



## LAPORAN PENELITIAN

### PARAMETER TANAH KOMPOSIT DARI MODEL KOLOM TANAH SEMEN PADA LAPISAN TANAH DASAR *DOUBLE* *TRACK* KERETA API DI ATAS TANAH LEMPUNG LUNAK

Disusun Oleh:

**DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc (Team Leader- ISTN)**

**Prof. (madya) DR. Samira Albati Kamarudin ( UTM-Kuala Lumpur)**

**Prof. Ir. DR. Ramli Nazir (UTM- Johor Bahru)**

**Ir. Antonius Setiawan M.BA (Ph.D Candidate UTM- PT.BPI)**

**Ir. Yuama I Basarah Ph.D (PT. BAUER Pratama Indonesia)**

**Ir. Wawan Kusmaya MT (Dosen S-1- ISTN)**

**Marco Ibrahim ST (Mahasiswa Magister Teknik Sipil ISTN)**

**Randityo Suryoputro Widiutomo ST (PT. BAUER Pratama Indonesia)**

### KERJASAMA PENELITIAN ANTARA

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM-ISTN)**

**Dengan**

**Universiti Teknologi Malaysia (UTM)**

**Dan**

**PT. BAUER PRATAMA INDONESIA (PT.BPI)**

**FEBRUARI 2024**

## DAFTAR ISI

<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>7</b>
1.1 Pendahuluan .....	7
1.2 Latar Belakang Penelitian.....	7
1.3 Pernyataan Masalah.....	11
1.4 Tujuan dan Objektif Penelitian.....	12
1.5 Lingkup Penelitian.....	13
1.6 Kepentingan Penelitian.....	15
1.7 Pengaturan Penelitian .....	16
<b>BAB 2 PENELITIAN LITERATUR.....</b>	<b>18</b>
2.1 Pendahuluan .....	8
2.2 Tiang inklusi ( <i>Rigid Inclusion</i> ).....	221
2.2.1 Konsep Tiang inklusi .....	221
2.2.2 Pindah Beban ke Kepala Kemasukan .....	22
2.3 Tekanan dan Beban Pada Kolom.....	23
2.4 Kekuatan Geser Kolom .....	25
2.5 Parameter Tanah Komposit .....	26
2.6 Corak Pemasangan Campuran Tanah Dalam .....	29
2.7 Penentuan Faktor Kasus keamanan lereng dan Tambak Dengan Metode Unsur Berhingga .....	30
2.8 Gap Penyelidikan.....	332
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>43</b>
3.1 Pendahuluan .....	
3.2 Rekayasa dan Diagram Alir Penelitian.....	43
3.3 Penguji Lapangan .....	45
3.3.1 Penguji Tanah.....	46
3.3.1 Topografi Lokasi.....	46
3.4 Model Sampel Persampelan Uji Triaxial dan Uji Oedometer .....	46

3.5	Uji Laboratorium Mekanika Tanah .....	48
3.5.1	Uji Sifat-Sifat Indek Lempung Kroya .....	48
3.5.2	Uji Triaxial Unconsolidated Undrained .....	50
3.5.3	Uji Konsolidasi ( <i>Konsolidasi Test</i> ) .....	50
3.5.4	Model Sampel Kolom Kolom-Semen.....	50
3.5.5	Proses Perawatan Uji Sampel Triaxial, Geser Langsung dan Sampel Uji Konsolidasi di Laboratorium Mekanika Tanah.....	54
3.6	Tabel Uji di Laboratorium Mekanika Tanah .....	56
3.7	Uji Kimia, Uji Mineral dan Pengimbasan Mikrolingkup Elektron (SEM) ....	61
3.8	Hasil uji Laboratorium .....	61
3.9	Jenis dan Lokasi Laboratorium Penguji .....	64
<b>BAB 4 KEPUTUSAN PENELITIAN LEMPUNG LUNAK DENGAN KANDUNGAN SEMEN .....</b>		<b>66</b>
4.1	Pendahuluan .....	66
4.2	Keputusan Uji Lapangan .....	67
4.2.1	Penelitian Geologi Kawasan.....	68
4.2.2	Uji Galian.....	69
4.2.3	Pengerudian Teras.....	70
4.2.4	Penusukan Piawai (SPT).....	73
4.2.5	Uji Sondir.....	74
4.3	Uji Awal Di Laboratorium.....	75
4.3.1	Sifat-sifat Indeks .....	78
4.3.2	Sifat Fisik.....	78
4.3.3	Sifat Mekanikal Dengan Uji Triaxial UU .....	78
<b>4.4 Perubahan Sifat-Sifat Indeks Lempung Lunak Akibat Penambahan Semen.....</b>		<b>80</b>
4.4.1	Perubahan Batas atterberg Akibat Penambahan Semen .....	80
4.4.2	Perubahan Specifik gravity (Gs) Akibat Penambahan Semen.....	82
4.5	Kekuatan Geser Lempung Kroya Dengan Semen.....	83

4.5.1	Kekuatan Geser Semula Jadi Lempung Kroya .....	83
4.5.2	Rasio Kekuatan Geser, Kekuatan Geser dan Modulus Anjal Lempung Kroya Dengan Tambahan Variasi Semen.....	83
4.6	Unit Berat Pukal Komposit ( $\gamma_{comp}$ ) dan Kandungan Air Komposit ( $w_{comp}$ ) Pada Sampel Kolom Semen Tanah.....	87
4.6.1	Unit Berat Pukal Komposit ( $\gamma_{comp}$ ) Pada Uji Triaxial Model Sampel Kolom Semen Tanah.....	88
4.6.2	Kandungan Air Komposit ( $w_{comp}$ ) Pada Uji Triaxial Model Sampel Kolom Semen Tanah.....	90
4.7	Keputusan Penelitian Lempung Lunak Kroya Dengan Semen Sebagai Bahan Penambahbaikan.....	92
<b>BAB 5 HASIL PENELITIAN RASIO KEKUATAN GESER MODEL SAMPEL KOLOM SEMEN TANAH.....</b>		<b>95</b>
5.1	Pendahuluan .....	66
5.2	Rasio Kekuatan Geser Pada Model Sampel Kolom Semen Tanah .....	95
5.2.1	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Melalui Triaxial Test Untuk Perawatan 7 Hari .....	95
5.2.2	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial Test Masa Perawatan 28 Hari .....	98
5.2.3	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial Test Masa Perawatan 56 Hari .....	101
5.2.4	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung Masa Perawatan 7 Hari.....	104
5.2.5	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung Masa Perawatan 28 Hari.....	106
5.2.6	Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung Masa Perawatan 56 Hari.....	109
5.3	Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dengan Variasi Kandungan Semen .....	111

5.3.1 Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dari Triaxial Test .....	112
5.3.2 Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dari Uji Geser Langsung .....	114
5.4 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser .....	117
5.4.1 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser Kolom Semen Tanah Variasi Kandungan Semen Dan Masa Perawatan Dengan Triaxial Test.....	118
5.4.2 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser Kolom Semen Tanah (SSC) Terhadap Kandungan Semen Dan Masa Perawatan Dengan Uji Geser Langsung.....	120
<b>BAB 6 HASIL PENELITIAN FAKTOR KEKUATAN GESER KOMPOSIT MODEL KOLOM SEMEN TANAH .....</b>	
<b>MODEL KOLOM SEMEN TANAH .....</b>	<b>123</b>
6.1 Pendahuluan .....	123
6.2 Kekuatan Geser Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Triaxial Test	123
6.2.1 Kohesi Komposit Dari Model Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial Test.....	123
6.2.2 Prosentase Perubahan Kohesi Komposit Model Kolom Tanah Semen Dengan Triaxial Test.....	136
6.2.3 Sudut Geser Dalam Komposit Dari Model Kolom Semen Tanah Melalui Triaxial Test .....	137
6.2.4 Prosentase Perubahan Sudut Geser Dalam Komposit Model Kolom Tanah Semen Dengan Triaxial Test .....	150
6.3 Kekuatan Geser Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Uji Geser Langsung .....	152
6.3.1 Kohesi Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Uji Geser Langsung	152
6.3.2 Prosentase Perubahan Kohesi Komposit Model Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung.....	167
6.3.3 Sudut Geser Dalam Komposit Kolom Semen Tanah Dari Uji Geser Langsung Model Kolom Semen Tanah.....	169

6.3.4	Prosentase Perubahan Sudut Geser Dalam Komposit Model Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung .....	181
6.4	Modulus Elastisitas Komposit Model Kolom Semen Lempung Lembut Kroya.....	182
6.4.1	Modulus Elastisitas Initial Komposit ( $E_{i\ c}$ ) .....	183
6.4.2	Modulus Elastisitas Sekan Komposit ( $E_{s\ comp}$ ).....	183
<b>BAB 7 KORELASI PARAMETER LEMPUNG LEMBUT DENGAN PARAMETER LEMPUNG KOMPOSIT DALAM KESTABILAN PENAMBAHBAIKAN CERUN.....</b>		<b>194</b>
7.1	Pendahuluan .....	1664
7.2	Korelasi Kekuatan Geser Komposit .....	194
7.2.1	Korelasi Kohesi Komposit.....	194
7.2.2	Korelasi Sudut Geser Dalam Komposit.....	196
7.3	Korelasi Modulus Elastisitas Komposit ( $E_{comp}$ ) .....	197
7.3.1	Korelasi Modulus Elastisitas Initial Komposit ( $E_{i\ comp}$ ).....	198
7.3.2	Korelasi Modulus Elastisitas Sekan Komposit ( $E_{s\ comp}$ ) .....	199
<b>BAB 8 KESIMPULAN .....</b>		<b>197</b>
8.1	Kesimpulan Penelitian Rasio Kekuatan Geser .....	201
8.2	Kesimpulan Kekuatan Geser Komposit Dan Modulus Komposit.....	203
8.3	Hasil Penelitian Korelasi Parameter Kekuatan Geser Komposit Dan Modulus Ekastisitas Komposit .....	207
<b>REFERENSI .....</b>		<b>210</b>

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pendahuluan**

Perbaikan tanah (*ground improvement*) adalah suatu rekayasa dalam geoteknik yang secara umum adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tanah asli, sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang utama dalam rekayasa perencanaan seperti daya tampung atau kestabilan, penurunan dan lainnya. Perencanaan timbunan untuk keperluan badan jalan di atas tanah lunak yang cukup tebal akan menimbulkan persoalan kestabilan dan penurunan yang cukup bermasalah bila tidak dilakukan perbaikan tanah.

Perbaikan tanah telah menjadi ilmu dan seni, dengan perkembangan yang signifikan diperhatikan melalui sejarah purba. Dari penggunaan jerami sebagai pengisi campuran dengan tanah untuk kekuatan tambahan selama peradaban Roma kuno, dan penggunaan gajah untuk pemadatan bendungan selama peradaban Asia awal, konsep perkuatan tanah dengan geosintetik, penggunaan elektrokinetik dan modifikasi termal tanah telah berkembang pesat. Penggunaan kolom batu besar dan kaku dan saluran pasir berikutnya pada masa lalu kini telah diganti dengan saluran vertikal prefabrikasi yang lebih cepat dipasang dan lebih efektif, yang juga telah menghilangkan keperluan akan metode perbaikan tanah yang lebih mahal (Buddhima, 2005).

#### **1.2 Latar Belakang Penelitian**

Julur keretapi *double track* antara Purwokerto-Kroya sepanjang sekitar 27 kilometer mulai dilaksanakan pembangunannya secara sebagian dan bertahap oleh

Unit Kerja *Double Track* Cirebon-Kroya, Direktorat Jenderal Keretapi Kementerian Perhubungan. Timbunan badan jalan rel double track dari KM 349+954 di Purwokerto hingga KM 377+122 di Kroya tersebut mulai dikerjakan sejak Desember 2015 (Bauer Pratama Indonesia, 2016). Timbunan badan jalan rel yang baru dibuat di sisi jalur KA sedia ada dan diketahui berada di jalur tanah lunak. Pekerjaan ini meliputi penggalian, pengurangan, pemadatan tanah, dan perbaikan atau perkuatan tanah. Lokasi pekerjaan dapat dilihat di dalam Gambar 1.1.



Gambar 1-1 Lokasi Pekerjaan Pembuatan Timbunan Badan Jalan Rel Jalur KA Antara Purwokerto Dan Kroya (Promisco, 2016)

Keadaan lapisan tanah dasar lapangan double track tersebut merupakan lapisan lempung lunak yang memiliki kekuatan geser yang rendah dan kompresibilitas tanah yang tinggi. Dari titik-titik penyelidikan tanah yang dilakukan pada lapangan double track seperti di dalam Gambar 1.2 didapati hasil *Standard Penetration Test* (N-SPT) seperti pada Tabel 1.1, dan lapisan stratigrafi pada lapangan dapat dilihat pada Gambar 1.3.



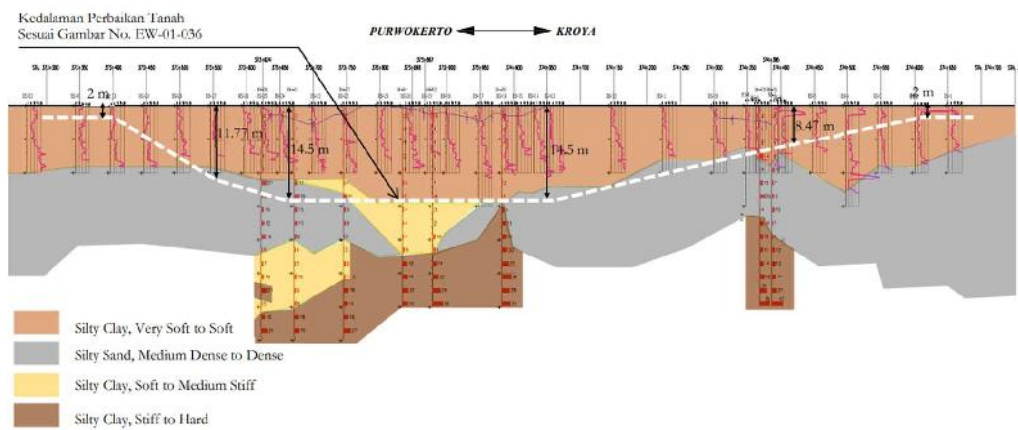
Tabel 1-1 Hasil N-SPT pada 8 titik bor dalam (Bauer Pratama Indonesia, 2016)

Kedalaman	N - SPT							
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06	BH-07	BH-08
1.55	2	2	6	2	2	2	2	6
3.55	1	1	1	1	1	1	1	1
5.55	1	2	1	1	1	1	2	1
7.55	1	14	1	2	1	1	1	1
9.55	11	4	1	1	1	1	1	1
11.55	7	12	1	4	14	21	4	1
13.55	9	20	4	1	19	8	11	4
15.55	12	4	3	4	13	10	9	3
17.55	5	14	2	4	13	12	8	2
19.55	5	12	10	4	9	16	5	10
21.55	12	11	9	9	4	5	3	9
23.55	13	14	14	18	5	7	8	14
25.55	17	15	22	19	10	10	7	22

27.55	21	28	29	22	6	21	19	29
29.55	42	39	39	20	9	5	15	38
31.55					18	15	18	
33.55					19	24	27	

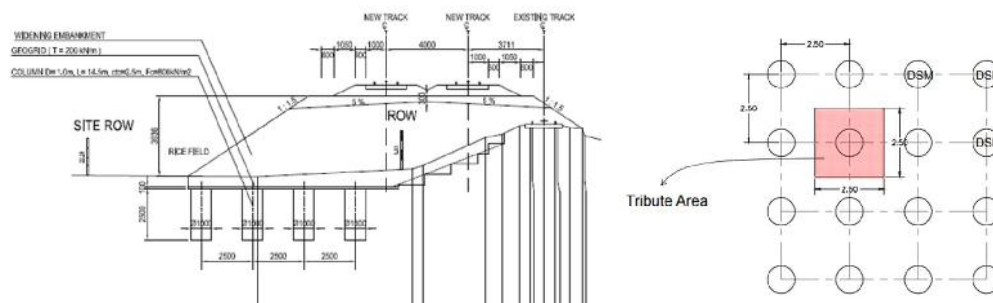


Gambar 1-2 Lokasi penyelidikan tanah double track Kroya-Purwokerto (Bauer Pratama Indonesia, 2016)



Gambar 1-3 Stratigrafi tanah KM 373+300 – KM 373+750 (Bauer Pratama Indonesia, 2016)

Pada kasus di atas, telah dilakukan perencanaan dan pelaksanaan perbaikan tanah dengan metode *rigid inclusion* yaitu menggunakan *Deep Soil Mixing* dengan tambahan *bahan portland semen*, sehingga akhirnya menjadi *Soil-Semen Column* (SCC). Rekayasa dan pelaksanaan SCC pada kasus ini seperti pada Gambar 1.4 berikut. Diameter SCC sebesar 1.00 m digunakan, dengan *layout square patern* dengan jarak antara SCC adalah 2.5 m dengan kedalaman seperti pada Gambar 1.3.



Gambar 1-4 Rekayasa dan pelaksanaan perbaikan tanah dengan kolom semen tanah (SCC) pada kasus double track Purwokerto – Kroya (Promisco, 2016)

### 1.3 Pernyataan Masalah

Permasalahan tanah lunak seperti pada gambar dan tabel di atas dapat menggambarkan latar belakang permasalahan penelitian ini. Pemilihan SCC dalam kasus tersebut, memiliki beberapa variasi rekayasa yang dapat dipilih, seperti diameter SCC, kedalaman SCC, jarak antara SCC, kandungan semen pada SCC. Analisis kestabilan timbungan badan jalan *double track* memerlukan sifat-sifat bahan meliputi parameter tanah seperti indeksnya, mekanikal, sifat kompresibilitas dan sifat bahan dari SCC.

Sebelum ini pada umumnya perencanaan kestabilan analisis dilakukan dengan perisian Plaxis. Dengan memodelkan beban timbunan pada tanah asli (*soft clay*) dan SCC sebagai dua bahan yang terpisah, dibuat berdasarkan uji laboratorium mekanika tanah yang piawai. Analisis kestabilan dilaksanakan dengan menganggap tanah lunak dan SCC, merupakan bahan yang homogen (*composite*) dengan memakai kekuatan geser komposit yang didapati dari kekuatan geser lempung lunak dan kekuatan geser bahan SCC (Priebe, 1995).

