL STRENGTHEN*

NOOR DHANI



**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**KARAKTERISTIK KOLOM PASIR GROUTING SEBAGAI METODE
PERKUATAN TANAH LEMPUNG KEPASIRAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister Teknik

Program Studi
Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan Oleh

NOOR DHANI

Kepada

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

TESIS

KARAKTERISTIK KOLOM PASIR GROUTING SEBAGAI METODE PERKUATAN TANAH LEMPUNG KEPASIRAN

Disusun dan diajukan oleh

NOOR DHANI

Nomor Pokok P2305211402

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 01 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Prof. Dr. Ir. Lawalenna S, MS., M.Eng. **Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D.**

Ketua

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin.

Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng

Prof. Dr. Ir. Mursalim, M.Sc

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Noor Dhani
Nomor mahasiswa : P230 5211 402
Program studi : Teknik Sipil
Konsentrasi : Geoteknik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 08 Agustus 2013
Yang menyatakan,

Noor Dhani

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala dengan selesainya tesis ini.

Gagasan yang melatari tajuk permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan kejadian kerusakan tanah dasar perencanaan konstruksi bangunan disebabkan oleh kurangnya daya dukung dari tanah dasar sehingga penulis melakukan penelitian di laboratorium mekanika tanah untuk menganalisis pengaruh kolom pasir grouting, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti selanjutnya serta merupakan sumbangsi pemikiran perkembangan teknologi perkuatan tanah.

Banyak kendala yang di hadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, berkat bantuan berbagai pihak maka tesis ini dapat selesai. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Lawalenna Samang, MS., M.Eng. sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Bapak Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D. sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitian sampai dengan penulisan tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Laode Muhammad Arsal, S.Sos., M.Si. selaku Rektor Universitas Dayanu Ikhsanuddin atas bantuan, perhatian dan

dorongannya. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Konsentrasi Geoteknik angkatan 2011. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin angkatan 2011 dan 2012 yang telah banyak membantu dalam proses penelitian. Ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada orang tua tercinta, saudara-saudara penulis atas doa dan dorongan moril yang telah diberikan. Ucapan terimakasihku yang tak terhingga untuk istriku tercinta Wa Nurnia, SE. dan anak-anakku Alfi Thojonk Kofeilino dan Irfi Auwwalil Nur atas segala kesabarannya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan digunakan untuk pengembangan wawasan serta peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua termasuk penelitian lebih lanjut.

Makassar, 08 Agustus 2013

Noor Dhani

Nama Penulis : Noor Dhani

KARAKTERISTIK KOLOM PASIR GROUTING SEBAGAI METODE PERKUATAN TANAH LEMPUNG KEPASIRAN

NOOR DHANI. *Karakteristik Kolom Pasir Grouting Sebagai Metode Perkuatan Tanah Lempung Kepasiran* (dibimbing oleh H. Lawalenna Samang dan Achmad Bakri Muhiddin)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik sifat fisik dan mekanis tanah lempung kepasiran, tanah pasir dan sifat mekanis kolom pasir grouting dan mengetahui besarnya kapasitas dukung yang terjadi pada kolom pasir grouting akibat pengaruh tanah lempung kepasiran disekitarnya serta mengevaluasi pola deformasi sistem pondasi kolom pasir grouting terhadap kekuatan daya dukung tanah lempung kepasiran.

Pengujian karakteristik tanah, pasir dan kolom pasir grouting menggunakan standar SNI dan ASTM. Metode experimental pengembangan pengujian dilakukan dalam menguji rancangan model perkuatan dalam bak selinder fiberglass uji dengan ukuran 60x60x50 cm. Dirancang sebuah model perkuatan tanah dasar dengan jarak variasi kedalaman kolom pasir grouting 20, 30 dan 40 cm yang mendukung tanah dasar dan diuji dengan pelat pembebanan sebagai beban merata. Untuk menginvestigasi efektifitas dari kolom pasir grouting yang dapat mereduksi penurunan tanah digunakan Metode Elemen Hingga.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, pola penurunan tanah dasar yang terjadi dengan adanya perkuatan kolom pasir grouting dapat mereduksi penurunan yang terjadi akibat adanya pembebanan dan terjadinya peningkatan daya dukung seiring dengan penambahan kedalaman perkuatan kolom pasir grouting. Efektifitas dari penggunaan perkuatan kolom pasir grouting baik untuk digunakan, dimana semakin dalam perkuatan kolom pasir grouting yang digunakan untuk mendukung tanah dasar, semakin besar penurunan yang dapat direduksi dan peningkatan daya dukung tanah semakin besar. Dari hasil validasi model laboratorium dan analisa numerik dimana dibandingkan pengujian laboratorium dan analisa PLAXIS 2D dan 3D, perkuatan kolom pasir grouting sebagai perkuatan pada tanah dasar dengan penggunaan model kolom dengan kedalaman yang bervariasi menghasilkan garis yang membentuk sudut 45 derajat tidak terjadi penyimpangan yang besar.

Kata kunci : Kolom pasir grouting, pasir-semen, penurunan, uji plat pembebanan.

Writer : Noor Dhani

CHARACTERISTIC OF GROUTED SAND - COLUMN TO STRENGTHEN SANDY CLAY SOIL

(Preceptor : H. Lawalenna Samang and Achmad Bakri Muhiddin)

ABSTRACT

This study aims to examine the characteristics of the physical and mechanical properties, know the size and carrying capacity, evaluate the deformation patterns of grouted sand column foundation system.

Testing using SNI and ASTM standards. Experimental testing methods designed test cylinder models retrofitting tub dimensions 60x60x50 cm. Designed a model of soil reinforcement on the basis of variations in the depth of the grouted sand column 20, 30, 40 cm soil which supports basic and tested with the loading plate. To investigate the effectiveness of grouted sand column fields to reduce soil degradation used the Finite Element Method.

From the results of tests performed, the pattern of decline that occurs with the basic soil reinforcement grouted sand column can reduce the decline due to the increased loading and carrying capacity with the addition of depth along the reinforcement grouted sand column. Strengthening the effectiveness of the use of grouted sand column to good use, where the retrofitting of insulation in grouted sand column used to support the basic soil, the greater the reduction that can be reduced and increase the carrying capacity of the land. Validation of the results of laboratory models and numerical analysis which compared PLAXIS 2D and 3D laboratory testing and analysis, grouted sand column reinforcement as reinforcement in sand subgrade with the use of the model into a column with varying yield results that are not much different.

Keywords : Grouted sand column, sand-cement, reduction, plate loading test.

KARAKTERISTIK KOLOM PASIR GROUTING SEBAGAI METODE PERKUATAN TANAH LEMPUNG KEPASIRAN

CHARACTERISTIC OF GROUTED SAND - COLUMN TO STRENGTHEN SANDY CLAY SOIL

Noor Dhani¹⁾, Lawalenna Samang²⁾, Achmad Bakri Muhiddin²⁾

¹⁾*Mahasiswa Pascasarjana, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar*

²⁾*Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar*

ABSTRAK

Tanah memiliki sifat dasar, seperti penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (compressibility), kekuatan geser, kapasitas daya dukung, serta sebagai inovasi dalam mereduksi deformasi tanah dan penurunan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik sifat fisik dan mekanis, mengetahui besarnya kapasitas dukung serta, mengevaluasi pola deformasi sistem pondasi kolom pasir grouting. Pengujian menggunakan standar SNI dan ASTM. Metode experimental dirancang model perkuatan bak uji selinder dimensi 60x60x50 cm. Dirancang sebuah model perkuatan tanah dasar dengan variasi kedalaman kolom pasir grouting 20, 30, 40 cm yang mendukung tanah dasar dan diuji dengan pelat pembebanan. Untuk menginvestigasi efektifitas kolom pasir grouting yang dapat mereduksi penurunan tanah digunakan *Metode Elemen Hingga*.

Untuk menginvestigasi efektifitas dari kolom pasir grouting yang dapat mereduksi penurunan tanah digunakan Metode Elemen Hingga. Hasil dari pengujian pada model fisik skala laboratorium menunjukkan bahwa perkuatan kolom pasir grouting sangat efektif dalam mendukung tanah dasar yang berada diatas sampel tanah. Selama pengujian pembebanan, tanah dasar hanya mengalami deformasi yang sangat kecil. Sementara kolom pasir grouting memberikan dukungan yang cukup signifikan dalam mendukung menahan beban vertical akibat beban yang diberikan selama pengujian.

Kata kunci : Kolom pasir grouting, pasir-semen, penurunan, uji plat pembebanan.

ABSTRACT

Basic soil properties, such as grain size distribution, water flow capacity, compression properties when loaded (compressibility), shear strength, bearing capacity, as well as innovation in reducing soil deformation and decline. This study aims to examine the characteristics of the physical and mechanical properties, know the size and carrying capacity, evaluate the deformation patterns of grouted sand column foundation system. Testing using SNI and ASTM standards. Experimental testing methods designed test cylinder models retrofitting tub dimensions 60x60x50 cm. Designed a model of soil reinforcement on the basis of variations in the depth of the grouted sand column 20, 30, 40 cm soil which supports basic and tested with the loading plate. To investigate the effectiveness of grouted sand column fields to reduce soil degradation used the Finite Element Method.

To investigate the effectiveness of grouted sand column which can constantly reduce soil degradation used the Finite Element Method. Results of tests on laboratory scale physical model shows that retrofitting insulation grouted sand column being very effective in supporting the subgrade which is above the soil sample. During load testing, subgrade deforms only very small. While the grouted sand column consistently provide significant support in favor of vertical load bearing due to load given during the test.

Keywords : Grouted sand column, sand-cement, reduction, plate loading test.

DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Tinjauan Umum	6
B. Karakteristik dan Komposisi Tanah	7
C. Daya Dukung Tanah Lempung	14
D. Daya Dukung Tanah Pasir	21
E. Portland Composite Cement (PCC)	24

F. Kolom Semen-Pasir (Soil-Cement Columns)	25
G. Perbaikan Tanah Dengan Metode Grouting	27
H. Matriks Penelitian Terdahulu	32
I. Kerangka Konsep Penelitian	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	44
A. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan	44
B. Kerangka Alir Penelitian	45
C. Rancangan Sampling dan Data Penelitian	48
1. Persiapan material dasar	48
2. Persiapan bahan dan alat	48
3. Pelaksanaan penelitian	53
D. Analisa Data dan Validasi Numerik	62
1. Data input plaxis 2D V8.2	62
2. Perhitungan validasi numerik	76
E. Definisi Operasional Variabel	82
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	85
A. Karakteristik Tanah Lempung Kepasiran	85
1. Sifat karakteristik tanah lempung kepasiran	86
2. Sifat mekanis tanah lempung kepasiran	88
3. Klasifikasi Tanah	90
B. Karakteristik Tanah Pasir Uji Model Kolom Pasir	91
1. Sifat karakteristik tanah pasir	92
2. Sifat mekanis tanah pasir	94

C. Hasil Uji Model Laboratorium Perkuatan Tanah Dasar Tipe Kolom Pasir Grouting	97
1. Pola deformasi pembebanan dan penurunan hasil pengujian laboratorium	97
2. Pola pembebanan dan deformasi tanah dasar pengujian laboratorium	102
D. Hasil Uji Model Analisa Numerik Plaxis Perkuatan Tanah Dasar Tipe Kolom Pasir Grouting	114
1. Pola deformasi pembebanan dan penurunan hasil analisa numerik plaxis	114
E. Diagram Arah Gaya Tanah Dasar Hasil Analisa Numerik Plaxis	122
1. Pola deformasi analisa numerik plaxis tanah dasar tanpa perkuatan kolom pasir grouting	122
2. Pola deformasi analisa numerik plaxis tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm	126
3. Pola deformasi analisa numerik plaxis tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm	131
4. Pola deformasi analisa numerik plaxis tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm	137
F. Validasi Hasil Dengan Kurve Penurunan Analisa Numerik Plaxis dan Penurunan Uji Model Laboratorium	145
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	149
A. Kesimpulan	149
B. Saran	151
DAFTAR PUSTAKA	152

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1	Peta penyebaran tanah lunak di indonesia	6
2	Tanah lempung kepasiran	9
3	Diagram fase tanah	9
4	Batas – batas konsistensi tanah	12
5	Model pondasi	18
6	Grafik hubungan antara beban dan penurunan	18
7	Keruntuhan geser menyeluruh dari tanah dibawah pondasi	19
8	Keruntuhan setempat menyeluruh dari tanah dibawah pondasi	19
9	Penurunan konsolidasi	20
10	Pembebanan pondasi dan bentuk bidang geser	24
11	Portland composite cement	25
12	Sketsa kolom pasir semen	27
13	Grouting dari bawah ke atas	29
14	Grouting dari atas ke bawah	31
15	Kerangka konsep penelitian	43
16	Kerangka alir penelitian	47
17	Sketsa tampak model pengujian kolom pasir grouting	57
18	Tampak model pengujian tanpa perkuatan plat bearing L = 10 cm kolom pasir grouting	57
19	Sketsa tampak model pengujian tanpa perkuatan plat bearing L = 20 cm kolom pasir grouting	58

20	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 10 cm kolom pasir grouting kedalaman 20 cm	58
21	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 20 cm kolom pasir grouting kedalaman 20 cm	59
22	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 10 cm kolom pasir grouting kedalaman 30 cm	59
23	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 20 cm kolom pasir grouting kedalaman 30 cm	60
24	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 10 cm kolom pasir grouting kedalaman 40 cm	60
25	Sketsa tampak model pengujian dengan perkuatan plat bearing L = 20 cm kolom pasir grouting kedalaman 40 cm	63
26	Menu open program plaxis	63
27	Menu general settings program plaxis	64
28	Menu general settings pada dimensi satuan	64
29	Penggambaran area garis geometri	66
30	Menu beban untuk menerapkan kondisi batas standar	67
31	Menu plate sebagai pada menu geometri	67
32	Lembar-tab general dari jendela kumpulan data tanah dan antar muka	70
33	Perubahan warna klaster setelah data material di Drag ke dalam klaster	71
34	Menu generate mesh deformasi	72
35	Menu ko-procedure generate initial stresses	74

36	Menu modus konfigurasi geometri update initial soil stresses	75
37	Jendela perhitungan dengan lembar-tab general	76
38	Jendela perhitungan dengan lembar-tab general	78
39	Jendela pengaktifan beban pada tahapan calculation	79
40	Jendela pemilihan titik untuk kurva	80
41	Jendela informasi perhitungan	80
42	Jaringan elemen terdeformasi	81
43	Jaringan elemen terdeformasi dalam mode arrows	81
44	Jaringan elemen terdeformasi dalam mode shadings	81
45	Contoh out put gambar kolom perkuatan tanah pada pondasi menggunakan program plaxis 3D	84
46	Grafik analisa butiran tanah	87
47	Grafik hubungan kadar air dan berat isi kering tanah asli	88
48	Grafik kuat tekan bebas sampel tanah	89
49	Pola retak sampel tanah yang terjadi setelah di uji	89
50	Grafik geser langsung sampel tanah	90
51	Grafik analisa butiran pasir	94
52	Grafik hubungan kadar air dan berat isi kering pasir	95
53	Grafik kuat tekan bebas kolom pasir grouting	95
54	Pola retak kolom pasir grouting yang terjadi setelah di uji	96
55	Grafik geser langsung kolom pasir grouting	97
56	Foto pengujian sampel	98
57	Foto pengujian sampel material kolom pasir grouting	98

58	Foto pengujian tanah dasar perkuatan kolom pasir grouting (a) kedalaman 20 cm, (b) kedalaman 30 cm dan (c) kedalaman 40 cm	99
59	Grafik hasil uji model laboratorium hubungan beban vs penurunan dengan plat bearing diameter 10 cm	100
60	Grafik hasil uji model laboratorium hubungan beban vs penurunan dengan plat bearing diameter 20 cm	100
61	Foto keruntuhan akibat pembebanan	102
62	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi sampel tanah tanpa perkuatan dengan plat bearing diameter 10 cm	103
63	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi sampel tanah tanpa perkuatan dengan plat bearing diameter 20 cm	104
64	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 20 cm dengan plat bearing diameter 10 cm	106
65	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 20 cm dengan plat bearing diameter 20 cm	107
66	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 30 cm dengan plat bearing diameter 10 cm	109
67	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 30 cm dengan plat bearing diameter 20 cm	110
68	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 40 cm dengan plat bearing diameter 10 cm	112
69	Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 40 cm dengan plat bearing diameter 20 cm	113
70	Gambar geometrik plaxis 2D (a). tanah dasar tanpa perkuatan plat bearing diameter 10 cm, (b).	116

tanah dasar tanpa perkuatan plat bearing diameter 20 cm, (c). dengan perkuatan kedalaman 40 cm - plat bearing diameter 10 cm, & (d). dengan perkuatan kedalaman 40 cm - plat bearing diameter 20 cm

71	Gambar geometrik plaxis 3D (a). model tanah dasar tanpa perkuatan plat bearing diameter 10 cm, (b). dengan perkuatan kedalaman 40 cm - plat bearing diameter 10 cm.	116
72	Diagram pola deformasi tanah dasar (a). pola deformasi tanpa perkuatan (plaxis 2D), (b). pola deformasi dengan perkuatan (plaxis 2D) (c). pola deformasi plaxis 3D, & (d). pola deformasi plaxis 3D dalam mode potongan (cross section).	117
73	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan tanpa perkuatan – plat bearing diameter 10 cm	118
74	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm	119
75	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm	119
76	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm	119
77	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm	120
78	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm	120
79	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 10 cm	120
80	Grafik hasil uji model analisa numerik plaxis hubungan	121

beban vs penurunan, dengan perkuatan kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm

81	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	123
82	Diagram Arah Gaya Shadings Deformasi Total Tanah Dasar Tanpa Perkuatan – Plat Bearing Diameter 10 Cm (Plaxis 2D)	123
83	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	123
84	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	124
85	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	125
86	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	125
87	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	125
88	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	126
89	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	127
90	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	128
91	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah	128

	dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	
92	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	128
93	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	130
94	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	130
95	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	130
96	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	131
97	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	133
98	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	133
99	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	134

100	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	134
101	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	136
102	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	136
103	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	136
104	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	137
105	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	139
106	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 2D)	139
107	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	140
108	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat	140

	bearing diameter 10 cm (plaxis 3D)	
109	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	142
110	Diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 2D)	142
111	Diagram arah gaya arrows deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	142
112	Gambar (a) diagram arah gaya shadings deformasi total tanah dasar (b) cross section shadings deformasi total tanah dasar dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm (plaxis 3D)	143
113	Grafirk hubungan penurunan hasil uji laboratorium vs penurunan hasil analisa numerik plaxis tanpa perkuatan	146
114	Grafirk hubungan penurunan hasil uji laboratorium vs penurunan hasil analisa numerik plaxis dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 20 cm	146
115	Grafirk hubungan penurunan hasil uji laboratorium vs penurunan hasil analisa numerik plaxis dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 30 cm	147
116	Grafirk hubungan penurunan hasil uji laboratorium vs penurunan hasil analisa numerik plaxis dengan perkuatan kolom pasir grouting kedalaman 40 cm	147

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1	Hubungan nilai indeks plastisitas dengan jenis tanah menurut Atterberg	12
2	Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah	13
3	Hubungan antara jenis tanah dan poisson's ratio	14
4	Perbandingan bahan utama semen	24
5	Hasil penelitian tentang kolom pasir grouting	37
6	Rencana schedule pelaksanaan penelitian	45
7	Daftar alat-alat dan gambar pengujian	49
8	Sampel pengujian untuk kolom pasir grouting	61
9	Input parameter tanah kolom pasir grouting	69
10	Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik tanah asli	85
11	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir	91
12	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar tanpa perkuatan hasil uji laboratorium plat bearing diameter 10 cm.	103
13	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar tanpa perkuatan hasil uji laboratorium plat bearing diameter 20 cm.	104
14	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 20 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter 10 cm.	105
15	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 20 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter	106

	20 cm.	
16	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 30 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter 10 cm.	108
17	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 30 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter 20 cm.	109
18	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 40 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter 10 cm.	111
19	Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan pada kedalaman 40 cm hasil uji laboratorium plat bearing diameter 20 cm.	112
20	Input parameter tanah kolom pasir grouting	114
21	Input parameter material loading plate	115
22	Tabel korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 10 cm.	122
23	Tabel korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar tanpa perkuatan – plat bearing diameter 20 cm.	124
24	Tabel korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 10 cm.	127
25	Tabel korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan kedalaman 20 cm – plat bearing diameter 20 cm.	129
26	Tabel korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan	132

		kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 10 cm.	
27	Tabel	korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan kedalaman 30 cm – plat bearing diameter 20 cm.	135
28	Tabel	korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 10 cm.	138
29	Tabel	korelasi penurunan analisa numerik plaxis untuk tanah dasar dengan perkuatan kedalaman 40 cm – plat bearing diameter 20 cm.	141
30		Hubungan beban ultimit vs penurunan hasil uji laboratorium dan hasil analisa numerik plaxis	145

DAFTAR PERSAMAAN

nomor		halaman
1	Hubungan volume – berat tanah	10
2	Berat total tanah	10
3	Angka pori/void ratio (e)	10
4	Porositas (n)	10
5	Derajat kejenuhan (s)	10
6	Hubungan antara angka pori dan porositas (e)	11
7	Hubungan antara angka pori dan porositas (n)	11
8	Kadar air (w)	11
9	Berat volume (γ)	11
10	Spesific gravity (Gs)	11
11	Indeks Plastisitas (PI)	12
12	Kapasitas dukung ultimit	23

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti halnya pada bendungan, dan juga sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan, seperti dinding penahan tanah. Tanah berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil dalam mempelajari sifat dasarnya, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan (*compressibility*), kekuatan geser, dan kapasitas daya dukung terhadap beban.