Analisis perencanaan perbaikan tanah dalam pada lempung lunak maupun pasir lepas dengan menggunakan metode *rigid inclusion* sering kali menggunakan penelitian Priebe (1955). Pada penelitian tersebut dua sifat tanah yang berbeza seperti kekuatan geser dan keanjalan, dimodelkan sebagai bahan yang homogen, sehingga dipakai rumusan sifat kompositnya yang terdiri dari kedua sifat yang berbeza tersebut. Pemakaian parameter homogen tersebut sampai saat ini masih layak digunakan dalam penyelesaian perencanaan perbaikan tanah dalam. Namun pemakaian model SCC dalam menentukan parameter komposit antara tanah lunak dan kolom semen tanah akan disyorkan. Dengan menggunakan model SCC, akan dipakai parameter homogen yang diperolehi dari uji laboratorium model SCC. Dalam model SCC dapat dibuat variasi faktor air semen, jumlah pemakaian semen, serta rasio antara diameter kolom semen tanah dengan jarak antara kolom semen tanah. Sehingga dengan memakai model SCC dalam rekayasa, akan diperolehi hasil rekayasa yang lebih efisien dengan memenuhi kriteria piawai rekayasa geoteknik.

#### **1.4 Tujuan dan Objektif Penelitian**

Penelitian ini dijalankan dengan tujuan untuk mengkaji parameterer kekuatan geser dan kompressibilitas komposit dari *soft clay* dan SCC dari uji di laboratorium. Tujuan penelitian dicapai melalui lima objektif berikut:

- (1) Menentukan pengaruh diameter SCC, jarak antara SCC, kandungan semen pada SCC dan jisim SCC terhadap kekuatan geser komposit *clay* dan SCC.

- (2) Menentukan perubahan rasio kekuatan geser pada tegasan puncak komposit lempung dan SCC akibat proses pemeraman (*perawatan*) di laboratorium.
- (3) Membangunkan metode uji kekuatan geser dengan model sampel SCC dalam keperluan kestabilan cerun badan trek rel keretapi dengan metode perbaikan dengan SCC.
- (4) Menilai metode yang pasti dalam penggunaan kekuatan geser bagi permasalahan kestabilan cerun timbunan trek rel keretapi di tanah lempung lunak yang diperbaiki dengan SCC pada masa hadapan.
- (5) Mengesyorkan metode uji kekuatan geser yang sesuai bagi keperluan perencanaan rekayasa kestabilan cerun badan trek rel keretapi dengan perbaikan lempung lunak menggunakan SCC yang mempunyai binaan infrastruktur.

## 1.5 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian ini akan dilakukan pada kasus pembangunan trek rel keretapi berganda di antara Kroya dan Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia seperti pada Gambar 1.1. Projek tersebut sudah selesai rekayasa dan pelaksanaannya pada tahun 2018 yang lalu. Untuk penelitian ini sampel tanah lempung lempung lunak dari satu lokasi tersebut diambil untuk dilakukan uji lanjut di laboratorium mekanika tanah. Dari penelitian uji kekuatan geser di laboratorium dengan sampelnya memodelkan SCC, maka penyelesaian masalah perincian rekayasa pada kasus tersebut diharapkan dapat memberi rekayasa alternatif dengan SCC yang menggunakan hasil kekuatan geser di laboratorium. Analisis yang diguna dihadkan kepada metode unsur terhingga (*finite element method*) dan menggunakan perisian *Plaxis V.7*.

Untuk mencapai objektif (1), perubahan parameter sifat-sifat kekuatan geser akibat variasi diameter SSC, jarak antara SCC dan kualiti campuran SCC dilakukan dengan uji triaxial tak tepu (*unsaturated triaxial test*). Uji sampel lempung lunak diubahsuai dengan memasukkan campuran (inklusi) *soil-semen* dengan diameter yang

dipelbagaikan dan campuran semen pada *soil-semen* yang dipelbagaikan juga. Kejelekitan ( $c$ ) dan sudut gelongsoran dalam ( $\phi$ ) diperolehi dari setiap variasi SCC.

Kemudian, dalam objektif (2) uji sifat-sifat kekuatan tersebut dilakukan dengan pemerhatian pada setiap sela masa tertentu untuk mengetahui proses sementasi campuran *soil-semen*, dan rasio kuat geser diperolehi dari setiap variasi SCC. Pada sela masa tersebut dari proses perawatan sampel SCC rasio kuat geser diperolehi juga dari setiap variasi SCC. Rasio kuat geser diperolehi dari tegasan utama dibahagikan dengan tegasan keliling pada uji triaxial tak terkukuh tak tersalir. Semasa proses perawatan sampel SCC dijalankan uji triaxial tak terkukuh tak bersalir (*Triaxial UU Test*) dilakukan dalam keadaan sampel tanah tak tepu.

Kemudian dalam objektif (3), analisis kestabilan cerun pada timbunan badan trek rel keretapi dengan perbaikan menggunakan SCC, tanah lempung lunak dan SCC dibuat suatu bahan komposit (homogen) dengan sifat mekanika (parameter kuat geser) dari hasil uji triaxial dengan model sampel SCC. Pada bagian ini semua hasil uji triaxial dengan bermacam variasi dipakai sebagai input dalam analisis kestabilan melalui program Plaxis.

Manakala untuk objektif (4), parameter kekuatan geser komposit SCC dari uji laboratorium hasil rekayasa SCCnya akan dibandingkan dengan hasil rekayasa berdasarkan parameter kekuatan geser yang berlaku pada lokasi cerun pada badan trek keretapi berganda di Kroya-Purwokerto ketika perencanaan dilakukan oleh Promisco Berhad Bandung sebagai jurutera rekayasa. Akhirnya, melalui objektif (5) cara mendapatkan parameter kekuatan geser dari model sampel SCC yang lebih tepat akan ditentukan untuk tujuan perencanaan konsolidasi kestabilan cerun pada rancangan tambakan benteng di atas lempung lunak dengan menggunakan SCC.

## 1.6 Kepentingan Penelitian

Penelitian berkaitan kelakuan dan prestasi SCC sebagai salah satu pilihan penyelesaian perbaikan tanah di lempung lunak, telah banyak dikaji dari penyelidik yang lalu (Alatas I. M, 1991; Priebe, 1995, S. Pongsivasathit, 2017). Penguji kolom lempung semen dan kolom lempung kapur di laboratorium dengan uji tiga terkukuh tak tersalir pada lempung Losari Jawa Tengah adalah penelitian awal di Indonesia untuk trek keretapi di Lokasi Jawa Tengah (Alatas I. M, 1991). Penelitian lanjut perincian daya tampung pada persoalan kolom batu dengan melihat variasi diameter dan jarak serta sudut gelongsoran dalam bahan batu dilihat semakin berkembang (Priebe, 1995). Pada kasus trek keretapi berganda Kroya-Purwokerto, pemakaian SCC diameter 1.00 m sedalam kira-kira 14.00 m, dengan jarak SCC 2.50 m serta rasio semennya  $200 \text{ kg/m}^3$  telah dilaksanakan pada tahun 2016 yang lalu (Bauer, 2016). Penelitian terkini perihal SCC terhadap kestabilan tambak yang dibina di atas tanah lunak dirawat dengan kolom tanah–semen (Prakash, 2022). Sedangkan penelitian penilaian sifat fisik dan mekanikal telah dilakukan pada ujian skala penuh SCC (Mustafa Fahmi Hasan, 2022)

Daripada perkembangan tersebut, didapati penelitian laboratorium masa kini belum ada yang membuat penelitian serta penilaian tentang pemakaian parameter komposit lempung lunak dan SCC dari uji triaxial uncolidated undrained dalam keadaan tak tepu sebagai parameter kuat geser dalam analisis kestabilan tambak benteng di atas lempung lunak dengan perkuatan menggunakan kolom tanah-semen dengan perisian *Plaxis*. Pada akhir penelitian ini, cadangan metode uji laboratorium pada tanah lempung lunak yang mengambil kira aspek perbaikan dengan SCC dapat disediakan untuk kasus-kasus perbaikan lempung lunak di mana-mana tempat. Malahan parameter kekuatan geser model SCC dengan uji triaxial terkukuh tak tersalir dan uji geser langsung berdasarkan hasil uji laboratorium yang lengkap juga dapat disarankan untuk perencanaan tambak benteng di tanah lempung lunak dengan SCC di mana-mana Indonesia. Ini seterusnya dapat digunakan dalam penelitian mengatasi masalah tanah lunak pada masa hadapan di Indonesia.

## 1.7 Pengaturan Penelitian

Bab 1 adalah pendahuluan yang meliputi perbincangan tentang latar belakang, pernyataan masalah, tujuan dan objektif penelitian, lingkup penelitian dan kepentingan penelitian.

Seterusnya, Bab 2 membincangkan penelitian literatur berkaitan lempung lunak, ciri-ciri kekuatan geser serta pengaruh SCC terhadap peningkatan kekuatan geser kompositnya. Analisis kestabilan cerun dengan SCC dua dimensi turut dibincangkan dalam bab ini.

Dalam Bab 3, metodologi penelitian dibincangkan dengan memuatkan diagram alir penelitian dan penjelasan tentang metode uji laboratorium yang akan dilakukan. Manakala hasil awal uji lapangan, uji laboratorium mekanika tanah.

Dalam Bab 4, hasil uji sifat-sifat indeks, fisik, mekanikal lempung lunak dibincangkan. Pada Bab 4 pula, perbincangan hasil kekuatan geser dari lempung lunak dengan SCC sebagai bahan komposit (homogen) terhadap proses perawatan yang dilakukan hingga masa 7, 28 dan 56 hari. Kekuatan geser dan sampel model SCC yang dihasilkan ialah pada keadaan tegasan puncak dan pada keadaan lempung tak tepu dengan uji triaxial dan uji geser langsung.

Kemudian Bab 5, membincangkan rekayasa SCC yang dihasilkan dengan kaitan antara beberapa parameter komposit dengan bermacam variasi, pengaruh rasio tegasan geser terhadap perubahan kekuatan geser model SCC juga turut dibincangkan. Analisis di atas dibandingkan dengan analisis yang telah dilakukan oleh jurutera (Promisco, 2016) yang dilakukan dengan pendekatan 2 bahan lempung lunak dan SCC serta analisis kestabilan menggunakan program Plaxis. Parameter kekuatan geser komposit dalam perencanaan kestabilan cerun di atas lempung lunak dan SCC juga



dicadangkan dalam Bab ini. Penelitian ini diakhiri dengan Bab 6 untuk kesimpulan dan cadangan penelitian lanjut.

## BAB 2

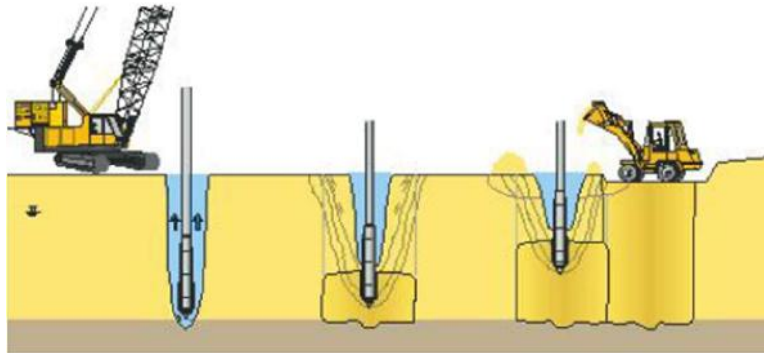
### PENELITIAN LITERATUR

#### 2.1 Pendahuluan

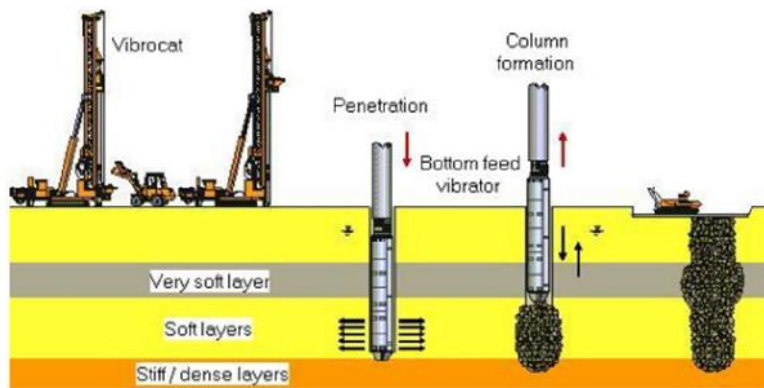
Infrastruktur keretapi moden menuntut tahap prestasi yang tinggi dari segi penempatan dan kestabilan subgrade keretapi. Di kawasan di mana terdapat pasir longgar atau lempung lunak dengan kejelekitan yang kecil, penambahbaikan tanah (ground improvement) selalunya diperlukan untuk memastikan tahap prestasi yang diperlukan. Teknik-teknik penambahbaikan tanah yang berlaku pada subgrade keretapi dipersembahkan ialah pemadatan getar (*Vibro Compaction*) seperti pada Gambar 2.1, penggantian vibro (*Vibro Replasemen*) atau kolom batu (*Stone Columns*) seperti pada Gambar 2.2, kolom batu beralur (*Grouted Stone Column*) seperti pada Gambar 2.3, kolom konkrit getaran (*Vibro Concrete Column*) dan pencampuran tanah dalam (*Deep Soil Mixing*) atau kolom tanah-semen (Raju, 2015).

Pada bab ini disampaikan penelitian literatur dari beberapa penyelidik terdahulu yang mengaitkan perilaku dan kekuatan geser lempung lunak diperbaiki dengan pencampuran tanah dalam (*deep soil mixing*), dengan variasi diameter tiang inklusi (*rigid inclusion*) berupa kolom tanah-semen (SCC) dan jarak antara SCC pada suatu kedalaman, terhadap peningkatan kestabilan kapasitas galas (*bearing capacity*). Beberapa penelitian pencampuran tanah dalam, berupa SCC yang lalu telah membincangkan hasil berbagai jenis uji di laboratorium dan di lapangan mahupun penelitian secara numerikal dengan bantuan perisian, telah dikaji beberapa permasalahan kelakuan fisik, mekanikal dan kelakuan istimewa lainnya terutama pada tanah lunak (Mustafa Fahmi Hasan, 2022; Natalia Zuievskaya, 2021; Nguyen Thai Linh, 2020; Pham Van Ngoc, 2017; Prakash, K. G., 2022). Penelitian mengenai

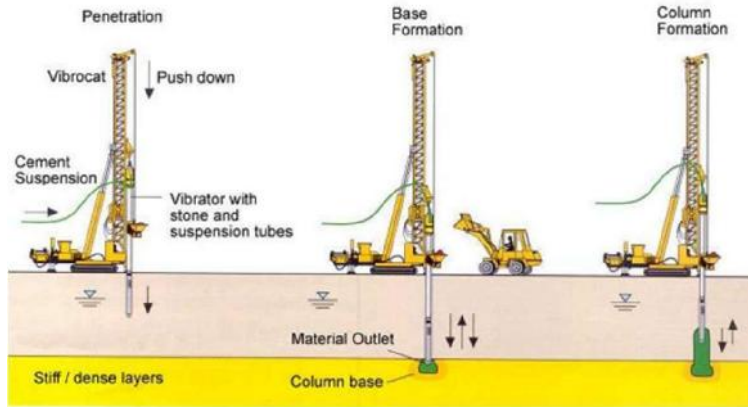
kelakuan SCC dalam menerima beban tersebut sangat penting dalam perbincangan dan pengesahan hasil penelitian uji yang diperoleh.



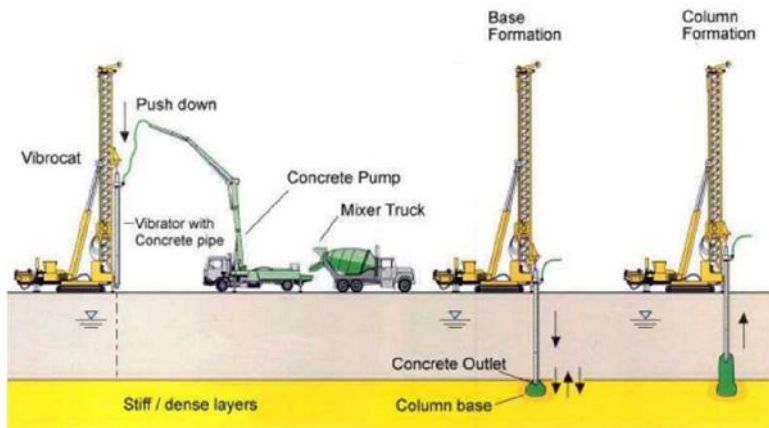
Gambar 2-1 Skema yang menunjukkan pemadatan getar (Raju, 2015)



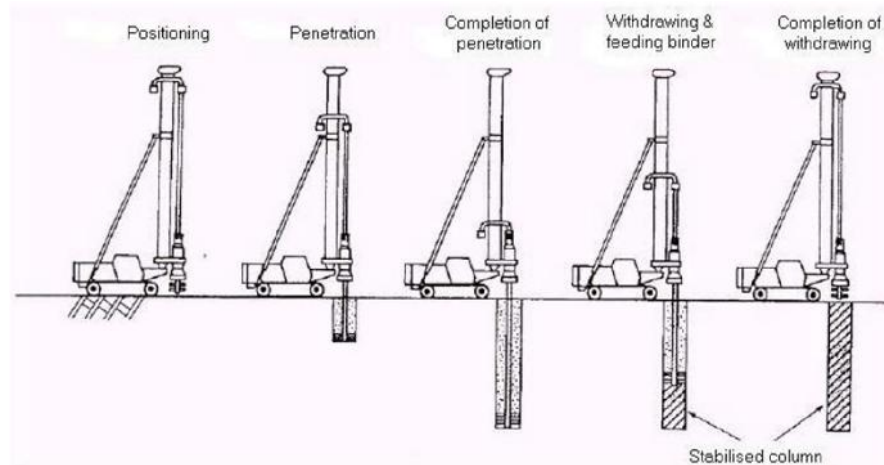
Gambar 2-2 Skema yang menunjukkan pemasangan kolom batu metode kering (Raju, 2015)



Gambar 2-3 Skema yang menunjukkan pemasangan kolom batu beralur (Raju, 2015)



Gambar 2-4 Skema yang menunjukkan pemasangan kolom konkrit getar (Raju, 2015)



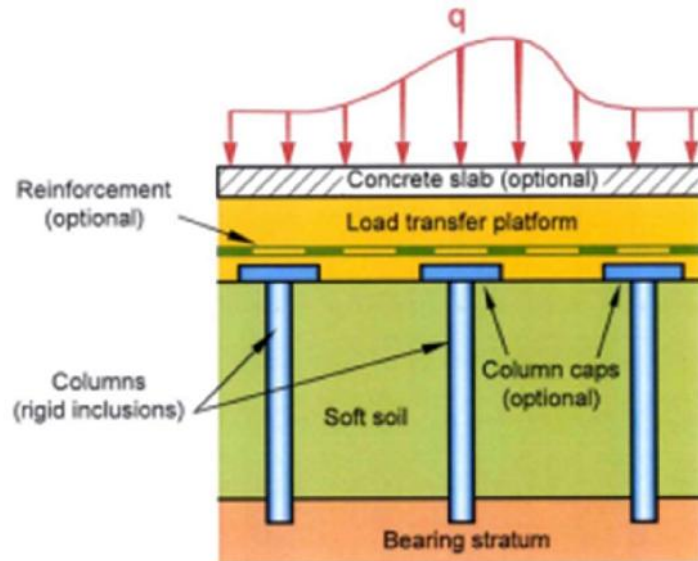
Gambar 2-5 Skema yang menunjukkan pelaksanaan pencampuran tanah dalam kering (Raju, 2015)

## 2.2 Tiang inklusi (*Rigid Inclusion*)

### 2.2.1 Konsep Tiang inklusi

Teknik ini, yang menyaksikan peningkatan penggunaan di banyak negara, mempunyai banyak nama yang berbeza: tambak bertimbun (*pled-embankment*), tambak disokong kolom (*column-supported embankment*), tambak disokong cerucuk bertetulang geosintetik (*geosynthetic reinforced pile supported GRPS*), tambak disokong cerucuk pelantar bumi (*pile-supported earth platform*) atau tetulang kolom tanah (*soil column reinforcement*). Tiang inklusi juga dipanggil kolom, kemasukan seperti cerucuk atau cerucuk penurunan penyelesaian bukan sentuhan (*non-contact settlement-reducing piles*) dalam pengertian generik, kolom campuran dalam (*Column Deep Mixing*), kolom kapur (*Lime Column*) atau kolom grouting jet (*Jet Grouting Column*) merujuk kepada beberapa teknik pemasangan yang biasa digunakan; dan kolom modulus terkawal (*Controlled Modulus Columns, CMC*) atau kolom konkrit getar (*Vibro Concrete Columns, VCC*) merujuk kepada nama hak milik (Simon, 2012).

Konsep umum teknik ini ialah gabungan susunan kolom tegar menegak dan berbutir tilm (lapisan pemindahan beban) supaya beban dari tambak atau papak dipindahkan ke lapisan gelas dalam (Gambar 2.6). Kolom mungkin mempunyai kepala atau penutup yang diperbesarkan.

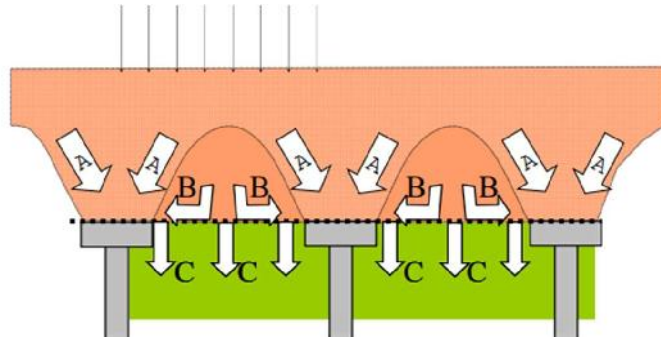


Gambar 2-6 Konstituen konsep penambahbaikan tanah tiang inklusi (Simon, 2012).

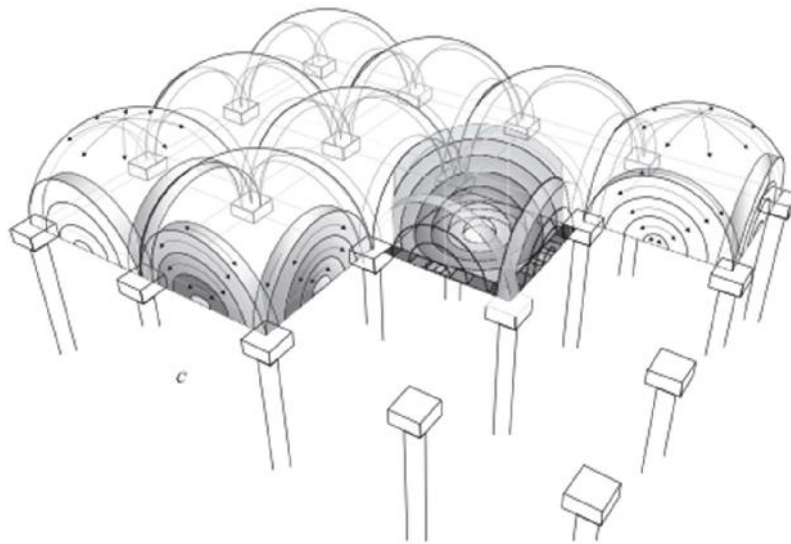
### 2.2.2 Pindah Beban ke Kepala Kemasukan

Van Eckelen dan Bezuijen (2015) membentangkan penelitian lapangan dan skala kecil tentang peranan tetulang geosintetik pada asas tambak bertimbun berdasarkan peraturan rekayasa terkini yang dikeluarkan oleh Belanda, Jerman atau Great Britain (Simon, 2012). Kertas mereka, yang memfokuskan pada pemuatan menegak, menilai bagaimana beban pengisi boleh dibahagikan kepada sebagian "A", yang dibawa terus ke kepala cerucuk melalui geser (atau melengkung) dalam isian,

dan bagian "B+C", di mana bagian "B" juga boleh dipindahkan melalui tetulang geosintetik (GR) ke cerucuk, manakala baki bagian "C" boleh dibawa oleh tanah bawah (Gambar 2.7)



Gambar 2-7 Pengagihan beban dalam tambak bertimbun (Van Eekelen 2015).



Gambar 2-8 Model *concentric arches* (CA), (Van Eekelen 2015).

### 2.3 Tekanan dan Beban Pada Kolom

Tegasan kegagalan yang boleh dikekalkan oleh kolom,

$$\sigma_{f \text{ col}} = 2 c_{u \text{ col}} + 3 (\sigma_h + 5 c_{u \text{ soil}}) \quad (1)$$

di mana  $c_{u\ col}$  &  $c_u$  ialah jelekit tak tersalir bagi kolom dan tanah lapangan masing-masing dan  $\sigma_h$  ialah tegasan mendatar dikira pada bagian atas lapisan lempung lunak lunak menggunakan  $K = 1$  dan 50% dari pada beban tambak.

Tegasan rayapan kolom biasanya dikira sebagai,

$$\sigma_{\text{creep col}} = m_C \times \sigma_{f\ \text{col}} \quad (2)$$

Modulus Young bagi kolom boleh dianggarkan sebagai,

$$E_{\text{col}} = m_E \times \sigma_{\text{creep col}} \quad (3)$$

di mana  $m_C$  dan  $m_E$  adalah pemalar dan nilainya bergantung pada jenis tanah lapangan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2-1 Nilai pemalar  $m_C$  dan  $m_E$  (Raju, 2010)

Huraian Tanah	$m_C$	$m_E$
Clayey silt	0.8 – 0.9	150 – 200
Silty clay	0.8	150 – 200
Clay	0.7 – 0.8	150
Organic clay	0.6 – 0.7	100
Peat	0.6	50 – 75
Silty, clayey sand	0.9	200 - 250

Untuk memastikan bahwa penyelesaian yang terhasil di tanah yang dirawat adalah kurang daripada 0.5% daripada kedalaman yang dirawat, adalah amalan umum



untuk menghadkan tegasan yang dibenarkan pada kolom kepada 70% (nilai yang lebih tinggi boleh digunakan bergantung kepada keadaan tanah) tegasan rayapan.

$$\sigma_{\text{all col}} = 0.7 \sigma_{\text{creep col}} \quad (4)$$

Beban yang dibenarkan pada kolom boleh dikira sebagai,

$$P_{\text{all col}} = \sigma_{\text{all col}} \times A_{\text{col}} \quad (5)$$

Jarak kolom dalam corak grid segi empat sama boleh dinilai sebagai,

$$s = \left( \frac{P_{\text{all col}}}{\sigma_{\text{imp}}} \right)^{0.5} \quad (6)$$

di mana  $\sigma_{\text{imp}}$  ialah tegasan yang dikenakan bagi pihak beban mati dan beban hidup di atas tanah permukaan.

## 2.4 Kekuatan Geser Kolom

Persamaan yang mengawal kekuatan geser ialah persamaan Mohr-Coulomb seperti yang ditunjukkan di bawah,

$$\tau = c + \sigma_{\text{vert}} \tan \phi \quad (7)$$

Kekuatan geser tak tersalir kolom diandaikan sebagai jelekit tak tersalir kolom,

$$\tau_{\text{u col}} = c_{\text{u col}} \quad (8)$$

di mana,  $c_{\text{u col}}$  diandaikan sebagai 100 - 250 kPa bergantung kepada ciri-ciri pengikat dan tanah lapangan.

Kekuatan geser tersalir kolom dikira seperti berikut,

$$\tau_{\text{d col}} = c_{\text{d col}} + \sigma_{\text{vert}} \tan \phi_{(\text{d col})} \quad (9)$$

di mana,  $c_{d \text{ col}}$  diandaikan sebagai 30% daripada  $c_{u \text{ col}}$  dan  $\phi_{d \text{ col}}$  diandaikan sebagai  $40^\circ$  hingga  $45^\circ$ .

## 2.5 Parameter Tanah Komposit

Tanah di dalam blok yang distabilkan akan dianggap sebagai matriks tanah komposit dengan parameter tanah yang baru seperti dalam Gambar 2.9. Modulus Young dan jelekit tak tersalir tanah komposit ( $c_u$ ) dianggarkan seperti berikut.

$$E_{\text{comp}} = a \times E_{\text{col}} + (1 - a) \times E_{\text{soil}} \quad (10)$$

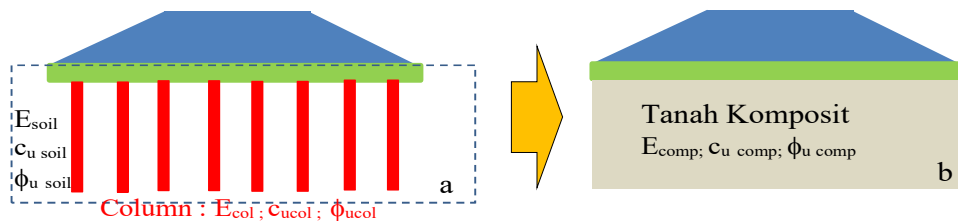
$$c_{u \text{ comp}} = a \times c_{u \text{ col}} + (1 - a) \times c_{u \text{ soil}} \quad (11)$$

$$c_{d \text{ comp}} = a \times c_{d \text{ col}} + (1 - a) \times c_{d \text{ soil}} \quad (12)$$

$$\phi_{u \text{ comp}} = \tan^{-1}[a \times \tan(\phi_{u \text{ col}}) + (1 - a) \times \tan(\phi_{u \text{ soil}})] \quad (13)$$

$$\phi_{d \text{ comp}} = \tan^{-1}[a \times \tan(\phi_{d \text{ col}}) + (1 - a) \times \tan(\phi_{d \text{ soil}})] \quad (14)$$

di mana  $E_{\text{col}}$ ,  $E_{\text{soil}}$  dan  $E_{\text{comp}}$  ialah modulus Young kolom, tanah dan komposit;  $c_{u \text{ col}}$ ,  $c_{u \text{ soil}}$  dan  $c_{u \text{ comp}}$  ialah jelekit yang tak tersalir dari kolom, tanah dan komposit;  $c_{d \text{ col}}$ ,  $c_{d \text{ soil}}$  dan  $c_{d \text{ comp}}$  ialah jelekit tersalir dari kolom, tanah dan komposit;  $\phi_{u \text{ col}}$ ,  $\phi_{u \text{ soil}}$  dan  $\phi_{u \text{ comp}}$  ialah sudut gelongsoran dalam tak tersalir dari kolom, tanah dan komposit;  $\phi_{d \text{ col}}$ ,  $\phi_{d \text{ soil}}$  dan  $\phi_{d \text{ comp}}$  masing-masing ialah sudut gelongsoran dalam tersalir kolom, tanah dan komposit. Dan 'a' ialah rasio gantian kawasan yang dikira sebagai,  $a = (A_{\text{col}} / s^2)$  untuk corak grid segi empat sama jarak 's'. Dalam pengiraan boleh diandaikan bahwa penempatan akan sama di dalam tanah dan dalam kolom yang stabil untuk memastikan kasuserasian (Raju, 2010).



Gambar 2-9 Menggunakan sifat tanah dan sifat kolom (a) Menggunakan sifat Komposit Tanah (b)

Pada kolom batu yang menerima bagian yang meningkat dari jumlah beban  $m$  sehingga tergantung pada rasio luas  $A_{col}/A$  dan faktor peningkatan  $n$ , di mana hubungan  $m$  dan  $n$  dapat dilihat pada persamaan berikut (Priebe, 1995)

$$m = (n - 1 + A_{col}/A) / n \quad (15)$$

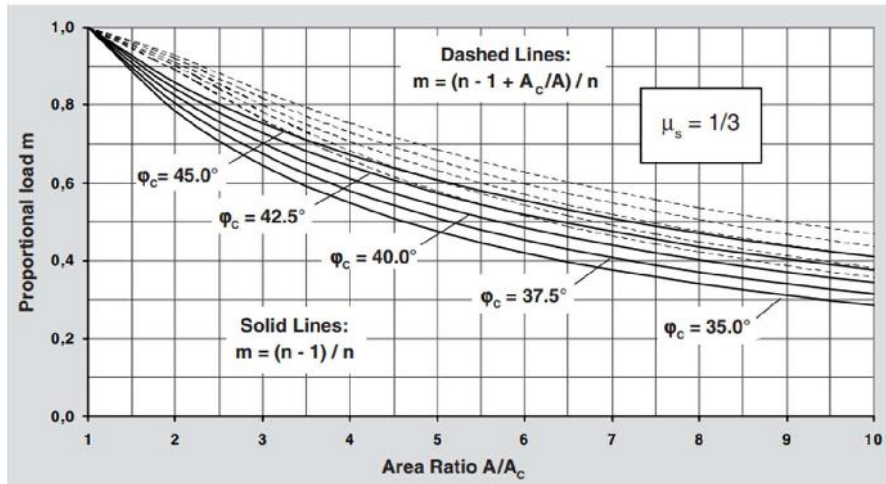
Menyederhanakan, prosedur rekayasa yang disarankan tidak mempertimbangkan penurunan isipadu tanah di sekitarnya yang disebabkan oleh penonjolan kolom. Oleh karena itu dan khususnya pada rasio luas yang tinggi, tanah menerima bagian beban jumlah yang lebih besar daripada yang sebenarnya dihitung. Agar tidak menaksir tahanan gelongsor kolom secara berlebihan ketika berdasarkan agihan beban pada kolom dan tanah, beban berkadar pada kolom harus dikurangkan (Priebe, 1995), seperti pada persamaan berikut.

$$m = (n - 1) / n \quad (16)$$

Dalam Gambar 2.10 menunjukkan dalam garisan pepejal beban berkadar kolom  $m'$  dan dalam garis putus-putus satu  $m$  tidak berkurang.

Mengikut beban berkadar pada kolom dan tanah, rintangan geser daripada gelongsoran sistem komposit boleh dirata-ratakan dengan mudah.

$$\tan \phi_{comp} = m' \tan \phi_{col} + (1 - m') \tan \phi_{soil} \quad (17)$$



**Gambar 2-10** Beban berkadar pada kolom batu (Heinz J. Priebe, 1995)

Oleh karena dalam kebanyakan kasus praktikal kemungkinan garisan gelongsor meliputi kedalaman yang berbeza yang sukar untuk ditinjau, adalah disyorkan untuk mempertimbangkan faktor kedalaman dalam kasus yang jelas sahaja, yaitu untuk mengira biasanya dengan bagian beban kolom batu  $m_1'$  berkaitan dengan  $n_1'$  dan bukan dengan  $m_2'$  berkaitan dengan peningkatan faktor  $n_2 = f_d \cdot n_1$ . Sistem komposit bergantung pada keluasan berkadar tanah (Heinz J. Priebe, 1995).

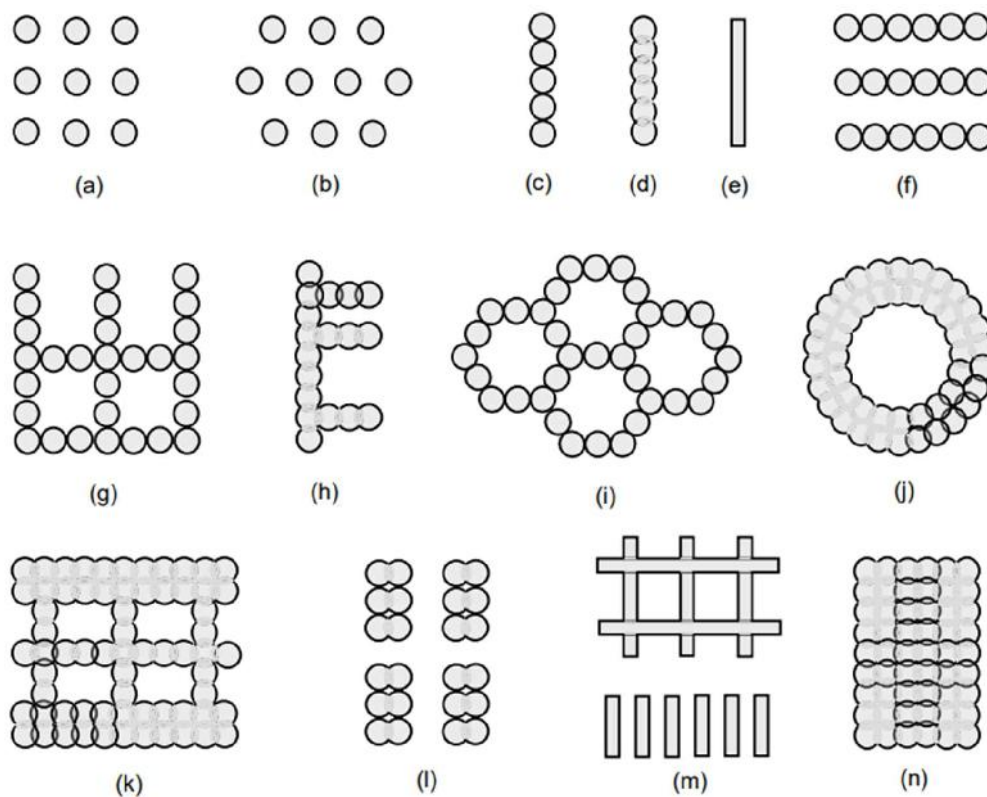
$$c_{\text{comp}} = (1 - A_{\text{col}}/A) c_{\text{soil}} \quad (18)$$

Pemasangan kolom batu mungkin menyebabkan kerosakan pada struktur tanah yang sukar untuk diukur. Atas sebab kasuselamatan, nampaknya dinasihatkan untuk mempertimbangkan perpaduan juga berkadar dengan beban, i. e. agak rendah, walaupun cadangan ini tidak berdasarkan aspek mekanikal tanah (Heinz J. Priebe, 1995).

$$c_{\text{comp}}' = (1 - m') c_{\text{soil}} \quad (19)$$

## 2.6 Corak Pemasangan Campuran Tanah Dalam

Pencampuran tanah boleh dilakukan dengan rasio penggantian 100% di mana semua tanah di dalam blok tertentu dirawat, seperti yang biasa berlaku untuk aplikasi pencampuran jisim, atau kepada rasio yang lebih rendah yang dipilih, yang sering diamalkan dengan pencampuran dalam. Rasio yang dipilih mencerminkan keupayaan mekanikal dan ciri-ciri metode yang digunakan. Bergantung pada tujuan kerja-kerja mencampur dalam, keadaan khusus lapangan, rekayasa dan kos rawatan, corak pemasangan kolom yang berbeza digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan dengan menggunakan kolom jarak atau bertindih dan tunggal atau gabungan. Corak biasa ditunjukkan dalam Gambar 2.11 (Michalowski, 2018).