Secara umum permasalahan pada konstruksi di atas tanah lunak, terjadinya geseran (*shearing*). Mekanisme hilangnya keseimbangan terjadi pada tanah dengan daya dukung rendah, diakibatkan dari beban berat tanah itu sendiri. Permasalahan lain biasanya berupa tolakan ke atas (*uplift*) yang banyak terjadi pada lapisan lempung (*clay*) dan lanau (*silt*) akibat perbedaan tekanan air, juga dapat mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan (*settlement*).

Pertambahan daya dukung tanah dapat dicapai dengan mengubah sifat-sifat tanah dari sudut geser tanah (ϕ), kohesi (c) dan berat satuannya (γ). Penurunan dapat direduksi dengan menambahkan kerapatan rongga dari pemampatan partikel tanah. Perancangan suatu pondasi harus

mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. maka perlu dipenuhi dua kriteria dalam perkuatan daya dukung tanah, yaitu kriteria stabilitas dan penurunan.

Salah satu metode perkuatan tanah lunak dilakukan dengan cara grouting yang merupakan bagian pekerjaan konstruksi, yakni sebagai salah satu cara dalam perbaikan pondasi (*foundation-treatmen*). Grouting adalah proses, dimana suatu cairan campuran semen dan air diinjeksikan dengan tekanan kedalam rongga, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Pada naskah ini disajikan hasil kajian laboratorium tentang pengaruh penggunaan kolom pasir *grouting* terhadap kekuatan daya dukung tanah lempung kepasiran dan hasil validasi data akan dihitung dengan analisa numerik menggunakan Program Plaxis. Dimana kolom pasir adalah suatu model kolom yang terbuat dari campuran air semen yang terjadi pengikatan pada butiran pasir disekitar area grouting.

Atas dasar pertimbangan teori yang akan dilakukan penelitian dilaboratorium maka peneliti mengambil tema karakteristik kolom pasir *grouting* sebagai metode perkuatan tanah lempung kepasiran.

B. Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung kepasiran, tanah pasir dan sifat mekanis kolom pasir grouting terhadap variasi kedalaman kolom pasir grouting dan plat bearing.
2. Bagaimana kapasitas dukung kolom pasir grouting pada tanah lempung kepasiran.
3. Bagaimana pola deformasi sistem pondasi kolom pasir grouting terhadap kekuatan daya dukung tanah lempung kepasiran.

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menguji karakteristik dari sifat fisik dan mekanis tanah lempung kepasiran, tanah pasir dan sifat mekanis kolom pasir grouting.
2. Mengetahui besarnya kapasitas dukung kolom pasir grouting yang terjadi pada tanah lempung kepasiran.
3. Mengevaluasi pola deformasi sistem pondasi kolom pasir grouting terhadap kekuatan daya dukung tanah lempung kepasiran.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian dapat diperoleh gambaran tentang kolom pasir grouting pada tanah lempung kepasiran sebagai salah satu metode perbaikan daya dukung tanah.
2. Sebagai referensi bagi para peneliti dalam melakukan metode perbaikan tanah pada jenis tanah lempung kepasiran terhadap kolom pasir grouting.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada :

1. Pada penelitian ini digunakan material jenis tanah lempung kepasiran.
2. Menggunakan bahan material pengikat semen PCC (*portland composite cement*) untuk kolom pasir grouting.
3. Metode test yang dipergunakan adalah berdasarkan metode ASTM dan SNI.
4. Menganalisis pola deformasi vertikal dengan tekanan kapasitas 20 ton pada kolom pasir grouting terhadap tanah lempung kepasiran.
5. Metode prapembebanan (*preloading*), untuk melihat besaran kekuatan dan daya dukung tanah serta sifat pemampatannya,

dalam penurunan/keruntuhan yang terkendali pada umur 21 (dua puluh satu) hari terhadap variasi kedalaman kolom pasir grouting dan variasi plat bearing, dengan perbandingan Water Cement Rasio/Faktor Air Semen (WCR) = 1,0 : 1.

a. Variasi Kedalaman Kolom Pasir Grouting :

(1) Kedalaman $H_1 = 20$ cm

(2) Kedalaman $H_2 = 30$ cm

(3) Kedalaman $H_3 = 40$ cm

b. Variasi Plat Bearing :

(1) Plat Bearing $T = 1,2$ cm dengan $D = 10$ cm.

(2) Plat Bearing $T = 1,2$ cm dengan $D = 20$ cm.

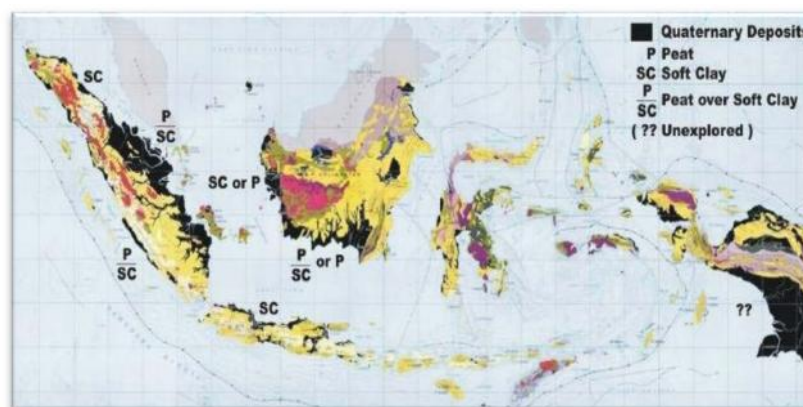
6. Hasil validasi data dihitung dengan analisa numerik menggunakan program plaxis, yang merupakan program elemen hingga dalam menganalisa masalah geoteknik dalam perencanaan sipil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

Sebagian besar deposit tanah di Indonesia merupakan tanah lunak. Tanah jenis ini umumnya ditemui di wilayah Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya, ketebalannya mencapai lebih dari 30 m. Selain wilayah yang telah disebutkan di atas, tanah lunak juga tersebar di kawasan Indonesia lainnya walaupun dalam jumlah yang relatif lebih sedikit.



Gambar 1. Peta penyebaran tanah lunak di Indonesia (Sumber : Panduan geoteknik 1, departemen pemukiman dan prasarana wilayah).

Tanah lunak merupakan tanah yang berkarakteristik buruk. Hal ini karena tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi. Faktor yang menyebabkan tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah lunak memiliki angka pori yang tinggi dan memiliki

kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah deformasi.

B. Karakteristik dan Komposisi Tanah

1. Karakteristik tanah lempung

Lempung didefinisikan sebagai susunan partikel yang ukurannya kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Menurut Hardiyatmo (2010), sifat-sifat yang ada pada tanah lempung adalah ukuran butiran-butiran halus nya >0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler yang tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Jenis tanah lempung kepasiran dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam mempelajari lempung maka perlu dibedakan istilah :

- a. Penggunaan istilah ukuran lempung,
- b. Penggunaan istilah mineral lempung.

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorilonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ($Al_2O_3 \cdot n Si O_2 \cdot kH_2O$), ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya, yaitu :

- a. Mineral Montmorilonite, mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi, sehingga tanah lempung yang mengandung mineral ini akan mempunyai potensi pengembangan yang sangat tinggi.

- b. Mineral Illite, mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang sedang sampai tinggi, sehingga material lempung yang mengandung mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang medium.
- c. Mineral Kaolinite, mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan mempunyai sifat pengembangan yang lebih kecil.

2. Karakteristik tanah pasir

Definisi pasir menurut Wesley (1977), merupakan agregat yang butirannya hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama kwarza. Pasir sering kali di kenal sebagai tanah tidak kohesif dan berbutir kasar. Pasir memiliki batas ukuran butiran antara 0.06 mm sampai 2 mm.

Menurut Bouwles (1983), pasir merupakan partikel tambang yang lebih kecil dari kerikil dengan ukuran butir antara 0.05 mm sampai 0.074 mm. pasir adalah bahan yang tak berkohesi, tetapi jika pasir, tersebut lembab maka tegangan permukaan memberikan kohesi yang nyata, yang akan menghilang bila bahan mengering.

ASTM menyebutkan bahwa pasir merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragma-fragma dengan bentuk *sub-rounded*, *rounded*, *sub-angular*, *angular*, dengan partikel berukuran 0.075 mm samapi 2 mm.

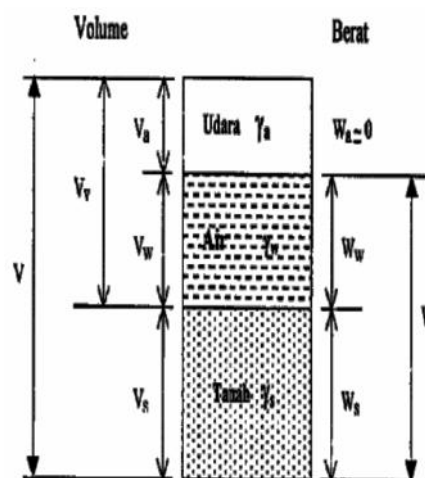
Menurut Terzaghi (1987), pasir merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen dengan bentuk *angular* dan *sub-angular*, berasal dari batuan dengan ukuran partikel dibawah 1/8 inchi.