Gambar 2-11 Contoh corak pencampuran tanah dalam: (a), (b) column-type (square and triangular arrangement), (c) tangent wall, (d) overlapped wall, (e) trench/CSM

wall, (f) tangent walls, (g) tangent grid, (h) overlapped wall with buttresses, (i) tangent cells, (j) ring, (k) lattice, (l) group columns, (m) multiple trenches/CSM walls, (n) block (Michalowski, 2018).

Corak grid segi empat sama atau segi tiga bagi kolom tunggal atau gabungan biasanya digunakan apabila tujuan campuan tanah dalam (DSM) ialah pengurangan penyelesaian dan, dalam beberapa kasus, peningkatan kestabilan. Contoh biasa ialah tambak jalan dan keretapi. Dinding digunakan untuk kawalan penggalian, untuk menstabilkan potongan terbuka dan melindungi struktur dengan asas cetek mengelilingi penggalian, dan sebagai langkah menentang resapan. Ia juga dibina untuk meningkatkan kapasiti gelas tanah yang lebih baik terhadap daya mendatar atau gelongsor, dengan baris kolom dipasang ke arah pembebanan mendatar atau berserenjang dengan permukaan kegagalan yang dijangkakan. Dinding boleh dibina dengan kolom tangen atau bertindih, panel sambungan atau sebagai struktur parit. Pertindihan amat penting apabila melaksanakan dinding potong atau halangan persekitaran (Michalowski, 2018).

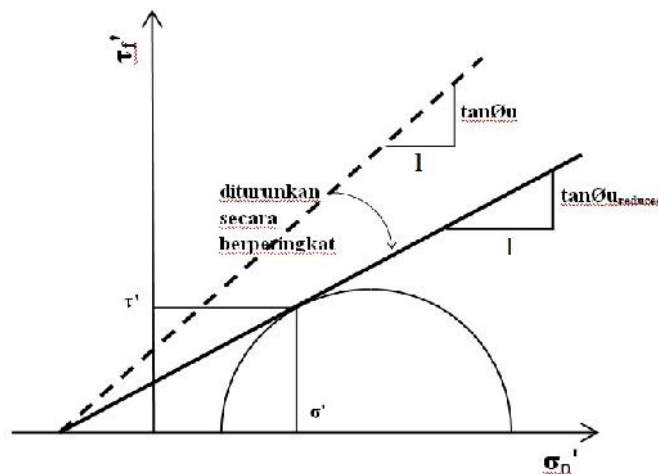
## **2.7 Penentuan Faktor Kasuselamatan Cerun dan Tambak Dengan Metode Unsur Berhingga**

Jika metode unsur terhingga (FEM) digunakan dalam analisis kestabilan cerun di atas tambak, tiada anggapan satah kegagalan dibuat terlebih dahulu. Faktor kasuselamatan cerun (FK) dihitung dengan mencari satah lemah pada struktur lapisan tanah pada cerun dan tambak. Faktor kasuselamatan diperoleh dengan cara mengurangkan nilai jelekitan ( $c$ ) dan sudut gelongsoran dalam ( $\phi$ ) yang terkenal dengan istilah *C-Phi Reduction* (Cheang, 2013; Plaxis, 2004). Kemudian secara berperingkat hingga tanah mengalami kegagalan, nilai faktor kasuselamatan (FK) dihitung dengan persamaan (20)

$$\sum FK = \frac{c}{c_{\text{reduced}}} = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_{\text{reduced}}} \quad (20)$$

di mana  $\sum FK$  ialah faktor kaseselamatan,  $c$  dan  $\phi$  ialah kekuatan geser,  $c_{\text{reduced}}$  dan  $\phi_{\text{reduced}}$  ialah nilai  $c$  dan  $\phi$  terkecil yang diperolehi semasa program *Plaxis* menunjukkan tanah mengalami kegagalan (*soil body collapse*).

Analisis proses pengiraan ini di dalam kegagalan Mohr-Coulomb digambarkan pada Gambar 2.11. Metode seperti ini dalam program *Plaxis* disebut sebagai "*C-Phi reduction*". Tabel 2.2 menunjukkan tiga cara pengiraan kestabilan cerun dan tambak dengan metode unsur terhingga pada tanah berbijian halus tak tersalir dengan menggunakan program *Plaxis*. Pengiraan pada keadaan tak tersalir dilakukan dengan menggunakan kasesemua cara tersebut. Bila pengiraan keadaan tersalir diperlukan, maka semua parameter masukan dalam parameter berkasusan dan jenis bahan dipilih sebagai tersalir. Model tanah yang dipakai adalah Model Mohr Coulomb.



Gambar 2-12 Proses perhitungan faktor kaseselamatan FK dalam metode unsur terhingga FEM (*Plaxis*, 2004)

Tabel 2-2 Berbagai parameter pada tanah berzarah halus tak tersalir dengan Plaxis (Plaxis, 2004)

Jenis	Parameter			
	Bahan	Kekuatan Geser	Kekakuan	Analisis
Tak Tersalir A	Tak Tersalir	$c'$ ; $\phi'$ ; $\psi'$	$E'_{50}$ ; $\nu'$	Tegasan berkasusan
Tak Tersalir B	Tak Tersalir	$c=c$ ; $\phi=0$ ; $\psi=0$	$E'_{50}$ ; $\nu'$	Tegasan berkasusan
Tak Tersalir C	Tersalir	$c=c$ ; $\phi=0$ ; $\psi=0$	$E_u$ ; $\nu=0.495$	Tegasan jumlah

## 2.8 Gap Penyelidikan

Penelitian literatur lepas berkaitan perbaikan tanah dalam dengan semen dan lainnya berupa penelitian laboratorium maupun penelitian lapangan skala penuh, serta penelitian analisis numerikal telah dikumpul dan dirumuskan dalam Tabel 2.3. Sebanyak 46 penelitian lepas dari tahun 1995 hingga 2022 telah dikaji bagi mendapatkan gap perbezaan dalam penelitian terkini. Tujuan penelitian, penelitian jenis tanah, penelitian sifat-sifat mekanika tanah, data tanah pada kolom semen tanah untuk analisis kestabilan dibentangkan dalam tabel tersebut.

Berdasarkan kepada kurangnya perhatian pada penelitian uji triaxial tak tepu tak tersalir di laboratorium mekanika tanah dengan uji sampelnya memodelkan kolom semen tanah. Model sampel ini dibuat dengan variasi rasio  $s/d$ , di mana  $s$  adalah jarak antara kolom tanah semen,  $d$  adalah diameter kolom tanah semen. Hasil uji



laboratorium yang berlaku digunakan untuk analisis kestabilan cerun dan tambak trek keretapi berganda sebagai perbincangan kasus di lapangan.

Penelitian-penelitian terdahulu yang terdapat dalam Tabel 2.3 jelas menunjukkan bahwa sebelum ini tiada penelitian khusus uji triaxial tak tersalir tak tepu di laboratorium untuk sampel kolom tanah semen. Ini juga dapat menjelaskan gap antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu untuk permasalahan rekayasa kolom tanah semen dalam engineering geoteknik.



Tabel 2-3 Literatur lepas untuk gap perbedaan penelitian

No	Objektif Penelitian			Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan						
	Tujuan Penelitian	Kasus Lapangan	Laboratorium		Numerik, lain-lain	Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model Numerik	Model Skala	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat Berasangan	Sifat Komposit	Sifat Komposit	Sifat Komposit dari Uji Geser
1	<i>Stability of Embankment Constructed on Soft Soil Treated with Soil-Semen Columns</i>		✓	✓	(Prakash K. G, 2022)	✓				✓	✓				✓		✓		✓		
2	<i>Physical-mechanical assesment of full scale soil semen column constructed in clay soil</i>	✓		✓	(Mustafa Fahmi Hasan, 2022)	✓						✓	✓			✓	✓		✓		✓
3	<i>Modeling of the effect of a high-pressure jet of semen mortar on the surrounding soil environment when performing jet grouting columns using jet technology</i>	✓			(Natalia Zuiavska, 2021)	✓	✓					✓				✓		✓			✓
4	<i>Analysis of impacting factors for soil-semen coloumn combined high strength geogrid</i>			✓	(N. D. M. Nguyen Thai Linh, Nguyen Hai Ha, 2021)	✓		✓			✓	✓				✓		✓			
5	<i>Pore Water Pressure Development in Soft Soil due to Installation and Loading of Controlled Modulus Columns</i>	✓			(L. Bałachowski and J. Konkol, 2021)	✓					✓	✓				✓					✓

6	<i>Assessment of the Efficiency of Rigid Inclusions as a Settlement Control System – Case Study</i>	✓		✓	(Amr A. Hemada, 2021)	✓	✓				✓	✓	✓	✓			✓				
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan					
	Tujuan Penelitian	Kasus Lapangan	Laboratorium	Numerik, lain-lain		Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model Numerik	Model Skala	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat Berasingan	Sifat Komposit	Sifat Komposit	Sifat Komposit dari Uji Geser
7	<i>Large soil-semen column applications in Vietnam</i>	✓			(Minh Ngan Vu 2020)	✓				✓			✓					✓			
8	<i>Integration of information and communication technology (ICT) into semen deep mixing method</i>	✓		✓	(Hong-Son Nguyen, 2020)	✓					✓				✓						✓
9	<i>Full-Scale Experimental Study on the Single and Group of Soil-Semen Columns under Vertical Load Applying for Buildings</i>	✓			(Huu-Do Do, 2020)	✓				✓			✓					✓			✓
10	<i>Experimental study on the settlement of soil semen column combined high strength geogrid.</i>		✓		(Nguyen Thai Linh, 2020)	✓		✓					✓					✓			
11	<i>Dynamic Centrifuge Test of An Embankment Underlain ALiquifiable Soil And Isolated Soil Semen Column</i>		✓		(M. Khosravi, 2020)	✓		✓			✓				✓						✓
12	<i>Ground Improvement for Foundation Support in Organic Soils</i>	✓		✓	(Brian C. Metcalfe, 2020)	✓		✓		✓	✓							✓			✓

13	<i>Field Monitoring of Negative Skin Friction on Rigid Inclusion Columns under Embankments</i>	✓			(J. H. Liang Chern Chow, and Gregory R. Reuter,, 2020)	✓		✓	✓								✓	✓			✓	
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan						
	Tujuan Penelitian		Kasus	Laboratorium		Numerik, lain-lain	Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model	Model Skala	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat	Sifat Komposit	Sifat Komposit	Sifat Komposit dari Uji Geser
14	<i>An Overview of Performance Monitoring for Drilled Full Displasemen Type Rigid Inclusions under Highway Embankments</i>	✓			(Liang Chern Chow, 2020)	✓						✓				✓				✓		✓
15	<i>Load Transfer Mechanism of Group of Floating Soil-Semen Column Inmproving Soft Ground</i>	✓			(Khairun Nissa Mat Said 2019)			✓			✓					✓			✓			✓
16	<i>Bearing capacity of composite ground with soil-semen columns under earth fills: Physical and numerical modeling</i>			✓	(Pengpeng Ni, 2019)	✓					✓					✓		✓				✓
17	<i>Experimental Investigation of Soil-Arching Development in Unreinforced and Geosynthetic-Reinforced Pile-Supported Embankments</i>			✓	(Rui Rui, 2019)	✓					✓					✓	✓					

18	<i>Study of the effect of semen amount on the soil-semen sampel strength</i>		✓		(Izabela Karpisz 2018)	✓			✓				✓					✓		
19	<i>Failure and Remedy of Column-Supported Embankment: Case Study</i>	✓			(Radoslaw L. Michalowski, 2018)	✓						✓			✓	✓		✓		✓
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun Lain-lain	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan				
	Tujuan Penelitian	Kasus Lapangan	Laboratorium	Numerik, lain-lain		Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model Numerik	Model Skala Penuh	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat Berasingan	Sifat Komposit	Sifat Komposit
20	<i>Effective Incremental Ground Velocity for Estimating the Peak Sliding Displasemen of Rigid Structures to Pulse-Like Earthquake Ground Motions</i>		✓	✓	(E. Jampole, 2018)			✓	✓						✓			✓		✓
21	<i>Settlement-time curve calculation of soil-semen column and slab improved soft clay deposit</i>		✓		(S. Pongsivasat hit 2017)	✓				✓					✓					✓
22	<i>Long-term strength of soil-semen columns in coastal areas</i>		✓		(Pham Van Ngoc, 2017)	✓				✓			✓	✓		✓		✓		✓
23	<i>Large simple shear testing of soft Bangkok clay stabilized with soil-semen-columns and its application</i>		✓		(Atijit Sukpunya, 2016)	✓		✓							✓			✓		✓

24	<i>An estimation method for predicting final konsolidasi settlement of ground improved by floating soil semen columns</i>		✓		(Ryohei Ishikuraa, 2016)	✓			✓						✓				✓	
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan				
	Tujuan Penelitian		Kasus Lapangan	Laboratorium		Numerik, lain-lain	Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model Numerik	Model Skala Penuh	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat Beraringan	Sifat Komposit
25	<i>Effect of Semen Column Spacing And Replasemen Ratio on Embankment Bearing Capacity: A Queensland Case Study</i>			✓	(Mark Bolton, 2016)	✓					✓					✓			✓	
26	Behaviors of soil semen columns and stiffened soil semen column wall in shallow excavation	✓			(I. Meepon 2016)	✓		✓					✓				✓		✓	
28	Understanding The Performance Deep Mixed Column Improved Soil- A Review			✓	(Samuel Jonah Abbey, 2015)	✓	✓				✓					✓			✓	✓
29	Numerical Analysis of the Influence of Replasemen			✓	(Le Van Tuan, 2015)			✓			✓			✓			✓			

	Area Ratio in Foundation Reinforced with Soil Semen Columns																			
30	Improving Shear Strength of Clay by Using Semen Column Reinforcement Under Consolidated Undrained Test.		✓		(Damrizal Damoerin, 2015)	✓					✓					✓		✓		
31	Effect of Soil Semen Replacemen Ratio on Settlement Reduction			✓	(Mark Bolton, 2015)	✓						✓	✓					✓		
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian				Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan				
	Tujuan Penelitian	Kasus Lapangan	Laboratorium	Numerik, lain-lain		Tanah Lunak	Pasir Lepas	Lain-lain	Skala	UDS Kolom	UDS	Model Numerik	Model Skala Penuh	Triaxial	Direct Shear	Oedom	Lain-Lain	Sifat Beraringan	Sifat Komposit	Sifat Komposit
32	Centrifugal modeling of a composite foundation combined with soil–semen columns and prefabricated vertical drains		✓		(Guanbao Yea, 2015)	✓			✓							✓		✓		
33	Discussion of “Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils”	✓	✓		(Raja S. Madhyanna pu 2015)	✓			✓							✓	✓	✓		
34	Optimization of Design of Column-Reinforced Foundations	✓			(M. Bouassida and J. P. Carter, 2014)	✓					✓			✓	✓			✓		



35	Desigh Risk Of Ground Improvement Methods Including Rigid Inclusions	✓			(J. Wehr, 2013)	✓		✓							✓	✓		✓	
36	Lateral displasemens due to installation of soil-semen columns	✓	✓		(Jinchun Chai, 2012)	✓	✓								✓	✓		✓	
37	A Case History On The Design, Construction, And Field Quality Control Of Semen Deep Soil Mixing	✓			(Suthan Pooranampila, 2012)	✓	✓					✓	✓			✓		✓	
38	Improving mechanical properties and shrinkage cracking characteristics of soft clay in deep soil mixing	✓			(Thanakorn Chompoorat, 2022)	✓								✓				✓	
No	Objektif Penelitian				Penulis/ Tahun	Jenis Tanah Penelitian			Model Penelitian			Penelitian Sifat-Sifat Mekanika Tanah			Data Tanah pada Kolom Semen Tanah Untuk Analisis Kestabilan				
	Tujuan Penelitian					Tanah Lunak		Tujuan Penelitian	Kasus Lapangan	Laboratorium	Numerik	Tanah Lunak		Tujuan Penelitian	Kasus	Laboratorium	Sifat Berasinoan	Sifat	Sifat Komposit
39	Numerical study of the deformation performance and failure mechanisms of TDM pile-supported embankments			✓	(P. J. Chana Phutthananon, Daniel Dias, Pitthaya Jamsawang, 2021)			✓						✓			✓		✓
40	State parameter governing the mechanical properties of semen-treated clays		✓		(Chana Phutthananon, 2022)	✓						✓	✓				✓		✓
41	The Design of Vibro Replasemen	✓			(Heinz J. Priebe, 1995)			✓			✓	✓	✓				✓		

42	<i>Effect of curing conditions on the strength of soil semen</i>		✓		(Salisa Chaiyaput, 2022)	✓		✓					✓		✓	✓			✓	
43	<i>Optimal water-semen ratio of semen-stabilized soil</i>		✓		(Fangtong Wang 2022)	✓			✓				✓						✓	
44	<i>Stabilization nature and unified strength characterization for semen-based stabilized soils</i>		✓		(Li Liu, 2022)	✓			✓							✓				✓
45	<i>Preliminary results of dry Deep Soil Mixing soil-semen composite testing</i>	✓			(Klaudia Jendrysik1, 2018)	✓					✓		✓			✓				✓