Gambar 2. Tanah lempung kepasiran.

3. Komposisi tanah

Tanah menurut Braja M. Das (1995), didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat mineral padat yang tidak satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong di antara partikel padat tersebut. Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air dan udara, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram fase tanah.

Hubungan volume – berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (1)$$

Dimana :

V_s = Volume butiran padat V_v = Volume pori

V_w = Volume air dalam pori V_a = Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = W_s + W_w \quad (2)$$

Dimana :

W_s = Berat butiran padat W_w = Berat air

Hubungan dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

a. Angka pori/*void ratio* (e), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3)$$

b. Porositas (n) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen yaitu :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (4)$$

c. Derajat kejenuhan (s) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, yang dinyatakan dalam persen, yaitu :

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (5)$$

Hubungan antara angka pori dan porositas diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{n-1} \quad (6)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (7)$$

d. Kadar air (w), disebut juga sebagai *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (8)$$

e. Berat volume (γ) adalah berat tanah per satuan volume :

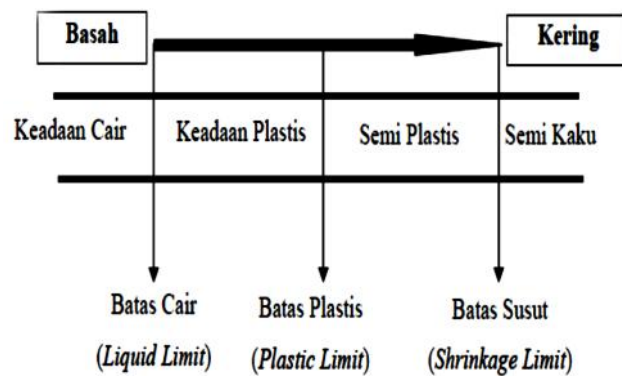
$$\gamma = \frac{w}{v} \quad (9)$$

f. *Specific gravity* (G_s) adalah perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (10)$$

(1) Batas konsistensi tanah

Batas konsistensi tanah atau yang biasa disebut *Atterberg Limit* merupakan hal yang penting dan selalu dilakukan pada saat penyelidikan. Kegunaan batas *Atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Gambar 4 :



Gambar 4. Batas-batas konsistensi tanah.

- (a) Batas Cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
- (b) Batas Plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
- (c) Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI = LL - PL \quad (11)$$

Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut *Atterberg* berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan nilai indeks plastisitas dengan jenis tanah menurut Atterberg.

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7 – 17	Lempung Berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung Murni	Tinggi	Kohesif

(Sumber : Mekanika Tanah II, Ir. Indrastomo DA. M.Ing)

(2) Modulus elastisitas tanah

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai *modulus elastisitas* (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977).

Jenis Tanah	E_s (Kg/Cm ²)
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

Sumber : Mekanika Tanah II. Tim Dosen Teknik Sipil Undip.

(3) Poisson's ratio

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara jenis tanah dan poisson's ratio.

Jenis Tanah	Poisson's Ratio (μ)
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir Padat	0,2 – 0,4
Pasir Kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir Halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

Sumber : Mekanika Tanah II. Tim Dosen Teknik Sipil Undip.

C. Daya Dukung Tanah Lempung

Daya dukung tanah adalah parameter tanah yang berkenaan dengan kekuatan tanah untuk menopang suatu beban di atasnya. Daya dukung tanah dipengaruhi oleh jumlah air yang terdapat di dalamnya, kohesi tanah, sudut geser dalam, dan tegangan normal tanah. Dapat dikatakan pula bahwa daya dukung merupakan gaya maksimum yang dapat dipikul/ditahan tanpa menyebabkan keruntuhan geser dan penurunan/*Settlement* yang berlebihan untuk melawan gaya geser.

Sebagian teori daya dukung dikembangkan berdasarkan teori plastisitas dimana tanah dianggap berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Paham ini dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang mengembangkan persamaan dari analisis kondisi aliran. Teori ini dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), Hansen (1970), Vesic (1975). Analisa perhitungan daya dukung tanah lempung yang dikembangkan tersebut mengasumsikan tanah lempung dalam keadaan

undrained.

Tanah yang terdapat di lapangan bersifat mudah tertekan, atau mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang tinggi, maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Berikut ini adalah beberapa usaha perbaikan tanah :

a. Penggantian material (*cut and fill*)

b. Pemadatan (*compaction*)

c. Pra pembebanan

Tujuannya untuk mereduksi *settlement* dan menambah kekuatan geser.

d. Drainase vertikal (*vertikal drain*)

Tujuannya untuk menaikkan laju konsolidasi lempung jenuh dengan permeabilitas rendah.

e. Stabilisasi (*mekanis dan kimiawi*)

Tujuannya untuk perbaikan mutu tanah yang tidak baik dan meningkatkan mutu dari tanah.

f. Grouting (*chemical and cementious*)

Grouting adalah proses penginjeksian bahan-bahan yang bersifat seperti cairan dan setelah waktu yang ditentukan bereaksi ke bentuk solid, semi solid atau gel.

g. Penggunaan *geosyntheticis* (*geotextile, geomembran, geogrid, dll*)

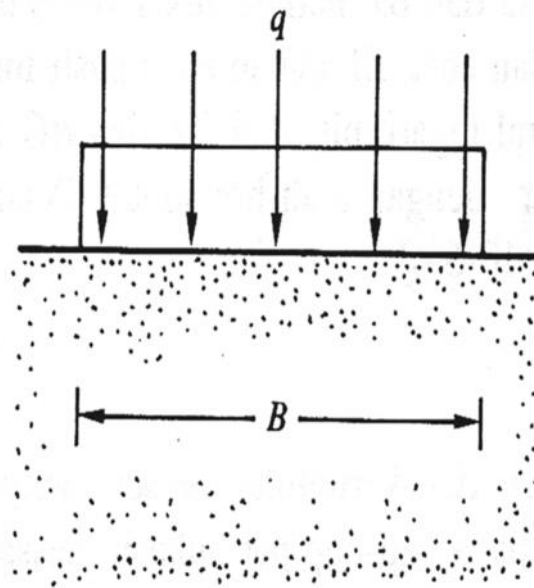
h. Trucuk bambu

Peningkatan daya dukung tanah menggunakan trucuk bambu umumnya digunakan pada daerah dengan muka air tinggi.

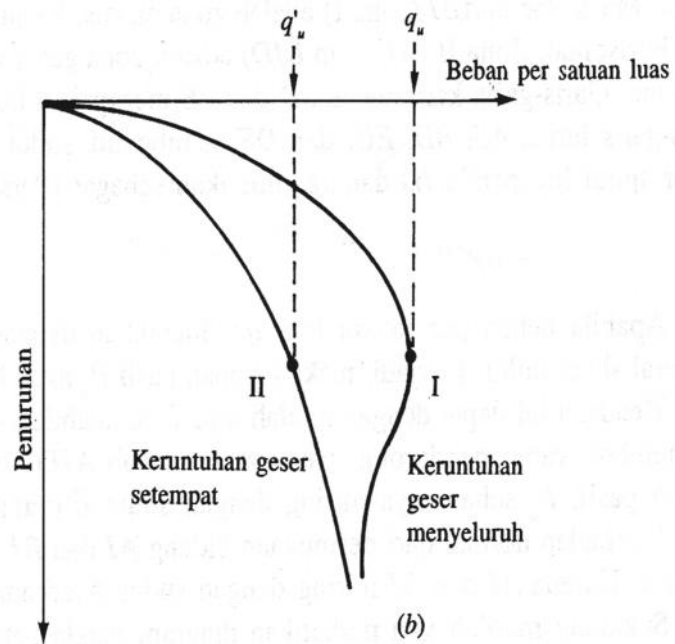
Untuk memahami konsep daya dukung batas suatu tanah, terlebih dahulu kita memahami konsep pola keruntuhan geser dalam tanah. Perhatikan model pondasi bentuk persegi yang memanjang dengan lebar B yang diletakkan pada permukaan lapisan tanah pasir padat/tanah yang kaku seperti terlihat pada Gambar 5 dengan asumsi apabila beban-beban terbagi rata q per satuan luas diletakkan diatas model pondasi, maka pondasi tadi akan turun. Apabila beban terbagi rata q tersebut ditambah, tentu saja penurunan pondasi yang bersangkutan akan bertambah pula. Tetapi, bila besar $q = q_u$ telah dicapai, maka keruntuhan daya dukung akan terjadi, yang berarti pondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban q lebih lanjut. Tanah disebelah kanan dan kiri pondasi akan menyembul dan bidang longsor akan mencapai permukaan tanah. Hubungan antara beban dan penurunan akan seperti pada Gambar 6. Untuk keadaan ini kita mendefinisikan q_u sebagai daya dukung batas tanah. Pola keruntuhan daya dukung seperti ini dinamakan keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*). Apabila pondasi turun karena suatu beban yang diletakkan diatasnya, maka suatu zona keruntuhan blok segitiga dari tanah zona I akan tertekan kebawah, dan selanjutnya tanah dalam zona I menekan zona II dan zona III kesamping dan kemudian ke atas terlihat pada Gambar 7. Pada beban batas q_u , tanah berada dalam keseimbangan plastis dan keruntuhan

terjadi dengan cara menggelincir. Apabila model pondasi yang kita jelaskan diatas kita letakkan dalam tanah pasir yang setengah padat, maka hubungan antara beban dan penurunan akan berbentuk seperti terlihat pada Gambar 6. Sementara itu, apabila harga $q = q_u$ maka hubungan antara beban dan penurunan menjadi curam dan lurus. Dalam keadaan ini q_u kita definisikan sebagai daya dukung batas dari tanah. Pola keruntuhan seperti ini dinamakan keruntuhan geser setempat (*local shear failure*). Zona keruntuhan blok segitiga zona I di bawah pondasi akan bergerak ke bawah seperti terlihat pada Gambar 8 tetapi tidak seperti keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*), bidang keruntuhan berakhir di suatu tempat di dalam tanah.