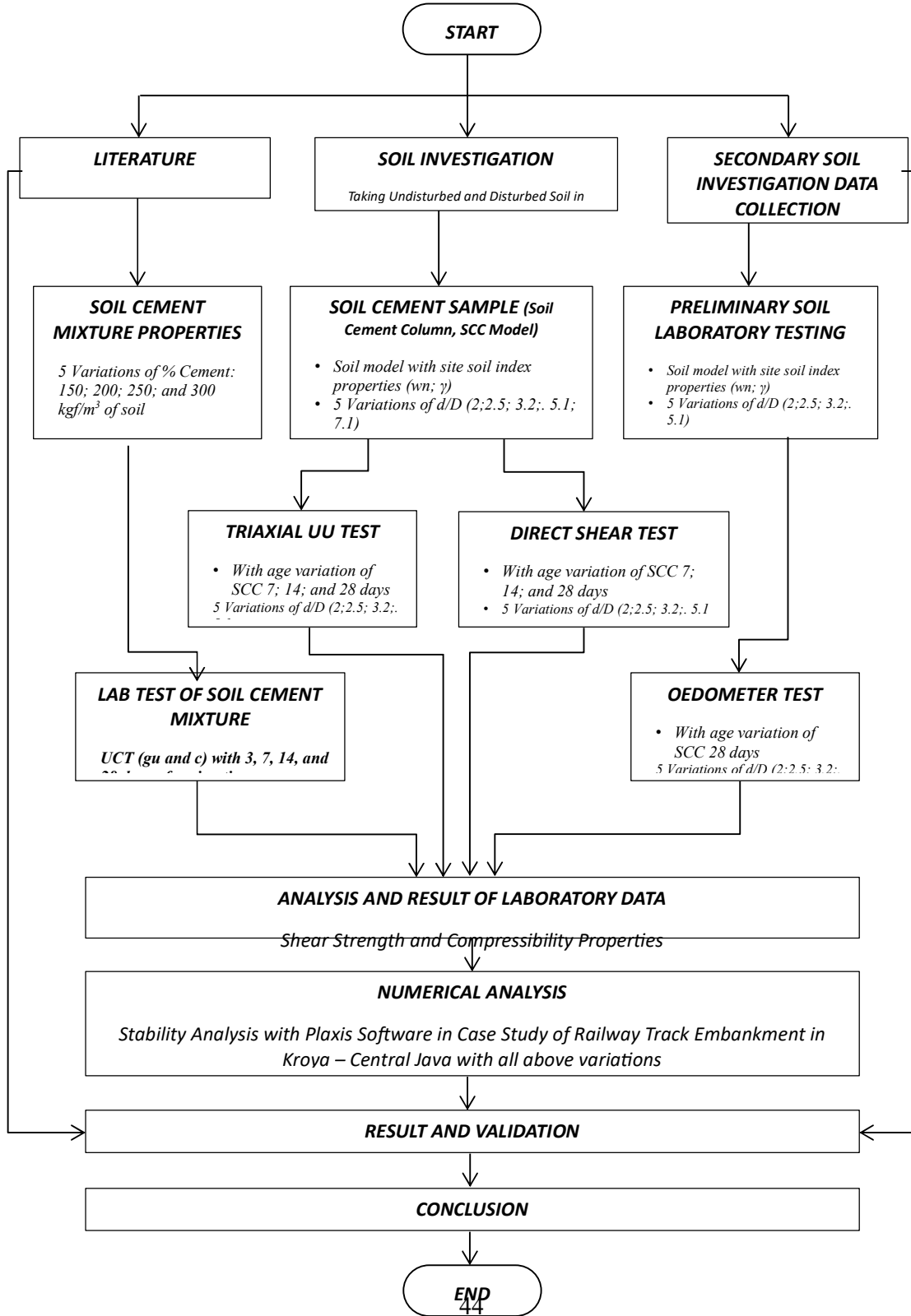
## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian yang dirancang untuk mendapatkan parameter kekuatan tanah komposit dari lempung dan kolom tanah-semen, serta mendapatkan suatu komposisi rekayasa kolom tanah-semen yang optimum. Hasilnya diaplikasikan pada suatu kasus sebagai pembandingan di dalam penggunaan kolom tanah-semen pada proyek trek keretapi berganda jalur Kroya-Purwokerto (Bauer Pratama Indonesia, 2016; Promisco, 2016). Perencanaan pengujian kekuatan gelongsor tanah komposit di rekayasa dengan menggunakan uji triaxial tak tersalir, dengan sampel ujinya berupa tanah tidak terganggu lempung lunak Kroya di bagian tengahnya dengan diameter yang lebih kecil setinggi sampel uji diganti dengan bahan tanah-semen sebagai model dari kolom tanah-semen seperti pada Gambar 3.1.

### 3.2 Rekayasa dan Diagram Alir Penelitian

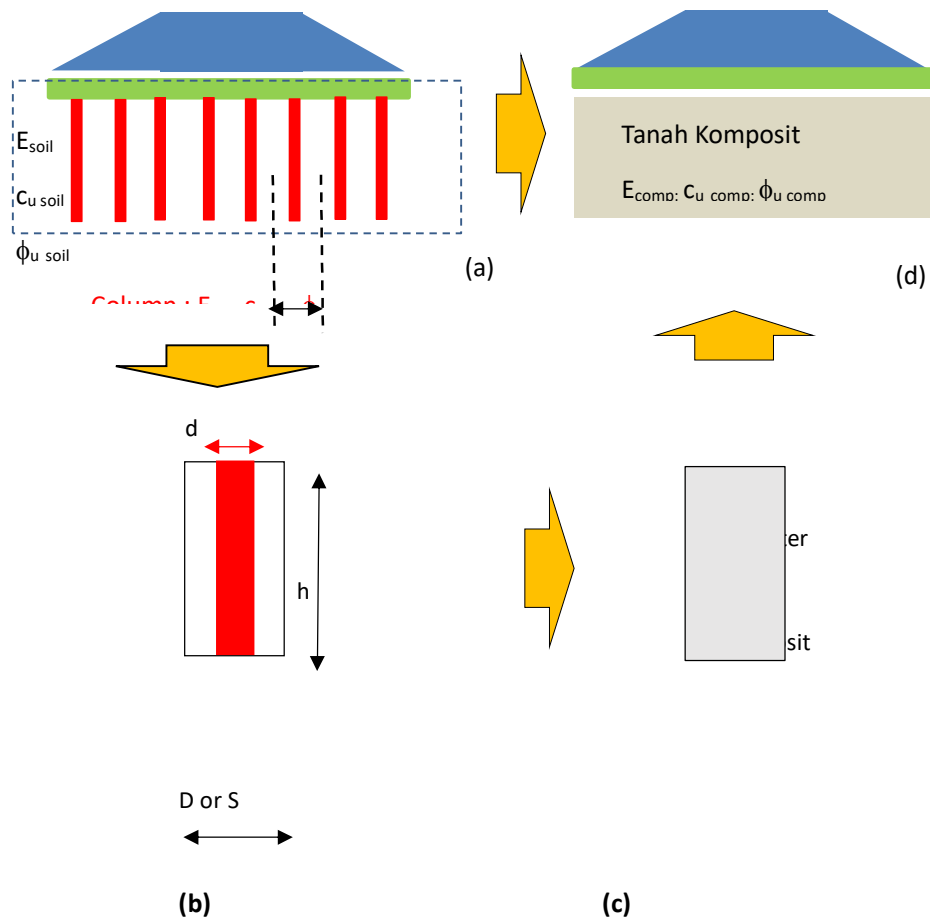
Pada diagram alir dalam Gambar 3.2 telah disusun rancangan penelitian di laboratorium mekanika dengan tiga pembolehubah model sampel kolom tanah semen (*Soil Cemen Column*, SCC) yang dilakukan uji triaxial tak terkukuh, uji geser langsung dan uji konsolidasi. Ke tiga pembolehubah yang dimaksud adalah yang pertama kandungan semen (kg) terhadap satu meter kubik kolom tanah semen, yaitu  $150 \text{ kg/m}^3$ ,  $200 \text{ kg/m}^3$ ,  $250 \text{ kg/m}^3$  dan  $300 \text{ kg/m}^3$ . Pembolehubah yang kedua adalah rasio antara diameter kolom tanah semen ( $d$ ) dengan jarak antara kolom tanah semen ( $S$ ), yaitu  $d/S=0.20$ ,  $d/S=0.25$ ,  $d/S=0.32$ ,  $d/S=0.51$  dan  $d/S=0.71$ . Manakala pembolehubah yang ketiganya ialah masa pemeliharaan model uji sampel, yaitu masa pemeliharaan 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Semua hasil uji laboratorium mekanika diatas dipakai untuk penelitian analisis numerik *embankment* dengan menggunakan kolom tanah semen pada kasus subgrade keretapi double track di tanah lempung lunak, di Kroya, Jawa Tengah.



Gambar 3-1 Diagram alir kerja penelitian kolom tanah-semen

### 3.3 Penguji Lapangan

Penguji lapangan dilakukan untuk mendapatkan maklumat dan data berkaitan tanah dan topografi untuk keperluan analisis kestabilan cerun tambak trek keretapi berganda Kroya-Purwokerto, Jawa Tengah Indonesia, diperolehi dari dokumen projek (Bauer Pratama Indonesia, 2016; Promisco, 2016). Penguji lapangan ulang dilakukan berupa uji sondir sebanyak 2 uji di sisi lapangan uji galian tanah, sebagai bentuk pengesahan dari banyak data yang telah dikumpulkan oleh PT. Promisco Sinergi Indonesia (Promisco, 2016).



Gambar 3-2 (a) Menggunakan sifat tanah dan sifat kolom, (b) Sampel uji triaxial di laboratorium, (c) Hasil kekuatan geser komposit, (d) Analisis dengan komposit tanah

### 3.3.1 Penguji Tanah

Untuk keperluan data tanah, uji-uji berikut dilakukan:

- (i) Uji galian lubang (*Test Pit*)
- (ii) Uji Penusukan Piawai (SPT).
- (iii) Persampelan tak terganggu menggunakan kotak sampel berdinding nipis (*Thin Stell Plate Box Sampelr*)
- (iv) Persampelan tak terganggu dari uji test pit (*test pit*) untuk uji triaxial diperoleh dari kotak sampel berdinding nipis (*Thin Walled Block Sampelr*)
- (v) Uji Sondir (*Cone Penetration Test/ CPT 2.5 ton*)
- (vi) Persampelan terganggu syal lempung untuk uji sifat indeks, spesifik gravity (Gs), taburan saiz zarah (GSD),

### 3.3.1 Topografi Lokasi

Pengukuran topografi sangat diperlukan untuk mendapatkan peta aras ketinggian untuk menunjukkan bentuk kecerunan tambak trek keretapi berganda dalam analisis kestabilan cerun dan tambak dengan perkuatan kolom tanah-semen. Gambar topografi untuk keperluan analisis rekayasa geoteknik, diperoleh dari Laporan Tinjauan Teknis Deep Soil Mixing (DSM) Pada Pembangunan Double Track KA Lintas Purwokerto-Kroya (Bauer Pratama Indonesia,2016)

### 3.4 Model Sampel Persampelan Uji Triaxial dan Uji Oedometer

Sampel untuk uji triaxial dan konsolidasi diperolehi dari uji test pit (*test pit*) tanah hingga kedalaman tertentu. Test pit tanah tersebut berukuran 2 m x 2 m x 1 m (lebar x panjang x dalam). Sampel uji triaxial dan konsolidasi diperoleh di lapangan dengan melakukan penegasan kepada *Thin Stell Box Sampel* berukuran 0.2 m x 0.2 m x 0.6 m (lebar x tinggi x Panjang). Sampel dari box tersebut dipindahkan ke *Wooden Box Sampler* dengan ukuran yang sama dan terlebih dahulu bagian dalamnya dilapisi plastik (*water proof*), dan *Wooden Box Plastic* tersebut bagian luarnya diselimuti

plastik yang rapat. Sebanyak 20 kotak *Wooden Box Sampel* disediakan dan dibawa ke laboratorium mekanika tanah Geoinves untuk pembuatan persampelan uji triaxial dan konsolidasi.



Gambar 3-3 Penguji ulang lapangan berupa uji sondir (CPT) dan uji galian tanah serta pengambilan sampel tanah

Lokasi test pit tanah dibuat hanya berjarak 10 m dari sisi timbunan double trek keretapi yang sudah dibangun, dan dapat dipastikan tanah yang diperoleh dari uji galian tanah tersebut adalah sama dengan keadaan tanah rata-rata pada lokasi kasus tersebut.



Gambar 3-4 Metode persampelan tak terganggu dengan *Thin Steel Plate Box Sampel* pada lapangan pada uji galian tanah untuk uji triaxial dan konsolidasi di laboratorium

### 3.5 Uji Laboratorium Mekanika Tanah

Semua uji laboratorium dilakukan mengikut standar ASTM (*American Standard for Testing Bahan*) dan dilakukan di laboratorium mekanika tanah Geoinves di Jakarta.

#### 3.5.1 Uji Sifat-Sifat Indeks Lempung Kroya

Semua uji sifat-sifat indeks syal lempung dilakukan berdasarkan standar uji dari *American Standard for Testing Bahan* (ASTM). Uji sifat-sifat indeks ini meliputi uji kandungan air (ASTM D 2216-80, 1989), uji berat unit (ASTM D 653-88, 1989), uji spesifik gravity (ASTM D 854-83, 1989), uji batas atterberg (ASTM D 4318-84, 1989), dan uji Analisa ukuran butir (ASTM D 422-72, 1989).







Gambar 3-5 Pengembangan pengambilan tanah tak terganggu dengan *Thin Steel Plate Box Sampelr*, pengambilan dan pemindahan ke *Wooden Box Sampel*. Sampel tanah dibawa ke laboratorium mekanika tanah.

### 3.5.2 Uji Triaxial Unconsolidated Undrained

Uji triaxial uncolidated undrained berdasarkan standar ASTM (ASTM D 2850-87, 1989). Uji geser langsung tak tersalir berdasarkan standar ASTM D 6528-17, 2017). Uji ini dilakukan pada sampel lempung Kroya dengan proses masa perawatan kolom tanah-semen hingga hari ke 56 serta variasi rasio diameter kolom tanah-semen (d) dengan jarak antara kolom tanah-semen (s).

### 3.5.3 Uji Konsolidasi (*Konsolidasi Test*)

Uji konsolidasi (*konsolidasi test*) berdasarkan standar ASTM (ASTM D 2435-04. 2011). Uji ini dilakukan pada sampel lempung Kroya dengan proses masa perawatan kolom tanah-semen hingga hari ke 56 serta variasi rasio diameter kolom tanah-semen (d) dengan jarak antara kolom tanah-semen (S) yaitu  $d/S$

### 3.5.4 Model Sampel Kolom Kolom-Semen

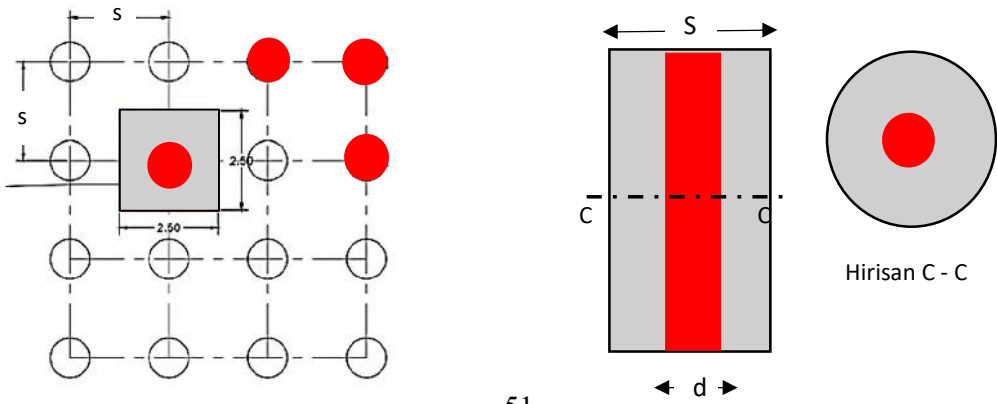
Model sampel kolom tanah-semen pada uji triaxial dan konsolidasi dibuat bervariasi, hal ini dilakukan karena ingin disyorkan model sampel kolom tanah-semen

yang optimum secara kualitatif dan kuantitatif sebagai rancangan alternatif perbaikan tanah pada kasus double trek kereta api bedi Kroya. Pada setiap rasio  $d/S$  dan pada setiap konten semen pada campuran kolom tanah-semen berlaku proses perawatan. Proses perawatan dilakukan atas model sampel kolom tanah-semen pada masa 7 hari, 28 hari dan 58 hari.