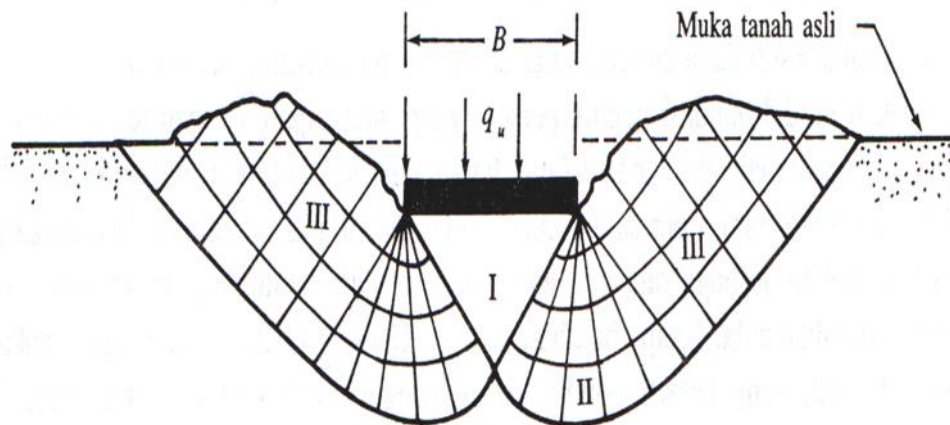
Keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*) merupakan karakteristik dari telapak pondasi yang sempit dengan kedalaman yang dangkal yang terletak pada tanah yang relatif padat dan relatif kuat yang relatif tidak kompresibel. Untuk tanah yang relatif lemah dan relatif kompresibel, dengan telapak yang relatif lebar dan relatif dalam, jenis keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser setempat (*local shear failure*).



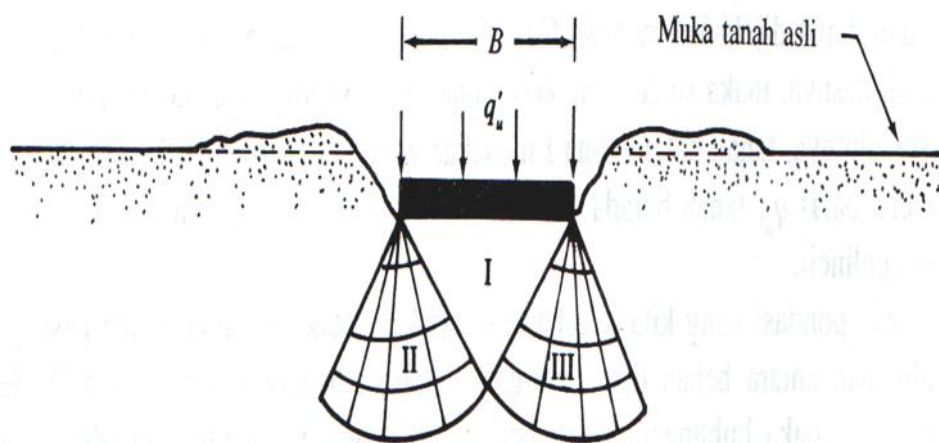
Gambar 5. Model pondasi.



Gambar 6. Grafik hubungan antara beban dan penurunan.



Gambar 7. Keruntuhan geser menyeluruh dari tanah dibawah pondasi.

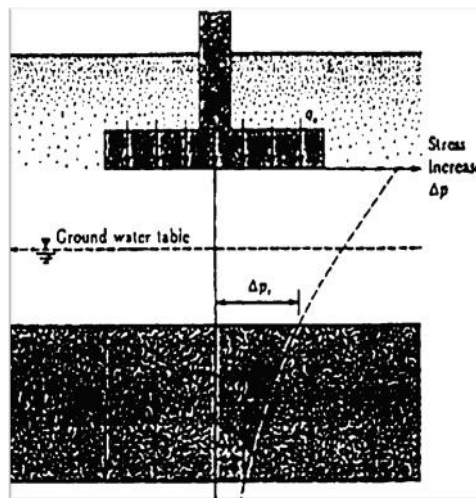


Gambar 8. Keruntuhan geser setempat dari tanah dibawah pondasi.

1. Penurunan konsolidasi/*consolidation settlement*

Jika suatu lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*), atau boleh dikatakan tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan dalam tanah. Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau tidak jenuh terjadi dengan segera sesudah beban bekerja, penurunan pada kondisi ini di sebut penurunan segera (*immideate settlement*).

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$) atau yang mendekati jenuh ($S_r = 90\% - 100\%$) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga $K = 10^{-6}$ m/s, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Penurunan konsolidasi (Sumber : Rekayasa Pondasi II, Penerbit Gunadharma, Hal. 49).

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

a. Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

(1) Tanah normal konsolidasi

(2) Tanah over konsolidasi

b. Penurunan konsolidasi sekunder

2. Konsep pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat berupa kombinasi dari beberapa beban yang terjadi secara bersamaan. Beban struktur dibedakan menjadi dua macam, yaitu gaya statis dan gaya dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan mempunyai karakter *steady states*. Sedangkan gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady states* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat.

Beberapa penyebab terjadinya penurunan akibat pembebanan yang bekerja di atas tanah antara lain :

- a. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah,
- b. Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi,
- c. Distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya,
- d. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

D. Daya Dukung Tanah Pasir

Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

Perancangan pondasi harus mempertimbangkan keruntuhan geser

dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu perlu dipenuhi dua kriteria, yaitu kriteria stabilitas dan kriteria penurunan.

Analisis kapasitas dukung, dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsep ini pertama kali dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), De Beer dan Vesic (1958), dan lain-lainnya.

1. Analisis kapasitas dukung

Terzaghi (1934), melakukan analisis kapasitas dukung tanah dengan beberapa asumsi, sebagai berikut :

- a. Pondasi berbentuk memanjang tak terhingga.
- b. Tanah di bawah dasar pondasi homogen.
- c. Berat tanah di atas dasar pondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar, $P_o = D_f \gamma$, dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi
- d. Tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diabaikan.
- e. Dasar pondasi kasar.
- f. Bidang keruntuhan terdiri dari lengkung spiral logaritmis dan linier.
- g. Baji tanah yang terbentuk di dasar pondasi dalam kedudukan

elastis dan bergerak bersama-sama dengan dasar pondasi.

- h. Pertemuan antara sisi baji dan dasar pondasi membentuk sudut sebesar sudut geser dalam tanah ϕ .

2. Kapasitas dukung ultimit

Menurut Terzaghi Kapasitas dukung ultimit (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (12)$$

Dimana :

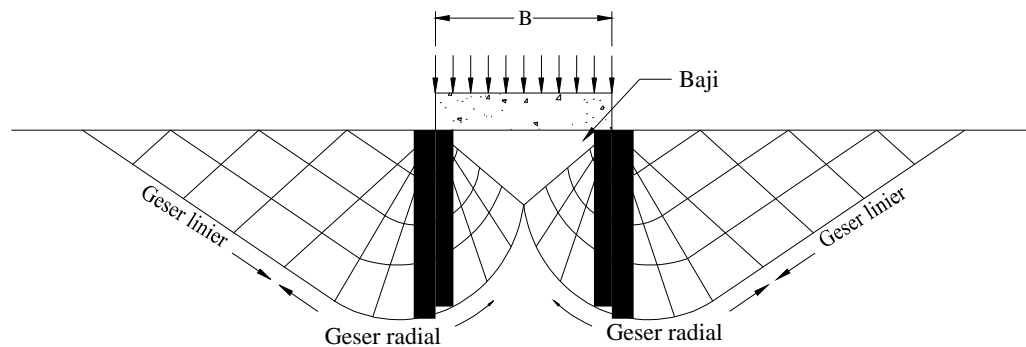
q_u = Kapasitas dukung ultimit

P_u = Beban ultimit

A = Luas pondasi

Analisis kapasitas dukung tanah, ditinjau suatu pondasi berbentuk memanjang tak terhingga, dengan lebar B terletak diatas tanah homogen dan dibebani dengan beban terbagi rata q_u terlihat pada Gambar 10 dimana beban total pondasi per satuan panjang adalah $P_u = q_u B$. Karena pengaruh beban P_u tersebut, pada tanah tepat dibawah pondasi akan berbentuk sebuah baji yang menekan tanah ke bawah. Gerakan baji memaksa tanah disekitarnya bergerak, yang menghasilkan zona geser di kanan dan kirinya dengan tiap-tiap zona terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian

geser radial yang berdekatan dengan baji dan bagian geser linear yang merupakan kelanjutan dari bagian geser radial. Hardiyatmo, H.C. (2002).



Gambar 10. Pembebanan pondasi dan bentuk bidang geser (Sumber : Hardiyatmo, H.C. 2002).

E. Portland Composite Cement (PCC)

Portland Composite Cement merupakan bubuk halus yang bila dicampur dengan air akan menjadi ikatan yang akan mengeras, karena terjadi reaksi kimia sehingga membentuk suatu massa yang kuat dan keras, yang disebut *hidroulic cement*. Perbandingan bahan utama dari semen menurut SNI dapat dilihat pada Tabel 4 dan pada Gambar 11.

Tabel 4. Perbandingan bahan utama semen.

Kapur (CaO)	60% - 65%
Silika (SiO_2)	20% - 25%
Oxida Besi dan Alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3)	7% - 12%

Sumber : Tabel Semen SNI 15-7064-2004

Semen digunakan pada tanah pasir, sementasi yang terjadi menyerupai proses pembuatan beton, namun perbedaannya pada

pembuatan beton pasta semen mengisi semua rongga sedangkan pada tanah pasir sementasi terjadi hanya pada titik-titik kontak antar butiran.

Beberapa pengaruh utama reaksi antara tanah dan semen adalah :

1. Kenaikan pada kekuatan dan bearing capacity tanah.
2. Menurunnya *swell* pada tanah lempung tetapi kecenderungan menyusut naik pada tanah pasir.
3. Perbaikan pada ketahanan terhadap lalu-lintas dan cuaca buruk.
4. Menurunnya permeabilitas.



Gambar 11. Portland composite cement.

F. Kolom Semen-Pasir (*Soil-Cement Columns*)

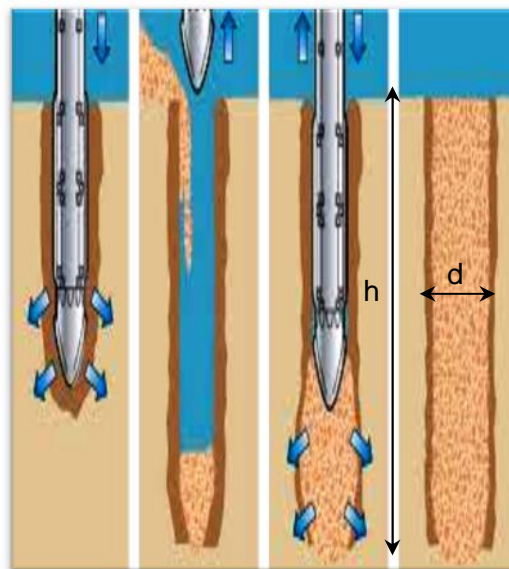
Pencampuran semen dengan air dan tanah, yang secara normal akan membentuk kolom semen-pasir *in situ*, sangat umum digunakan dalam metode perbaikan tanah lunak (*soft ground improvement*) e.g.,

Broms and Boman (1979), Bergado et al (1994). Dalam instalasi kolom semen-pasir, baik semen sluri (pencampuran basah) atau semen bubuk (pencampuran kering) akan diinjeksikan ke dalam tanah dibawah tekanan. Proses instalasi secara umum dilaksanakan dengan menggunakan peralatan rotary dengan kapasitas torsi tinggi. Semen tersebut secara kontinyu akan di injeksi dan secara mekanis akan tercampur dengan partikel tanah oleh alat khusus yang terpasang pada mesin rotary. Semen akan terhidrasi dan bereaksi terhadap partikel tanah dan akhirnya akan membentuk material *solid* yang biasanya secara signifikan lebih kaku dan kuat dari lapisan tanah asli.

Injeksi kolom semen-pasir pada tanah lempung lunak dapat mengurangi jumlah penurunan (*settlement*) yang ditimbulkan oleh beban tambahan Chai and Carter (2011). Ketika kolom terpenetrasi secara keseluruhan pada lapisan lunak tanah, metode *ekuilibrium* atau metode *modulus composite* terbatas dapat digunakan untuk menghitung besarnya penurunan pada perbaikan tanah seperti terlihat pada Gambar 12.

Instalasi kolom semen-pasir merupakan proses yang kompleks, dan walaupun dengan menggunakan analisa numerik, masih terdapat beberapa hambatan signifikan dalam mensimulasi proses keseluruhan Shen et. Al (1999). Mekanisme utama yang menyebabkan perpindahan lateral selama instalasi kolom adalah perluasan dan perekahan hidrolis dalam tanah yang disebabkan oleh injeksi tekanan dan penambahan material tambahan kedalam tanah Miura et al (1998). Dapat diasumsikan

bahwa perluasan terjadi disebabkan oleh instalasi kolom semen-pasir yang serupa dengan perluasan kavitas atau rongga. Metode analisis yang tersedia untuk menangani masalah ini hanya bisa ditangani dengan metode yang di usulkan oleh Chai et al (2005, 2007, 2009), yang dimana berdasarkan teori perluasan rongga.



Gambar 12. Sketsa kolom pasir semen.

G. Perbaikan Tanah Dengan Metode Grouting

Menurut *Bowles*, dalam bukunya yang berjudul "*Geotechnical Analysis*" (hal. 78), yang dimaksud dengan *Grouting* (sementasi) adalah proses dimana material-material cair, baik dalam bentuk suspensi ataupun larutan yang dimasukkan ke bawah permukaan tanah ataupun batu yang bertujuan untuk mengurangi permeabilitas (penyebaran), meningkatkan kekuatan geser, dan mengurangi kompresibilitas (penekanan).

Maksud dan tujuan *Grouting* adalah untuk menyuntikkan bahan berupa campuran semen atau bahan kimia lain dan air ke dalam lapisan tanah dengan tujuan untuk memperbaiki kekuatan dan daya dukung lapisan tanah di bawah pondasi, juga untuk menurunkan harga koefisien permeabilitas tanah sehingga pergerakan tanah dapat diatasi. Bahan suspensi *grouting* umumnya menggunakan material berupa : betonit, semen, kapur, aspal, serta bahan larutan lain berupa bahan kimiawi.

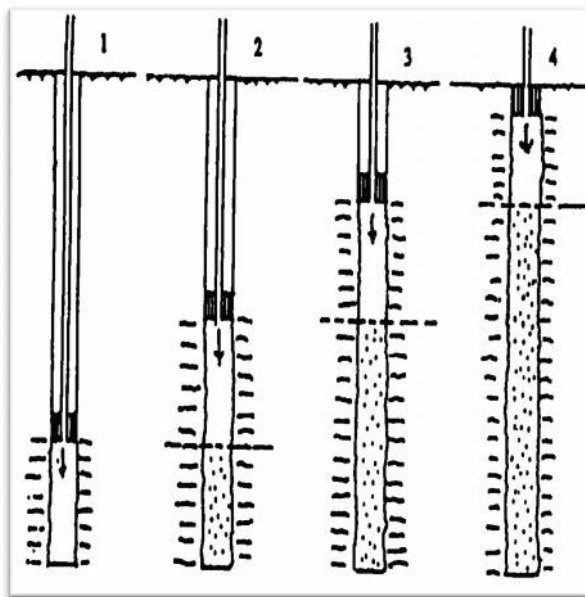
Berdasarkan cara pelaksanaannya, *grouting* dibagi menjadi 2 cara, yaitu : *grouting* dari bawah ke atas dan *grouting* dari atas ke bawah. Cara yang akan dipakai tergantung dengan keadaan geologi dari batuan yang dapat dilihat dari pengeboran (*boring log*), pengujian kelulusan air, dan pengujian (*test grouting*).

1. Grouting dari bawah ke atas (*packer grouting, ascending grouting, atau upstage grouting*).

Adapun tahapan pelaksanaan *grouting* dari bawah ke atas adalah :

- a. Lubang *grouting* dibor sampai mencapai kedalaman yang telah ditetapkan.
- b. Kemudian dipasang alat *packer* di dalam lubang bor. Alat *packer* digunakan untuk menutup lubang agar campuran semen tidak kembali ke atas dan dapat masuk ke tanah samping.
- c. Setelah *packer* dipasang maka *grouting* dapat dilaksanakan dengan tekanan yang cukup tinggi (bagian 1) terlihat pada Gambar 13.

- d. Sesudah selesai bagian pertama, *packer* ditarik ke atas kemudian *grouting* dilaksanakan lagi sehingga (bagian 2) penuh dengan pasta semen.
- e. Kemudian *packer* ditarik lagi dan dilakukan sementasi lagi sehingga seluruh bagian penuh terisi campuran semen (bagian 1,2,3, dan seterusnya). *Grouting* dilaksanakan setiap jarak 5 m, dengan maksud untuk mendapatkan hasil yang baik, dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grouting dari bawah ke atas (Sumber : Buku Teknik Bendungan, Ir. Sudibyo).

Keuntungannya :

- (1) Karena pengeboran dilakukan pada seluruh kedalaman, maka pelaksanaannya cepat.

- (2) Mengurangi kesulitan pemindahan dan pemasangan kembali mesin pengeboran.
- (3) Hasil pengeboran dapat diambil dan diteliti jenis batuaninya, dengan demikian dapat diperkirakan lebih tepat campuran dan tekanan *grouting*.
- (4) Lebih mudah mengadakan pemeriksaan terhadap rembesan yang keluar melalui celah-celah yang ada.

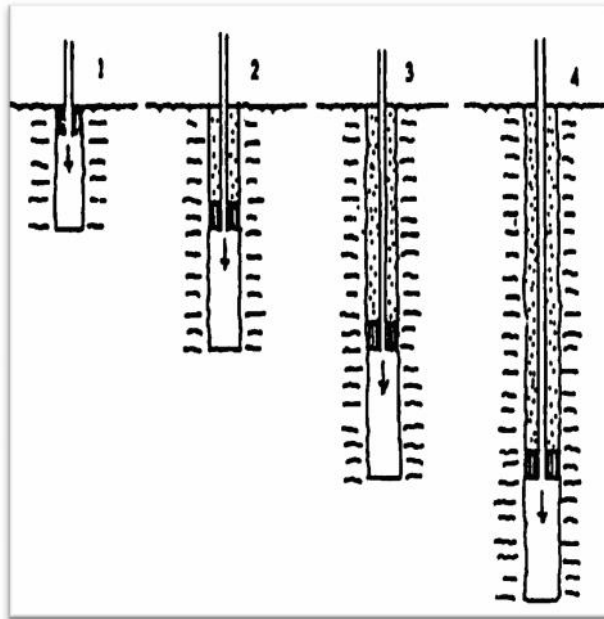
Kerugiannya :

Karena pelaksanaan *grouting* dari bawah, apabila terdapat banyak lubang di sebelah atas akan lebih sukar melaksanakannya.

2. Grouting dari atas ke bawah (*stage grouting, descending grouting, downstage grouting*)

Tahapan pelaksanaan *grouting* dari atas ke bawah adalah :

- a. Lubang *grouting* dibor lebih dulu setiap 5 m, kemudian diadakan pembersihan lubang dengan air sampai bersih. Setelah itu diadakan *grouting* sepanjang 5 m tadi sampai selesai. Setelah (bagian 1) selesai digrout, mesin pengeboran diletakkan di tempat semula, lalu diadakan pengeboran lagi (*redrilling*) sampai kedalaman 10 m.
- b. Pelaksanaan ini diulang kembali dari kedalaman 5 m sampai 10 m. Agar hasilnya baik, waktu setiap tahap pelaksanaan *grouting* sekurang-kurangnya 12 jam sehingga campurannya dapat mengeras, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14. *Grouting* dari atas ke bawah (Sumber : Buku Teknik Bendungan, Ir. Sudibyo).

Keuntungannya :

- (1) Peralatannya lebih sederhana karena tidak menggunakan alat *packer* sehingga tidak ada masalah jika rembesan melewati alat ini.
- (2) Tekanan *grouting* (sementasi) dapat dibuat lebih tinggi karena kebocoran di dalam batuan di atasnya telah diatasi.
- (3) Dihasilkan *grouting* yang baik dan efisien terutama untuk pondasi batuan yang lulus air.