Variasi rasio  $d/S$  dilakukan untuk memperoleh pengaruh kerapatan kolom tanah-semen pada perubahan stabilan cerun di atas tambak. Variasi perawatan untuk melihat kenaikan kestabilan cerun dan tambak dengan kolom tanah-semen dari proses sementasi terhadap masa. Pemberian tegasan keliling pada setiap pengujian triaxial mengikuti Tabel 3.1, dan variasi model sampel triaxial dan konsolidasi dilakukan seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3-1 Perubahan tegasan keliling dengan sistem multi stage (*multistage system*) pada uji triaxial tak tepu model kolom tanah-semen

Contoh Uji	Tambahan Tegasan Keliling dengan Sistem Multi stage, (kN/m <sup>2</sup> )		
	CP-1	CP-2	CP-3
1	39	78	118
2	118	157	196
3	157	196	235



(a)

(b)

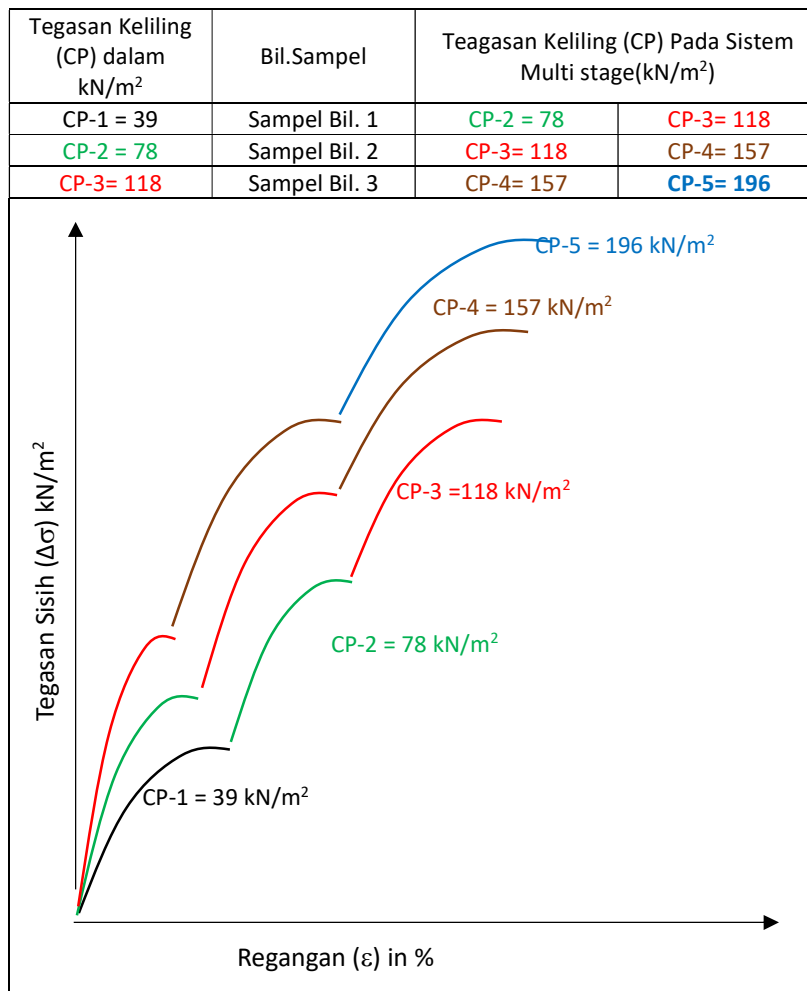
Gambar 3-6 (a) Kawasan khusus untuk satu kolom tanah-semen, (b) Model Sampel pada kolom tanah-emen di laboratorium mekanika tanah untuk uji triaxial, geser langsung dan uji konsolidasi

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat rasio antara diameter kolom tanah-semen  $d$  terhadap jarak antara kolom tanah-semen  $S$  yaitu  $d/S$  pada lapangan dan pada model sampel triaxial dan konsolidasi di laboratorium mekanika tanah.

Hubungan tegasan sisih terhadap regangan dari uji triaxial pada multi stagemodel kolom tanah-semen dapat dilihat pada Gambar 3.7. Manakala tegasan dan regangan dari uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 3.8, di mana diberikan tegasan normal bervariasi dari  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$ .

Tabel 3-2 Variasi model sampel kolom kolom-semen untuk uji triaxial dan konsolidasi di laboratorium mekanika tanah

Ra sio d/ S	Kand ungan seme n kg/m <sup>3</sup>	Masa pera wata n (hari)	Ra sio d/ S	Kand ungan seme n kg/m <sup>3</sup>	Masa pera wata n (hari)	Ra sio d/ S	Kand ungan seme n kg/m <sup>3</sup>	Masa pera wata n (hari)	Ra sio d/ S	Kand ungan seme n kg/m <sup>3</sup>	Masa pera wata n (hari)	Ra sio d/ S	Kand ungan seme n kg/m <sup>3</sup>	Masa pera wata n (hari)				
0.20	150	7	0.25	150	7	0.32	150	7	0.52	150	7	0.71	150	7				
		28			28			28			28							
		56			56			56			56							
	200	7		200	7		200	7		200	7		200	7	200	7	200	7
		28			28			28			28							
		56			56			56			56							
	250	7		250	7		250	7		250	7		250	7	250	7	250	7
		28			28			28			28							
		56			56			56			56							
	300	7		300	7		300	7		300	7		300	7	300	7	300	7
		28			28			28			28							
		56			56			56			56							

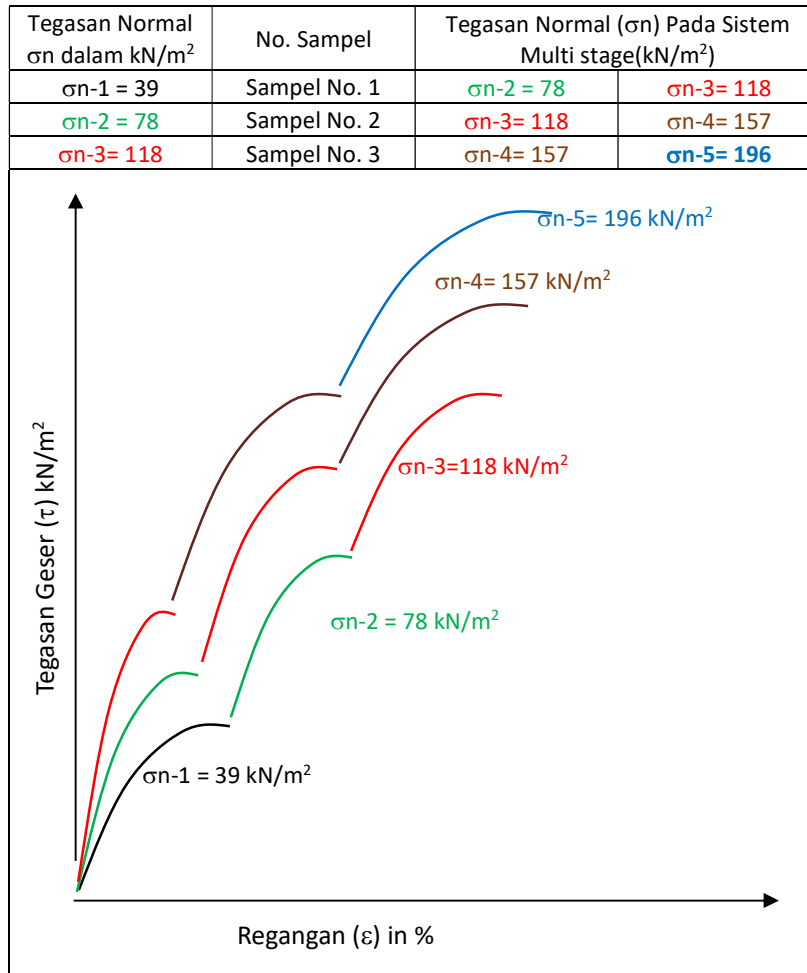


Gambar 3-7 Tegasan sisih ( $\Delta\sigma$ ) terhadap regangan ( $\epsilon$ ) tiga model sampel kolom tanah-semen dengan sistem multi stage dari uji triaxial (ASTM D 2850-87, 1989; Ho, 1982; Hormdee, 2012; Scuhanics, 2013)

### 3.5.5 Proses Perawatan Uji Sampel Triaxial, Geser Langsung dan Sampel Uji Konsolidasi di Laboratorium Mekanika Tanah

Proses perawatan dilakukan di laboratorium dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Proses perawatan pada sampel kolom tanah-semen dapat dilihat pada Gambar 3.9. Meja kotak sampel berukuran 60 cm x 14 cm x 100 cm (lebar x tinggi x Panjang), dibuat sekatan dengan kepingan fiber dengan masing-masing berukuran 10

cm x 10 cm. Terdapat 60 kotak untuk 60 sampel disediakan. Dalam penelitian ini, 3 kotak sampel diperlukan karena setiap komposisi akan melalui 3 uji.

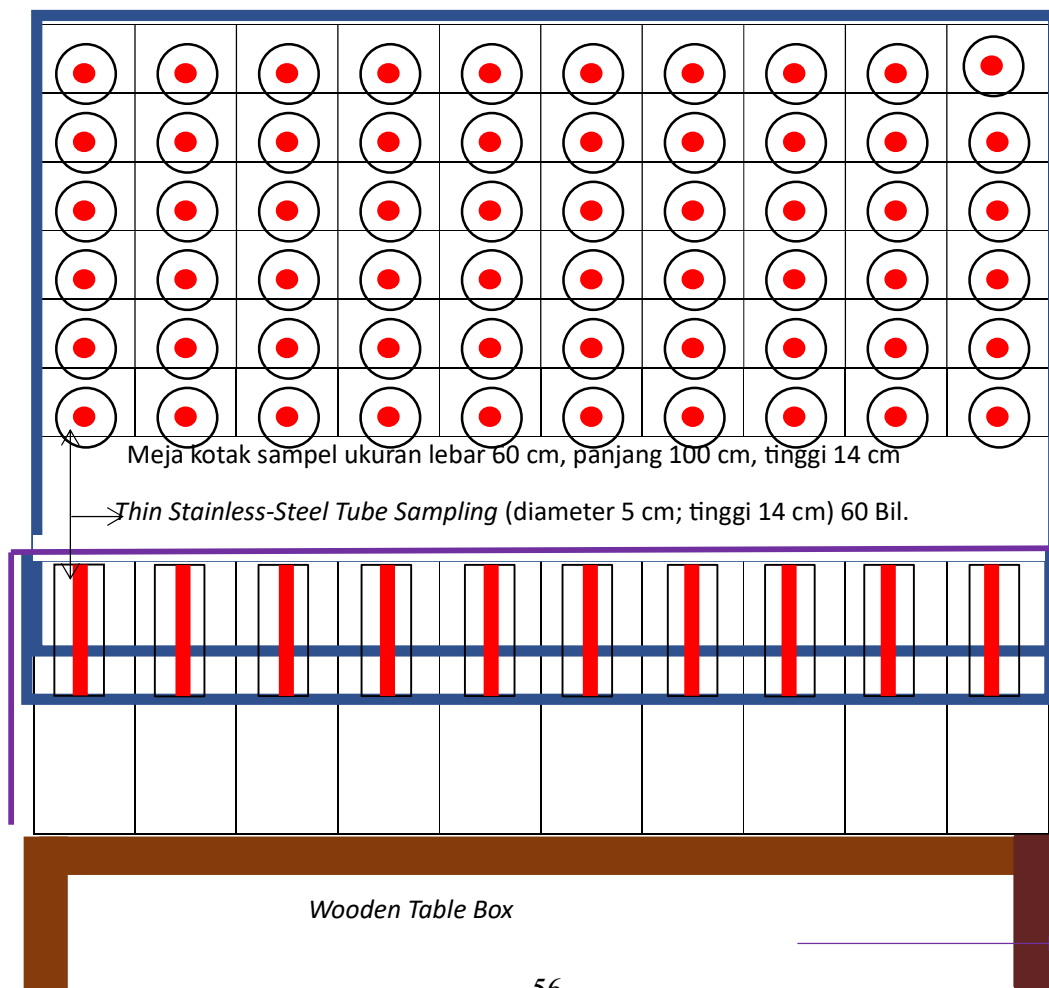


Gambar 3-8 Tegasan geser ( $\tau$ ) terhadap regangan ( $\epsilon$ ) tiga model sampel kolom tanah-semen dengan sistem multi stage dari uji geser langsung (ASTM D 6528-17, 2017; Nam, 2011)

*Thin Stainless-Steel Tube Sampling* dengan diameter 4.87 cm dan tinggi 14 cm ditusukkan pada setiap kotak untuk persiapan sampel triaxial, sampel geser langsung dan sampel uji konsolidasi.

### 3.6 Tabel Uji di Laboratorium Mekanika Tanah

Tabel 3.4 menunjukkan perencanaan uji di laboratorium mekanika tanah yang merangkumi uji-uji model kolom semen tanah dengan uji triaxial, uji geser langsung, serta uji konsolidasi. Pada setiap variasi model kolom semen tanah yang sama serta masa perawatan yang sama dilakukan uji triaxial dan uji geser langsung pada hari yang sama.







Gambar 3-9 Proses perawatan sampel untuk uji triaxial, geser langsung, dan uji konsolidasi di laboratorium pada meja kotak sampel yang dilapisi plastik pada bagian dalam (*water proof*)

Model sampel kolom semen tanah dirancang pada suatu tiga kotak sampel yang besar, dimana setiap kotak sampelnya dirancang dapat dibuat 60 model sampel kolom semen tanah. Sekolom model kolom semen tanah dibuat dari tiub keluli tahan karat (*stainleesstell tube*) dengan diameter 4.87 cm, dan tinggi 14 cm. Tiub keluli tahan karat tersebut ditusuk kedalam kotak sampel, dimana tinggi kotak sampel besarnya nya adalah 14 cm. Pada setiap tiup keluli tanah kata yang telah ditusukkan ke sampel kotak besar adalah merupakan model dari 1 sampel kolom semen tanah. Diameter tiup keluli tersebut merupakan model dari jarak antara kolom tanah semen pada lapangan. Manakala diameter kolom semen tanah pada tapat ( $d'$ ) dimodelkan pada sampel berupa kolom semen tanah dengan diemeter seperti dapat dilihat pada Gambar 3.6 (d). Manakala rasio jarak antara diemeter model kolom semen tanah ( $d$ ) dan jarak antara setiap kolom semen tanah ( $S$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3-3 Rasio jarak antara diameter kolom semen tanah ( $d$ ) dan jarak antara kolom semen tanah ( $S$ )

S	d	d/S
4.87	0.965	0.20
4.87	1.215	0.25
4.87	1.55	0.32
4.87	2.5	0.51
4.87	3.45	0.71

Pada setiap tiub keluli tahan karat diperuntukkan untuk satu uji triaxial multi stage (tinggi sampel 9 cm), satu sampel uji geser langsung (tinggi 2 cm) dan satu sampel uji konsolidasi (tinggi sampel 2 cm). Sedangkan sampel ke kolom uji tersebut adalah sama, yaitu 4.87 cm.

Tabel 3-4 Tabel uji di laboratorium untuk uji kolom tanah-semen sebagai perbaikan tanah pada trek keretapi berganda di Kroya Jawa Tengah.

Bil.	Aktiviti	Bil.	Minggu															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A1	TRIAXIAL TEST SAMPEL PREPARATION for 7 Days Curing																	
A2	TRIAXIAL TEST SAMPEL PREPARATION for 28 Days Curing																	
A3	TRIAXIAL TEST SAMPEL PREPARATION for 56 Days Curing																	
B1	DIRECT SHEAR TEST SAMPEL PREPARATION for 7 Days Curing																	
B2	DIRECT SHESR TEST SAMPEL PREPARATION for 28 Days Curing																	
B3	DIRECT SHESR TEST SAMPEL PREPARATION for 56 Days Curing																	
C	PREPARATION SUPPORTING APPARATUS TRIAXIAL & DIRECT SHEAR																	
D	TRIAXIAL TEST FOR SOIL COLUMN MODEL																	
1	Triaxial on Soil Semen Column Sampel 7 days Perawatan	60																
2	Triaxial on Soil Semen Column Sampel 28 days Perawatan	60																
3	Triaxial on Soil Semen Column Sampel 56 days Perawatan	60																
E	DIRECT SHEAR TEST FOR SOIL COLUMN MODEL																	
4	Direct Shear on Soil Semen Column Sampel 7 days Perawatan	60																
5	Direct Shear on Soil Semen Column Sampel 28 days Perawatan	60																

Bil.	Aktiviti	Bil.	Minggu																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
6	Direct Shear on Soil Semen Column Sampel 56 days Perawatan	60																	
<b>F</b>	<b>KONSOLIDASI TEST FOR SOIL COLUMN MODEL</b>																		
7	Konsolidasi Test on Soil Semen Column 7 days Perawatan	20																	
8	Konsolidasi Test on Soil Semen Column 28 days Perawatan	20																	
9	Konsolidasi Test on Soil Semen Column 56 days Perawatan	20																	
<b>F</b>	<b>INPUT DATA PROCESSING</b>																		
<b>G</b>	<b>OUTPUT DATA PROCESSING</b>																		

### 3.7 Uji Kimia, Uji Mineral dan Pengimbasan Mikrolingkup Elektron (SEM)

Uji kimia, uji mineral dengan *X-Ray Defraction* (XRD) dan uji pengimbasan mikrolingkup elektron (SEM) dilakukan di Laboratorium Geologi di Bandung, Jawa Barat. Uji ini akan menghasilkan analisis kualitatif dan kuantitatif mineral lempung Kroya dari satu lokasi pengambilan sampel pada lapangan. Dari uji XRD ini, akan diketahui komposisi secara kwalitatif dan kwantitatif mineralogi lempung lunak. Mineralogi yang ditemui dari XRD ini diverifikasi dengan ujain pengimbasan mikrolingkup electron (SEM) dengan melihat bentuk fisik yang dijumpai dari uji XRD.

### 3.8 Hasil uji Laboratorium

Tabel 3.5 samapai dengan tabel 3.10 berikut ini adalah ringkasan dari uji-uji yang dilakukan di laboratorium.

Tabel 3-5 Uji-uji asal di laboratorium mekanika tanah

Item kod	Jenis Uji Awalan di Laboratorium					
	Mineralogi by XRD	S.E.M	Sifat Indeks	Specifik gravity (Gs)	Taburan saiz zarah (GSD)	Triaxial (UU)
Lempung Kroya	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 3-6 Uji laboratorium pada kolom tanah semen dengan rasio d/S = 0.2

Kod Sampel (d/S- konten semen/m <sup>3</sup> )	Waktu Perawatan	Pengukuran Perubahan Isipadu	Uji Konsolidasi	Uji Geser	
				Triaxial Tak Tepu	Geser Langsung Tak Tepu
d/S 0.2; 150 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.2; 200 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.2; 250 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.2; 300 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓

Tabel 3-7 Uji laboratorium pada kolom tanah semen dengan rasio d/S = 0.25

Kod Sampel (d/S- konten semen/m <sup>3</sup> )	Waktu Perawatan	Pengukuran Perubahan Isipadu	Uji Konsolidasi	Uji Geser	
				Triaxial Tak Tepu	Geser Langsung Tak Tepu
d/S 0.25; 150 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.25; 200 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓

d/S 0.25; 250 kg	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.25; 300 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓

Tabel 3-8 Uji laboratorium pada kolom tanah semen dengan rasio d/S = 0.32

Kod Sampel (d/S- konten semen/m <sup>3</sup> )	Waktu Perawatan	Pengukuran Perubahan Isipadu	Uji Konsolidasi	Uji Geser	
				Triaxial Tak Tepu	Geser Langsung Tak Tepu
d/S 0.33; 150 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.33; 200 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.33; 250 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.33; 300 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓

Tabel 3-9 Uji laboratorium pada kolom tanah semen dengan rasio d/S= 0.51

Code Sampel (d/S- konten semen/m <sup>3</sup> )	Waktu Perawatan	Pengukuran Perubahan Isipadu	Uji Konsolidasi	Uji Geser	
				Triaxial Tak Tepu	Geser Langsung Tak Tepu
d/S 0.50; 150 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
	7 hari	✓	✓	✓	✓

d/S 0.50; 200 kg	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.50; 250 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.50; 300 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓

Tabel 3-10 Uji laboratorium pada kolom tanah semen dengan rasio d/S = 0.71

Kod Sampel (d/S- konten semen/m <sup>3</sup> )	Waktu Perawatan	Pengukuran Perubahan Isipadu	Uji Konsolidasi	Uji Geser	
				Triaxial Tak Tepu	Geser Langsung Tak Tepu
d/S 0.67; 150 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.67; 200 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.67; 250 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓
d/S 0.67; 300 kg	7 hari	✓	✓	✓	✓
	28 hari	✓	✓	✓	✓
	56 hari	✓	✓	✓	✓

### 3.9 Jenis dan Lokasi Laboratorium Penguji

Tabel 3.11 di bawah ini menerangkan jenis-jenis uji dan lokasi laboratorium untuk uji tersebut. Semua persiapan peralatan laboratorium dan uji lapangan dimasukkan di dalam lampiran penelitian yang akan disusun nantinya.