Kerugiannya :

- (1) Karena mobilitas mesin pengeboran yang membutuhkan waktu yang sangat lama.

- (2) Dengan adanya pemindahan dan pemasangan kembali mesin pengeboran serta membutuhkan waktu yang lama menyebabkan biaya yang relatif lebih mahal karena pekerjaannya lebih dari 1 kali.

H. Matriks Penelitian Terdahulu

Untuk dapat mendukung penelitian ini digunakan referensi sebagai pendukung. Diantara penelitian yang relevan dengan penelitian ini yang pernah dilakukan adalah :

Agus Setyo Muntohar, Anita Widianti, Willis Diana, Edi Hartono, dan Ekrar Oktoviar (2008), Aplikasi Teknik Kolom-Semen (*Cement-Column*) Pada Tanah Berpasir. Hasil penelitiannya, Teknik *grouting* dan *deep mixing* adalah teknik yang lebih efektif mengurangi likuifaksi. Pada naskah ini akan disajikan hasil kajian laboratorium tentang pengaruh penggunaan teknik kolom-semen terhadap kekuatan tanah di sekitar kolom-semen. Kolom-semen dibuat dalam skala model laboratorium dengan diameter 0,051 m (2 inch) dan panjang 0,22 m (8 inch) pada media tanah pasir berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,0 m untuk panjang, lebar dan tinggi. Kekuatan tanah di sekitar kolom diukur pada arah radial dan vertikal dengan alat uji sondir konus ganda (*biconus CPT*) yang diuji pada umur kolom-semen 1, 3 dan 7 hari setelah pemasangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tanah baik perlawanan ujung (q_c) dan perlawanan gesek (q_s) di sekitar kolom-semen meningkat setelah pemasangan kolom-semen. Kekuatan tanah berkurang jika jaraknya

semakin jauh dari kolom-semen. Kekuatan tanah juga meningkat dengan bertambahnya umur kolom-semen. Secara umum dapat dikatakan bahwa pemasangan kolom-semen telah mampu meningkatkan kekuatan tanah di sekitarnya baik pada arah radial maupun vertikal. Peningkatan kekuatan ini merupakan indikasi berkurangnya resiko likuifaksi pada tanah berpasir.

F. Rackwitz dan M. Schubler (2010), *Model test on granular soil columns for ground improvement of very soft soil*. Hasil penelitiannya menggunakan *granular column* yang pasang di dalam tanah organik sebagai perkuatan tanah dengan menggunakan uji model laboratorium dengan beban vertikal. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kuat geser, deformasi vertikal, tekanan air pori dan tekan tanah sebelum dan sesudah pemasangan *granular column* dilaksanakan. Hasil pengujian didapat perbandingan regangan vertikal yang diukur dengan tes oedometer pada tegangan 25 kPa, tanpa menggunakan granular column sebesar 35 % dan dengan menggunakan granular column sebesar 17,5 % dan penurunan yang terjadi sebesar 50 %. Sebagian besar penurunan terjadi pada kedalaman 2,5 kali diameter kolom. Dengan adanya *granular column* beban yang diberikan dapat meningkatkan kekuatan tanah organik.

Heru Dwi Jatmoko (2012), *Confining Pressure Tiang Meruncing Pada Tanah Lempung Dengan Variasi Overburden*. Hasil penelitiannya, Keruncingan tiang adalah parameter yang belum banyak dipelajari terhadap peningkatan kapasitas dukungnya. Perilaku distribusi gaya yang

terjadi disepanjang tiang merupakan satu hal yang penting. Penelitian dilakukan dengan tiang berukuran kecil berbentuk meruncing dan seragam sebagai pembanding. Ukuran tiang meruncing diameter atas 5 cm dan bawah 4 cm sedang untuk tiang seragam berdiameter luar 4,5 cm masing-masing dengan panjang efektif 20 cm serta ketebalan tiang 0,3 cm. Sebagai batasan tanah uji pengujian dilakukan di dalam *mould* dengan diameter 30 cm. Untuk mengetahui perilaku distribusi gaya maka dipasang *strain gauge* pada tiang dan *mould* dengan 3 posisi. Media tanah digunakan tanah asli, lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (CH) yang diambil dari Desa Kedung Sari, Sentolo, Kulonprogo, DIY, yang dijenuhkan pada berat volume kering, $\gamma_d = 10,9 \text{ kN/m}^3$ dan kadar air, $w = 52\%$. Untuk mengkondisikan kedalaman tiang tanah diberikan tekanan vertikal, σ_v sebesar 163 kN/m², 326 kN/m² dan 489 kN/m². Setelah tiang diposisikan dan tanah dimasukkan dalam *mould* pengujian geser dilakukan sampai runtuh. Analisa dilakukan tentang perilaku distribusi gaya dan *displacement* hasil pengujian menunjukkan dengan bertambahnya tahanan vertikal, *confining pressure* akan naik, pada tiang seragam diperoleh tahanan *confining pressure* lebih besar dari tiang meruncing. Saat uji geser (P) akan terjadi peningkatan *confining pressure*, walaupun pada awalnya *confining pressure* pada tiang meruncing lebih kecil namun dengan bertambahnya gaya gesek (P) akan terjadi peningkatan lebih besar sehingga melebihi *confining pressure* pada tiang seragam, hal ini terjadi karena proses pemampatan akibat keruncingan tiang.

Prof. Dr. Ir. Lawalenna Samang, MS.,M.Eng., Dr.Eng. Tri harianto, ST.,MT. dan Ir. Achmad Zubair, MT (2010), Efektifitas Pondasi *Raft* dan *Pile* Dalam Mereduksi Penurunan Tanah Dengan Metode Numerik. Desain pondasi *Raft* dan *Pile* diperkenalkan dalam studi ini untuk mereduksi penurunan tanah. Metode Elemen Hingga digunakan untuk menginvestigasi efektifitas dari pondasi raft dan pile mereduksi penurunan tanah khususnya pada jalan raya yang dibangun didaerah rawa. Selanjutnya, model numerik digunakan dalam mempelajari pengaruh dari tipe dan kedalaman pondasi yang dipasang dilapangan. Penurunan dan deformasi tanah dianalisa dalam penelitian ini untuk menentukan efektifitas dan kemungkinan aplikasi dari model pondasi ini dilapangan. Hasil dari metode elemen hingga yang digunakan menunjukkan bahwa tipe pondasi *raft* dan *pile* secara signifikan menurunkan besarnya penurunan dari badan jalan akibat beban permukaan. Deformasi yang terjadi pada badan jalan tanpa pekuatan mencapai 0,553 m sedangkan dengan perkuatan 3 m dan 5 m masing masing sebesar 0,246 m dan 0,225 m.

Suherman, M (2004), Metode kolom *grouting* untuk mengatasi likuifaksi tanah di bawah pondasi. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa *grouting* merupakan suntikan bahan cair ke dalam rongga-rongga tanah atau ruang antara tanah dengan bangunan di dekatnya, biasanya dilakukan melalui lobang bor dan diberi tekanan. Kebanyakan *grouting* didesain untuk memperoleh perubahan sifat tanah dengan secara

serentak atau melalui jangka waktu, setelah dilakukan injeksi. Tujuan utama dari teknik *grouting* adalah untuk mendapatkan yang lebih kuat, lebih padat, dan kurang permeabel pada tanah atau batuan. *Grouting* terhadap tanah pondasi dimaksudkan untuk menambah stabilitas dan mereduksi kompresibilitas baik bersifat permanen maupun sementara. Tanah non kohesif dengan gradasi tidak lebih halus dari pasir medium, pemberian semen *grouting* sering dilakukan dengan menggunakan tekanan rendah.

Tandel Y.K, Solanki C.H dan Desai A.K (2012), *Reinforced Granular Column For Deep Soil Stabilization*. Dalam penelitian ini *granular column* dibungkus dengan *geosynthetic* dan dipasang pada tanah yang dalam yang akan distabilisasikan. Dari hasil pengujian ini didapat *granular column* yang berdiameter kecil lebih baik dibandingkan dengan yang berdiameter besar karena tekanan dalam *column* berdiameter kecil lebih rendah, kapasitas beban *ultimit column* meningkat seiring peningkatan kekakuannya, *granular column* yang dibungkus dengan *geosynthetic* dapat mengurangi penurunan hingga 50 % dari tanah tanah yang tidak menggunakan perkuatan *granular column*, kapasitas beban *ultimit granular column* yang diperkuat *geosynthetic* dapat meningkat 2 sampai 3 kali dari yang tanpa perkuatan granular column dan analisis teoritis serta hasil uji model menghasilkan bahwa *granular column* yang terbungkus *geosynthetic* efisien untuk perbaikan tanah lunak.

Tabel 5. Hasil penelitian tentang kolom pasir grouting.

Nama		Judul	Hasil	Keterangan
Agus Muntohar, Widianti, Diana, Hartono, Ekrar (2008).	Setyo Anita Willis Edi dan Oktoviar	Aplikasi Teknik Kolom-Semen (<i>Cement-Column</i>) Pada Tanah Berpasir.	Kolom-semen dibuat dalam skala model laboratorium dengan diameter 0,051 m (2 inch) dan panjang 0,22 m (8 inch) pada media tanah pasir berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,0 m untuk panjang, lebar dan tinggi. Kekuatan tanah di sekitar kolom diukur pada arah radial dan vertikal dengan alat uji sondir konus ganda (<i>Biconus CPT</i>) yang diuji pada umur kolom-semen 1, 3 dan 7 hari setelah pemasangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tanah baik perlawanan ujung (q_c) dan perlawanan gesek (q_r) di sekitar kolom-semen meningkat setelah pemasangan kolom-semen. Kekuatan tanah berkurang jika jaraknya semakin jauh dari kolom-semen. Kekuatan tanah juga meningkat dengan bertambahnya umur kolom-semen.	Teknik grouting dan <i>deep mixing</i> adalah teknik yang lebih efektif mengurangi likuifaksi. Pada naskah ini akan disajikan hasil kajian laboratorium tentang pengaruh penggunaan teknik kolom-semen terhadap kekuatan tanah di sekitar kolom-semen.

Lanjutan Tabel 5.