Tabel 3-11 Jenis uji dan lokasi laboratorium uji

Bil.	Jenis uji	Tempat laboratorium uji
1	Kandungan air, sifat indeks, batas atterberg, berat tentu, taburan saiz zarah	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
2	Uji <i>Perawatan Time</i> Sampel Triaxial, Geser Langsung dan Konsolidasi	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
3	Uji triaxial (tak tepu)	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
4	Uji geser langsung (tak tepu)	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
5	Uji konsolidasi	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
6	Uji kimia, mineral tanah dengan XRD dan SEM	Laboratorium <i>Directorat of Geology, Ministry of Mining and Energy RI</i> , Bandung, Jawa Barat atau Laboratorium Lemigas, ESDM, Cipulir, Jakarta Selatan.

## BAB 4

### KEPUTUSAN PENELITIAN LEMPUNG LUNAK DENGAN KANDUNGAN SEMEN

#### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini hasil uji laboratorium akan disampaikan dari pada parameter komposit kolom semen tanah melalui uji triaxial dan uji geser langsung yang dipakai dalam analisis kestabilan cerun pada subgrade kereta api double track di Kroya Jawa Tengah. Semua hasil uji lempung lunak tak terganggu pada bab ini ialah dengan menggunakan sampel yang diperoleh dari kotak sampel dari uji galian. Penelitian pembahasan di mulai dengan pembahasan hasil uji lapangan Kroya berupa penelitian geologi, pengerudian teras (Boring), penusukan piawai (SPT), dan uji sondir (CPT). Hasil uji laboratorium dari tanah tak terganggu dari uji galian dan pengerudian teras dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat semula dari pada sifat indek, sifat fisik dan sifat mekanikaal. Perubahan sifat indeks dari lempung Kroya yang ditambah dengan variasi peratus semen dilakukan di dalam penelitian awal ini.

Perubahan sifat indeks tanah komposit akibat digunakannya kolom semen tanah pada tanah lunak Kroya berupa perubahan berat isi pukal komposit ( $\gamma_{comp}$ ) dan kandungan air komposit ( $w_{comp}$ ). Perubahan ini diamati pada semua sampel uji triaxial akibat dimodelkannya kolom semen tanah pada setiap sampel dengan variasi peratus kandungan semen dari 150 kgPC/m<sup>3</sup> ke 300 kgPC/m<sup>3</sup>.

Pengaruh kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S, masa perawatan dan variasi peratus semen pada kolom semen terhadap rasio kekuatan geser di bahas terlebih dahulu daripada pengaruh tanah kolom semen tanah terhadap perubahan kejelekitan dan sudut geseran dalam dari uji triaxial. Karena perubahan rasio kekuatan geser kolom semen tanah akibat variasi rasio d/S, masa perawatan dan peratus kandungan semen sangat dipengaruhi oleh dua parameter kekuatan geser, yaitu perubahan kejelekitan dan perubahan sudut geseran dalam. Dalam uji triaxial,

kejelekitan dan sudut geseran dalam diperoleh dari garis tangen bulatan Mohr, manakala bulatan Mohr diperoleh dari rajah tegasan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Sedangkan rasio kekuatan geser adalah rasio antara tegasan sisih ( $\Delta\sigma$ ) dengan tegasan keliling ( $\sigma_3$ ) dari uji triaxial. Rasio kekuatan geser  $\Delta\sigma/\sigma_3$  yang diperoleh dari uji triaxial ini adalah factor daripada perubahan kejelekitan dan sudut geseran dalam.

Pengaruh kolom semen tanah terhadap variasi diatas juga dilakukan terhadap rasio kekuatan geser dan perubahan kejelekitan dan sudut geseran dalam dari uji geser langsung. Dalam uji geser langsung, kejelekitan dan sudut geseran dalam diperoleh dari garis lurus Coulomb, manakala garis tersebut diperoleh dari rajah tegasan geser ( $\tau$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Rasio kekuatan geser, adalah  $\tau/\sigma_n$  dari uji geser langsung merupakan rasio antara tegasan geser ( $\tau$ ) dengan tegasan normal ( $\sigma_n$ ), Nilai rasio ini adalah factor daripada uji geser langsung iaitu perubahan kejelekitan dan sudut geseran dalam, seperti pada uji triaxial.

Dari rajah tegasan regangan uji triaxial didapati nilai modulus anjal permulaan komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ) dan modulus anjal sekan komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ ). Kedua modulus anjal ini merupakan hal yang selalu diperlukan dalam setiap analisis rekabentuk geoteknik termasuk analisis kestabilan cerun. Perubahan modulus anjal komposit ini dilihat dari variasi rasio d/S, masa perawatan dan kandungan peratus semen pada kolom semen tanah.

## 4.2 Keputusan Uji Lapangan

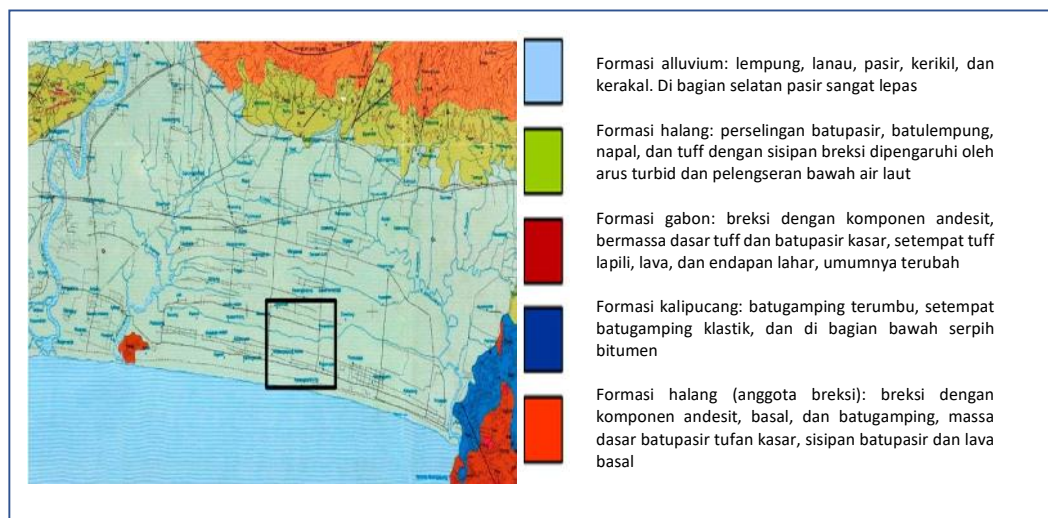
Penelitian geologi berlaku selalunya dilakukan pada awal pekerjaan, untuk mendapatkan gambaran tentang sejarah terbentuknya tanah pada kawasan lapangan Kroya supaya lebih memahami tentang pembetulan kelakuan dari lempung lunak di dalam penelitian ini. Keputusan uji lapangan dilakukan dengan melakukan pengumpulan data berupa penelitian geologi pada lapangan jalur rel double track di Kroya. Pengumpulan data pengerudian teras dan penusukan piawai, uji sondir serta uji makma yang telah berlaku saat dilakukan pada masa pembinaan timbunan jalur

rel double track pada tahun 2009 (Promisco, 2016). Uji galian pada STA 374+200 sekaligus pengambilan sampel kotak pada tanah lunak untuk uji model kolom semen tanah di laboratorium akan dilakukan.

Untuk melakukan pengesahan pada sifat lempung lainnya, maka dilakukan pengambilan sampel tak terganggu dari pada lima uji pengerudian teras di lokasi titik yang sama pada lempung lunak dengan uji galian. Jenis tanah sedang dan tanah kaku juga dilakukan uji model kolom semen tanah sebagai pengesahan dari uji model kolom semen pada tanah lunak yang terletak di atasnya.

#### 4.2.1 Penelitian Geologi Kawasan

Secara geologis wilayah pesisir Cilacap terbentuk dari beberapa formasi batuan beku dan sedimen (alluvium). Secara geologis daratan di Kabupaten Cilacap terdiri atas formasi Rambatan, formasi Halang, formasi Kumbang, dan formasi Lapangan, yang sebagian besarnya tertutup oleh endapan alluvium. Sedangkan endapan alluvium pantai menutupi bagian pesisir selatan wilayah Kabupaten Cilacap. Daerah penelitian di Kroya ini terdiri atas endapan alluvium dan endapan alluvium pantai (Asikin, 1992), seperti terlihat pada lembar geologi Banyumas pada Rajah 4-1 berikut:



**Rajah 4.1** Lembar geologi kabupaten Banyumas (Asikin, 1992)

#### 4.2.2 Uji Galian

Uji galian pada sisi subgrade kereta diperoleh tanah lempung sangat lunak. Pada uji galian sedalam 1.00 meter tersebut dilakukan pengambilan kotak sampel tanah sangat lunak tak terganggu, dengan menekan kotak sampel keluli nipis yang berukuran 20x20x60 cm. Pada Rajah 4.2 dapat dilihat semasa pembuatan galian tanah dan pengambilan kotak sampel tanah, untuk yang akan dibuat kolom tanah semen untuk penguji di laboratorium.



**Rajah 4.2** (a) Test pit dan pengambilan sampel kotak tanah. (b) Uji sondir pada May 2022. (c) Lokasi uji galian tan sondir disisi subgrade kereta api double track Kroya-Purwokerto, Jawa Tengah.

### 4.2.3 Pengerudian Teras

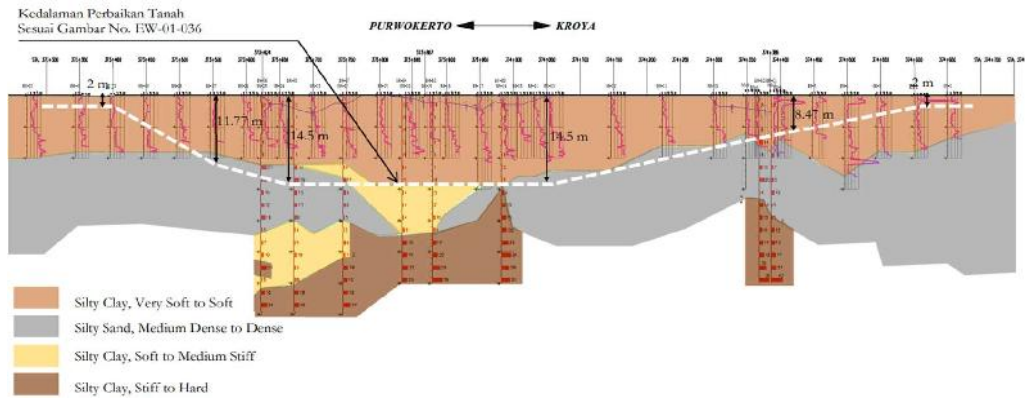
Lapisan tanah sepanjang 1400 meter pada lapangan subgrade kereta api double track di Kroya di dominasi lapisan tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga kaku, seperti telah dijelaskan pada Rajah 4.4 dan diperoleh dari delapan titik uji pengerudun teras (Bauer Pratama Indonesia, 2016). Dari Rajah 1.3 tersebut diketahui bahwa lapisan tanah hingga kedalaman 8.00 meter hingga 15.00 meter diperoleh tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga sedang,

Lokasi titik uji pengerudian teras (Boring) dan uji penetrasi kon (CPT) sepanjang STA 373+300 sehingga 374+ 750 dapat dilihat pada Rajah 4.3 berikutnya.



**Rajah 4.3** Titik-titik uji pengerudian teras (*Boring*) dan uji penetrasi kon (CPT) (Bauer Pratama Indonesia, 2016).

Dari pada uji-uji pengerudian teras diperoleh keadaan lapisan tanah sepanjang lapangan pembinaan seperti pada Rajah 4.4 berikut. dimana diperoleh lapisan lempung lunak pada ketebalan yang berbeza.

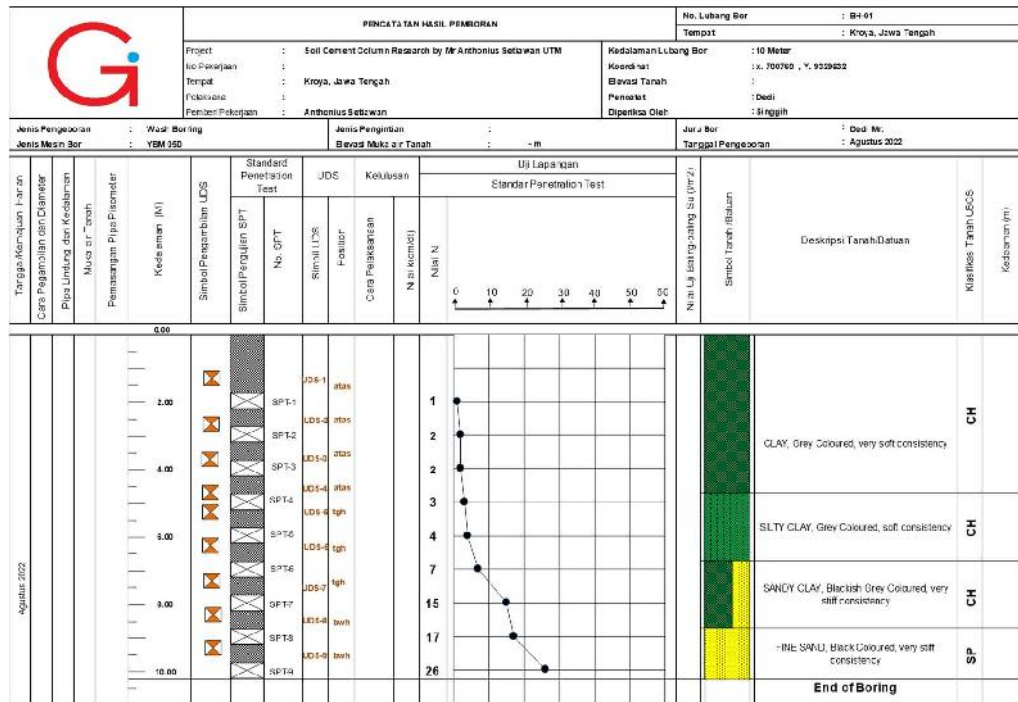


**Rajah 4.4** Stratigrafi tanah KM 373+300 – KM 374+650 (Bauer Pratama Indonesia, 2016)

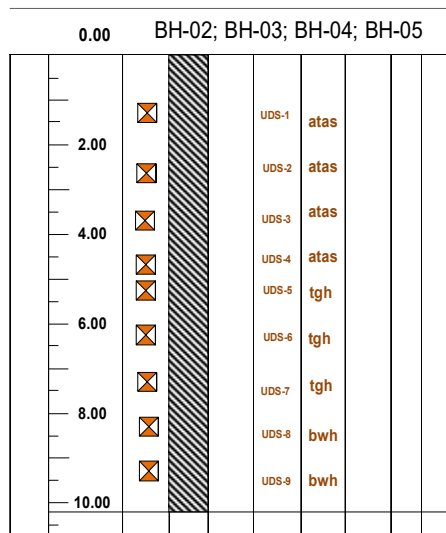
Uji penggerudian teras sebanyak 5 uji (BH-01 hingga BH-05) sebagai bentuk pengesahan penelitian terdahulu telah dilakukan pada lokasi lapangan yang sama seperti pada Rajah 4.2 c. Detail lapangan penggerudian teras tersebut seperti pada Rajah 4.6 b. Pada titik BH-01 dilakukan penggerudian teras bersamaan dengan uji penusukan piawai setiap interval kedalaman 1.00 meter. Diantara titik uji N-SPT dilakukan pengambilan sampel tak terganggu dengan *thin walled tube sampler* setiap kedalaman 1.00 meter. Hasil uji penggerudian teras dan pengujian N-SPT dapat dilihat seperti pada Rajah 4.5.

Manakala pada empat titik penggerudian teras lainnya iaitu titik BH-02, BH-03, BH-04 dan BH-05 hanya dilakukan pengambilan sampel tidak terganggu disetiap interval kedalaman 1.00 meter. Detail lapangan ke 4 titik penggerudian teras hanya berjarak 1.50 meter antara setiap titiknya, seperti dapat dilihat pada Rajah 4.6 b. Sedangkan kedalaman sampel tidak terganggu dapat dilihat pada Rajah 4.6.a

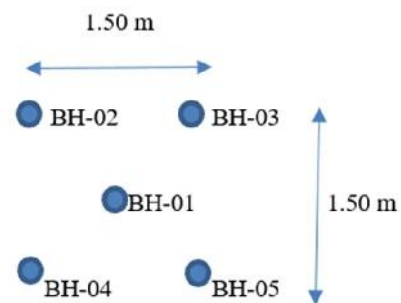




Rajah 4.5 Hasil uji pengerudian teras pada titik BH-01 pada Ogos 2022



(a)



(b)



**Rajah 4.6** (a) Kedalaman pengambilan sampel tak terganggu pada lubang BH-2; BH-3, BH-4 dan BH-05, (b) Lay-out 5 titik penggerudian teras pada lempung lunak Kroya Ogos 2022 di STA 374+200

#### 4.2.4 Penusukan Piawai (SPT)

Hasil penguji penusukan piawai (N-SPT) yang dilakukan pada bulan Ogos 2022 dilakukan bersamaan pada masa pengerudian teras. Lokasi pengerudian teras, penusukan piawai dan pengambilan sampel tak terganggu (UDS *Sample*) sangat berdekatan dengan lokasi penguji galian dengan pengambilan sampel. Nilai penusukan piawai (N-SPT) dapat dilihat pada Rajah 4.5, dimana diperolehi variasi nilai N-SPT hingga kedalaman 10 meter dari permukaan aras tanah. Konsistensi dari permukaan tanah hingga kedalaman -4,00 meter ialah sangat lunak dengan rentang N-SPT antara 1 hingga 3. Manakala mulai kedalaman -4.00 meter hingga -7.00 meter diperolehi konsistensi lebut hingga sedang dengan rentang N-SPT antara 4 hingga 7. Sedangkan dari kedalaman -7.00 meter hingga kedalaman -10.00 meter diperolehi tanah lempung dengan konsistensi kaku hingga sangat kaku (*stiff to very stiff consistency*) dengan rentang N-SPT antara 7 hingga 26.