Nama	Judul	Hasil	Keterangan
F. Rackwitz dan M. Schubler (2010).	<i>Model test on granular soil columns for ground improvement of very soft soil.</i>	Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kuat geser, deformasi vertikal, tekanan air pori dan tekan tanah sebelum dan sesudah pemasangan <i>granular column</i> dilaksanakan. Hasil pengujian didapat perbandingan regangan vertikal yang diukur dengan tes oedometer pada tegangan 25 kPa, tanpa menggunakan <i>granular column</i> sebesar 35 % dan dengan menggunakan <i>granular column</i> sebesar 17,5 % dan penurunan yang terjadi sebesar 50 %. Sebagian besar penurun terjadi pada kedalam 2,5 kali diameter kolom. Dengan adanya <i>granular column</i> beban yang diberikan dapat meningkatkan kekuatan tanah organik.	Penelitiannya menggunakan <i>granular column</i> yang pasang di dalam tanah organik sebagai perkuatan tanah dengan menggunakan uji model labolatorium dengan beban vertikal.

Lanjutan Tabel 5.

Nama	Judul	Hasil	Keterangan
Heru Dwi Jatmoko (2012).	<i>Confining Pressure</i> Tiang Meruncing Pada Tanah Lempung Dengan Variasi <i>Overburden</i>	<p>Penelitian dilakukan dengan tiang berukuran kecil berbentuk meruncing dan seragam sebagai pembanding. Ukuran tiang meruncing diameter atas 5 cm dan bawah 4 cm sedang untuk tiang seragam berdiameter luar 4,5 cm masing-masing dengan panjang efektif 20 cm serta ketebalan tiang 0,3 cm. Sebagai batasan tanah uji pengujian dilakukan di dalam <i>mould</i> dengan diameter 30 cm. Untuk mengetahui perilaku distribusi gaya maka dipasang <i>strain gauge</i> pada tiang dan <i>mould</i> dengan 3 posisi. Media tanah digunakan tanah asli, lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (CH) yang diambil dari Desa Kedung Sari, Sentolo, Kulonprogo, DIY, yang dijenuhkan pada berat volume kering, $\gamma_d = 10,9 \text{ kN/m}^3$ dan kadar air, $w = 52\%$. Untuk mengkondisikan kedalaman tiang tanah diberikan tekanan vertikal, σ_v sebesar 163 kN/m², 326 kN/m² dan 489 kN/m². Setelah tiang diposisikan dan tanah dimasukkan dalam <i>mould</i> pengujian geser dilakukan sampai runtuh. Analisa dilakukan tentang perilaku distribusi gaya dan <i>displacement</i> hasil pengujian menunjukkan dengan bertambahnya tahanan vertikal, <i>confining pressure</i> akan naik, pada tiang seragam diperoleh tekanan <i>confining pressure</i> lebih besar dari tiang meruncing.</p>	<p>Penelitiannya, Keruncingan tiang adalah parameter yang belum banyak dipelajari terhadap peningkatan kapasitas dukungnya. Perilaku distribusi gaya yang terjadi disepanjang tiang merupakan satu hal yang penting.</p>

Lanjutan Tabel 5.

Nama	Judul	Hasil	Keterangan
Prof. Dr. Ir. Lawalenna Samang, MS.,M.Eng., Dr.Eng. Tri Harianto, ST.,MT. dan Ir. Achmad Zubair, MT (2010).	Efektifitas Pondasi <i>Raft</i> dan <i>Pile</i> Dalam Mereduksi Penurunan Tanah Dengan Metode Numerik	Hasil dari metode elemen hingga yang digunakan menunjukkan bahwa tipe pondasi <i>raft</i> dan <i>pile</i> secara signifikan menurunkan besarnya penurunan dari badan jalan akibat beban permukaan. Deformasi yang terjadi pada badan jalan tanpa pekuatan mencapai 0,553 m sedangkan dengan pekuatan 3 m dan 5 m masing masing sebesar 0,246 m dan 0,225 m.	Desain pondasi <i>Raft</i> dan <i>Pile</i> diperkenalkan dalam studi ini untuk mereduksi penurunan tanah. Metode Elemen Hingga digunakan untuk menginvestigasi efektifitas dari pondasi <i>raft</i> dan <i>pile</i> mereduksi penurunan tanah khususnya pada jalan raya yang dibangun didaerah rawa.

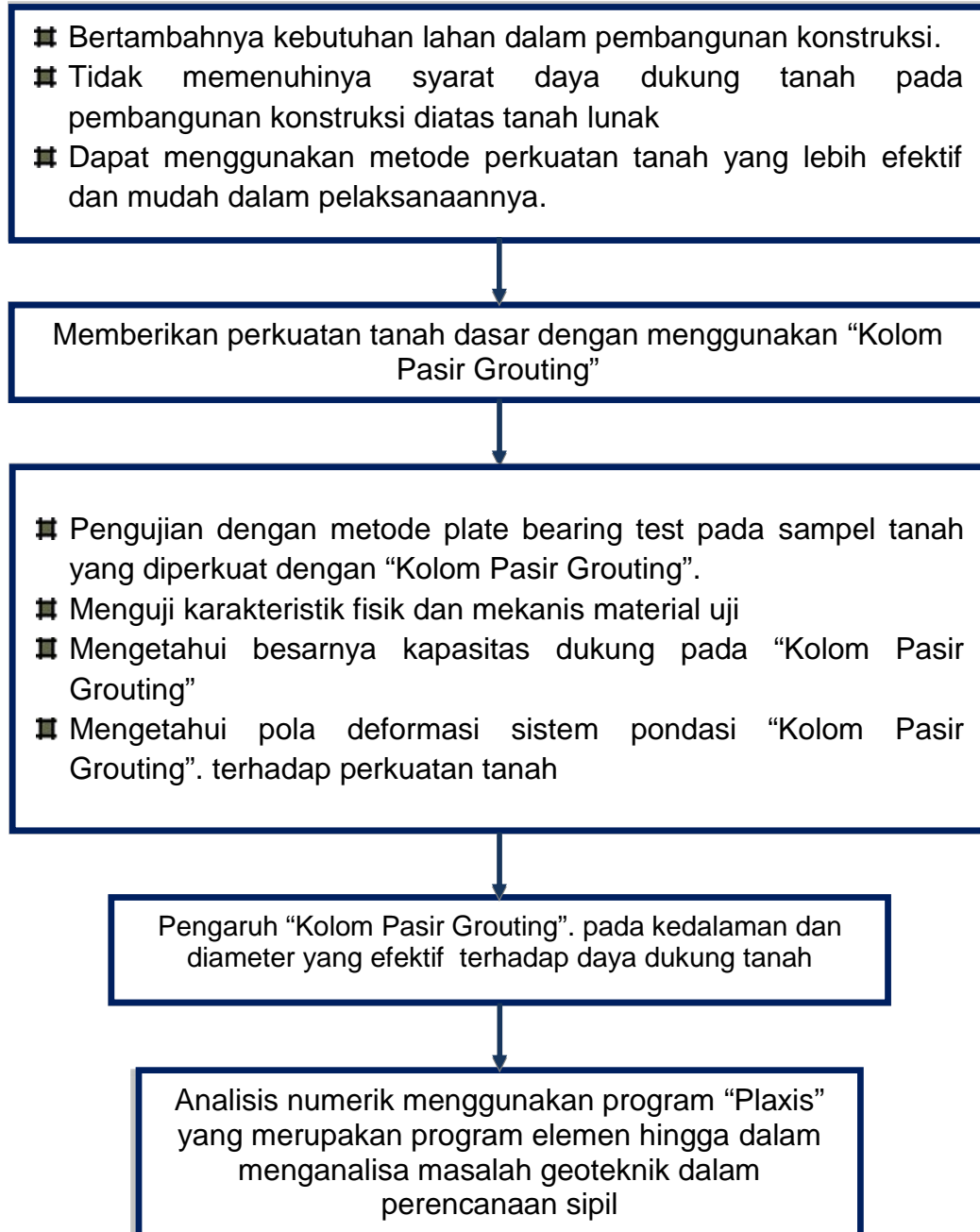
Lanjutan Tabel 5.

Nama	Judul	Hasil	Keterangan
Suherman (2004).	M. Metode <i>grouting</i> untuk mengatasi likuifaksi tanah di bawah pondasi.	Kebanyakan <i>grouting</i> didesain untuk memperoleh perubahan sifat tanah dengan secara serentak atau melalui jangka waktu, setelah dilakukan injeksi. Tujuan utama dari teknik <i>grouting</i> adalah untuk mendapatkan yang lebih kuat, lebih padat, dan kurang <i>permeabel</i> pada tanah atau batuan. <i>Grouting</i> terhadap tanah pondasi dimaksudkan untuk menambah stabilitas dan mereduksi kompresibilitas baik bersifat permanen maupun sementara. Tanah non kohesif dengan gradasi tidak lebih halus dari pasir medium, pemberian semen <i>grouting</i> sering dilakukan dengan menggunakan tekanan rendah.	Penelitiannya menyatakan bahwa <i>grouting</i> merupakan suntikan bahan cair ke dalam rongga-rongga tanah atau ruang antara tanah dengan bangunan di dekatnya, biasanya dilakukan melalui lobang bor dan diberi tekanan

Lanjutan Tabel 5.

Nama	Judul	Hasil	Keterangan
Tandel Y.K, Solanki C.H dan Desai A.K (2012).	<i>Reinforced Granular Column For Deep Soil Stabilization.</i>	Dari hasil pengujian ini didapat <i>granular column</i> yang berdiameter kecil lebih baik dibandingkan dengan yang berdiameter besar karena tekana dalam <i>column</i> berdiameter kecil lebih rendah, kapasitas beban ultimit <i>column</i> meningkat seiring peningkatan kekakuannya, granular column yang dibungkus dengan <i>geosynthetic</i> dapat mengurangi penurunan hingga 50 % dari tanah tanah yang tidak menggunakan perkuatan <i>granular column</i> , kapasitas beban ultimit granular column yang diperkuat <i>geosynthetic</i> dapat meningkat 2 sampai 3 kali dari yang tanpa perkuatan granular column dan analisis teoritis serta hasil uji model menghasilkan bahwa <i>granular column</i> yang terbungkus <i>geosynthetic</i> efisien untuk perbaikan tanah lunak.	Penelitian ini <i>granular column</i> dibungkus dengan <i>geosynthetic</i> dan dipasang pada tanah yang dalam yang akan distabilisasikan.

I. Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 15. Kerangka konsep penelitian.