Hasil penusukan piawai secara umum pada lintasan jalur kereta api tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 hasil dari pada 8 titik pengerudian teras yang telah dilakukan pada 2016 (Bauer Pratama Indonesia, 2016).

Tabel 4.1 Hasil N-SPT pada 8 titik pengerudian teras yang dilakukan tahun 2016 (Bauer Pratama Indonesia, 2016)

Kedalaman	N-SPT							
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06	BH-07	BH-08
<b>1.55</b>	2	2	6	2	2	2	2	6
<b>3.55</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>5.55</b>	1	2	1	1	1	1	2	1
<b>7.55</b>	1	14	1	2	1	1	1	1
<b>9.55</b>	11	4	1	1	1	1	1	1
<b>11.55</b>	7	12	1	4	14	21	4	1
<b>13.55</b>	9	20	4	1	19	8	11	4
<b>15.55</b>	12	4	3	4	13	10	9	3
<b>17.55</b>	5	14	2	4	13	12	8	2
<b>19.55</b>	5	12	10	4	9	16	5	10
<b>21.55</b>	12	11	9	9	4	5	3	9
<b>23.55</b>	13	14	14	18	5	7	8	14
<b>25.55</b>	17	18	22	19	10	10	7	22
<b>27.55</b>	21	28	29	22	6	21	19	29
<b>29.55</b>	42	39	39	20	9	5	15	38
<b>31.55</b>					18	15	18	
<b>33.55</b>					19	24	27	

#### 4.2.5 Uji Sondir

Hasil uji sondir (CPT) sebanyak 30 uji yang dimulakan dari pada STA 373+300 hingga 374+650 sebagaimana dapat dilihat pada Rajah 4.4, menunjukkan bahwa ketebalan lapisan tanah lempung yang perlu di perbaiki dengan metode kolom semen tanah kedalamannya berbeza-beza (Bauer Pratama Indonesia, 2016; Promisco, 2016). Uji ulang sondir juga dilakukan pada masa uji 5 titik penggerudian teras dilakukan pada bulan Ogos 2022. Lokasi titik uji sondir juga sangat berdekatan, seperti dapat dilihat pada Rajah 4.2 (c).

Salah satu hasil uji sondir sejumlah 30 uji dapat dilihat pada Rajah 4.7.a berikut, dimana dari permukaan tanah hingga kedalaman -7.00 meter, dijumpai lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak. Mendekati kedalaamn 7.00 meter konsistensi kaku sedang sehingga kaku. Uji sondir tersebut dilakukan pada bulan Ogos tahun 2016, pada ketika dilakukan perancangan jalan kereta api double track Purwekerto – Kroya (Promisco, 2016).

Kondisi lapisan tanah disepanjang lapangan STA 373+300 hingga 374+650 pada subgrade kereta api double track dapat dilihat pada Rajah 4.4. Pada Rajah

tersebut yang dibuat dari 30 uji sondir dan 8 penggerudian teras dengan uji penusukan piawai, bertujuan untuk menentukan kedalaman penambahbaikan dengan kolom semen tanah (SCC). Kedalaman SCC ditentukan dari permukaan tanah yang berkonsistensi sangat lunak hingga kedalaman tanah dengan konsistensi sangat kaku. Dari keadaan lapisan tanah disepanjang laluan subgrade tersebut, maka dipakai kedalaman SCC mulai dari 8.4 meter hingga 24.5 meter dari permukaan aras tanah (Promisco, 2016)

### **4.3 Uji Awal di Laboratorium**

Uji awal dilaboratorium diawali sejak diPermulaannya perencanaan subgrade kereta api double track Purwokerto – Kroya pada tahun 2016 (Promisco, 2016). Hasil uji di laboratorium dari 8 tub sampel tak terganggu dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut, dimana dilakukan pada sampel dikedalaman antara -3.00 meter hingga -23.00 meter.

**Tabel 4.1** Ikhtisar hasil uji di laboratorium atas 8 sampel tak terganggu pada Ogos 2016 (Promisco, 2016)

No.	Bore Hole / Sample No.	Depth (m)	Specific Gravity, G <sub>s</sub>	Density		n	Sr (%)	W <sub>n</sub> (%)	Atterberg's Limit				Particle Size Distribution (PSD)					Triaxial UU		Triaxial CU				Direct Shear		Consolidation							
				γ <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>t</sub> (kN/m <sup>3</sup> )				LL (%)	PL (%)	IP (%)	Class.	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	% finer by weight passing Sieve no 200	ASTM Soil Class.	c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (degree)	c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (degree)	c <sub>u</sub> ' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (degree)	c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (degree)	C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /sec)	P <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )				
1	BH-03 UDS 1	15.05 - 15.55	2.695	16.786	10.119	0.53	100.00	64.13	47.76	35.52	12.24	ML	0.00	5.76	46.12	48.12	94.24	ML	35.4	6.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.827	0.00778	113.0
2	BH-03 UDS 2	21.05 - 21.55	2.694	16.596	10.795	0.51	96.80	54.16	103.21	45.41	57.80	MH	0.00	0.20	20.30	79.50	99.80	MH	53.1	7.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.354	0.00234	121.4	
3	BH-06 UDS 1	3.05 - 3.55	2.611	16.057	9.612	0.54	100.00	69.03	90.68	33.02	57.66	CH	0.00	1.06	26.42	72.52	98.94	CH	-	-	18.00	9.59	16.00	11.43	-	-	-	-	0.567	0.00345	84.0		
4	BH-06 UDS 2	23.05 - 23.55	2.513	15.640	9.249	0.59	100.00	157.45	86.84	70.43	16.41	MH	0.00	2.16	47.84	50.00	97.84	MH	28.5	7.51	-	-	-	-	-	-	-	-	1.607	0.00506	172.6		
5	BH-07 UDS 1	13.05 - 13.55	2.682	17.438	11.870	0.46	99.87	48.44	NP	NP	NP	-	0.02	72.32	19.45	8.21	27.66	SW	-	-	-	-	-	-	3.90	13.00	0.466	0.05654	127.0				
6	BH-07 UDS 2	21.05 - 21.55	2.642	15.027	7.392	0.63	100.00	106.84	65.18	42.55	22.63	MH	0.00	7.44	42.56	50.00	92.56	MH	36.9	5.55	-	-	-	-	-	-	-	-	0.906	0.00197	131.2		
7	BH-08 UDS 1	3.05 - 3.55	2.493	12.620	4.431	0.77	99.60	184.66	192.26	57.82	134.44	CH	0.00	1.52	18.34	80.14	98.48	OH	-	-	39.00	6.47	38.00	7.63	-	-	-	-	1.036	0.00217	110.0		
8	BH-08 UDS 2	17.05 - 17.55	2.697	17.030	11.096	0.50	100.00	54.64	90.42	45.32	45.10	MH	0.00	0.56	59.35	40.09	99.44	MH	64.8	8.19	-	-	-	-	-	-	-	-	0.385	0.00310	106.0		
<b>TOTAL NO. OF TEST</b>			8	8			8	8				8					5					1	8										

Uji laboratorium dilakukan semula



#### 4.3.1 Sifat-sifat Indeks

Dari 2 titik pengujian pengerudaian teras dangkal diperoleh 4 sampel tak terganggu diperoleh dari kedalaman -1.50 meter hingga -3.00 meter dari permukaan aras. Diperoleh jenis tanah lempung sangat lunak ini mempunyai rentang kandungan lempung antara 58% sampai dengan 76 % serta rentang kandungan airnya antara 38.2 % hingga 47.4%.

Rentang ketumpatan pukal ( $\gamma$ ) antara 13.14 kN/m<sup>3</sup> hingga 14.35 kN/m<sup>3</sup>, dengan rentang rasio lumpang antara 1.668 hingga 1.715. Batas atterberg dari uji konsistensi diperoleh liquid limit (LL) dengan rentang 50.12 % hingga 66.17%, rentang had plastic (PL) antara 36.24 % hingga 40.06% dan indeks keplastikan (PI) dengan rentang 6.15 % hingga 23.04 %. Secara keseluruhan sifat-sifat indeks dapat dilihat pada Tabel

#### 4.3.2 Sifat Fisik

Sifat fisik yang dilakukan dengan uji analisis ayak dan uji hydrometer mendapati taburan saiz berbutir dengan rentang kandungan kerikil antara 0.2% hingga 6.5%, kandungan pasir antara 5.9% hingga 14.6%. Sedangkan rentang kandungan kleodak antara 15.6% hingga 35.9%, manakala rentang kandungan lempung diantara 58.0% hingga 76.0 %.

Secara umumnya, sifat fisik tanah tersebut merupakan tanah berbetur lunak atau lempung dengan keplastikan rendah, dimana peratus tanah lempung lebih besar dari 50% dan indeks keplastikannya (PI) lebih kecil dari 35%. Sifat tanah seperti ini terlihat juga dari uji di lapangan tersebut yang lalu (Promisco, 2016), dan uji yang dilakukan pada bulan August 2022, hingga kedalaman -7.00 meter dari permukaan aras.

#### 4.3.3 Sifat Mekanikal Dengan Uji Triaxial UU

Uji mekanikaal lempung Kroya di laboratorium dilakukan melalui uji triaxial tak tersalir. Dari tabel 4.2 rentang kejeleketan ( $c_u$ ) tak tersalir diperoleh antara 17 kN/m<sup>2</sup> hingga 20 kN/m<sup>2</sup>, dengan rentang sudut geseran dalam ( $\phi$ ) antara 3.93° hingga 6.08°. Manakala dari sampel kotak yang diperoleh dari uji galian, jeleket ( $c_u$ ) tak tersalir diperoleh secara rata-rata sebanyak 1.82 kN/m<sup>2</sup>, dengan sudut geseran dalam ( $\phi$ ) antara 5.7°. Rasio kekuatan rich (SSR), kekuatan rich ( $c_u$  dan  $\phi$ ) dan elastisiti modulus (E) dari uji galian dan penggerudian teras dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.2** Ringkasan hasil uji di laboratorium ke atas 4 sampel tak terganggu pada masa uji galian Mei 2022

Project	Penelitian Kolom Tanah Semen Subgrade Kereta Api double track Purwokerto- Kroya, UTM		Bor Hole No		SB-1 &	SB-2
Location	Kroya, Jawa Tengah		Checked By		Singgih S.	
ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	SB-1	SB-1	SB-2	SB-2
			1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00
<b>INDEX PROPERTIES</b>						
	Water Content ( Wn )	%	38.241	46.193	42.538	47.826
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.314	1.426	1.372	1.435
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	0.950	0.975	0.963	0.971
	Specific Gravity	-	2.580	2.602	2.580	2.600
	Void Rasio ( e )	-	1.715	1.668	1.680	1.678
	Porosity ( n )	-	0.632	0.625	0.627	0.627
	Degree of SatuRasion ( Sr )	%	57.518	72.048	65.312	74.095
	Liquid Limit ( LL )	%	53.543	50.214	57.906	66.173
	Plastic Limit ( PL )	%	40.141	44.061	36.245	43.130
	Plasticity Index ( PI )	%	13.402	6.153	21.661	23.043
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>						
	Gravel	%	0.18	0.45	0.50	0.28
	Sand	%	5.89	6.36	7.93	14.54
	Silt	%	35.93	26.69	15.57	22.68
	Clay	%	58.00	66.50	76.00	62.50
	Organic Matter	%	-	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>						
<b>Unconfined Compression Test</b>						
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $c_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-	-
<b>Direct Shear Test</b>						
	Cohesion Undrained ( $c_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-	-
<b>Triaxial UU Test</b>						
	Cohesion Undrained ( $c_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	0.19	0.17	0.18	0.20
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	4.93	6.08	6.07	5.77
<b>Triaxial CU Test</b>						
	Cohesion Undrained Total ( $c_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>				
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree				
	Cohesion Undrained Eff. ( $c_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>				
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree				
<b>COMPRESSIBILITY</b>						
	Prakonsolidasi Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.68	1.43	1.73	1.27
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.57	0.76	0.45	0.68
	Coef. Of Konsolidasi ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.47	0.69	0.82	0.53
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.035	0.03	0.06	0.045

**Tabel 4.3** Rasio kekuatan geser (SSR), kekuatan geser dan modulus anjal lempung lunak Kroya dari uji galian dan penggerudian teras.

Sifat Semula Rata-rata Lempung Lunak Dari Uji Galian
--

SSR RATA-RATA	$c_u$	$\phi$	$E_s$	$E_i$	$E_{50}$
	kN/m <sup>2</sup>	Darjah (°)	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
0.132	1.850	5.71	997.517	2778.333	2394.871
Sifat Semula Rata-rata Lempung Lunak Dari Uji Penggerudian Teras					
SSR RATA-RATA	$c_u$	$\phi$	$E_s$	$E_i$	$E_{50}$
	kN/m <sup>2</sup>	Darjah (°)	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
0.397	6.000	6.209	2044.227	7823.476	5241.238

#### 4.4 Perubahan Sifat-Sifat Indeks Lempung Lunak Akibat Penambahan Semen

Perubahan sifat-sifat indeks lempung lebut Kroya akibat penambahan beberapa variasi semen seperti perubahan batas atterberg (LL, PL dan PI) serta perubahan spesifik gravity (Gs) di lakukan uji pada laboratorium sebelum uji kolom tanah semen dilakukan uji kekuatan gesernya. Uji tersebut dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan semen terhadap perubahan terhadap kelakuan tanah semen yang akan digunakan sebagai bahan kolom tanah semen.

##### 4.4.1 Perubahan Batas atterberg Akibat Penambahan Semen

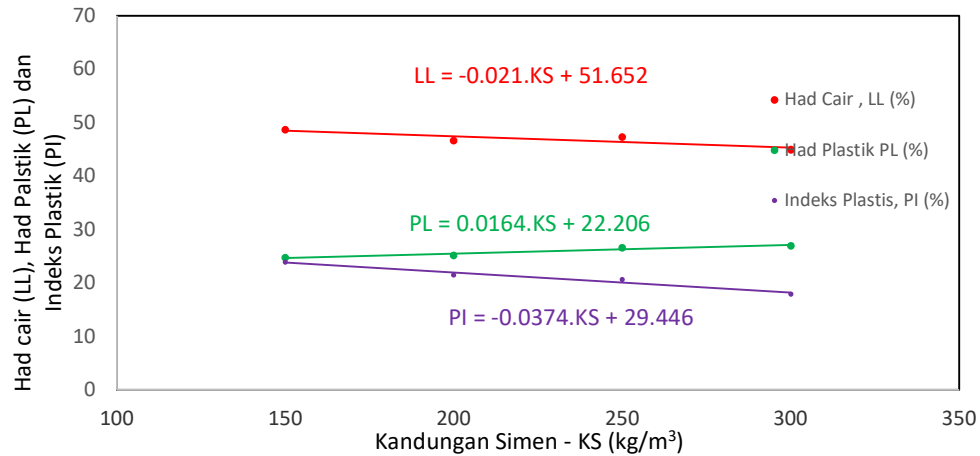
Akibat penambahan kandungan semen pada tanah lunak Kroya, terjadi perubahan sifat-sifat lempung dari sifat aslinya. Perubahan batas atterbergnya berupa penurunan liquid limit (LL) dengan rentang penurunan 7.7 % hingga 16.0% akibat penambahan kandungan semen hingga dari 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Sedangkan plastik limitnya naik dengan rentang antara 0.1% hingga 9% akibat penambahan kandungan semen dari 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala indek plastiknya terjadi pemurumam dengan rentang penurunan 24.9% hingga 30.2% akibat penambahan kandungan semen seperti diatas.

**Tabel 4.4** Perubahan batas atterberg akibat penambahan kandungan semen pada tanah bagian atas dan bagian tengah.

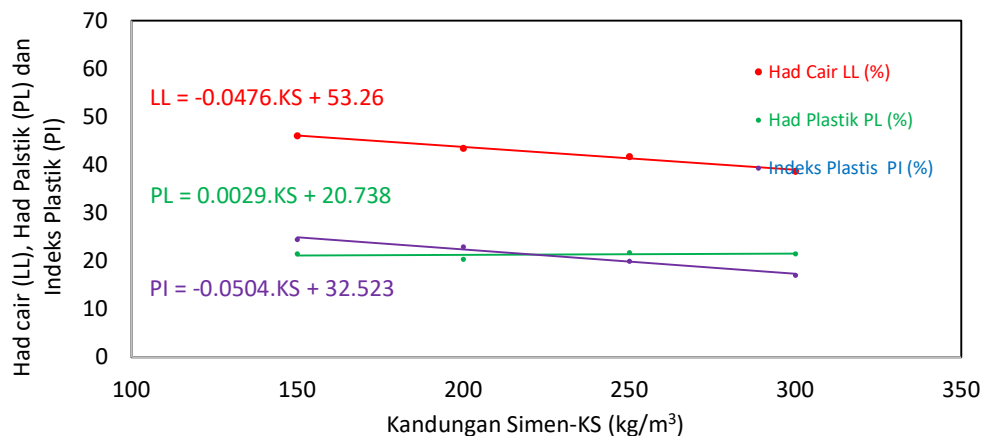
LOKASI SAMPEL	BATAS ATTERBERG	Kandungan Semen Dalam Tanah (kgPC/m <sup>3</sup> )			
		150	200	250	300
Sampel Bagian Atas (1.00 – 2.00) m	Liquid limit (LL)	48.70	46.65	47.35	44.96
	Plastik limit PL)	24.76	25.16	26.67	26.99
	Plastisiti indeks (PI)	23.94	21.50	20.68	17.97
	Liquid limit (LL)	46.12	43.52	41.85	38.74



Sampel Bagian Tengah (3.00 – 5.00) m	Plastik limit PL)	21.59	20.49	21.85	21.61
	Plastisiti indeks (PI)	24.53	23.03	20.01	17.13



**Rajah 4.7** Perubahan liquid limit (LL), had plastic (PL) dan indeks plastic (PI) akibat penambahan kandungan semen (kg/m<sup>3</sup>) pada tanah bagian atas (1.00 -2.00) meter



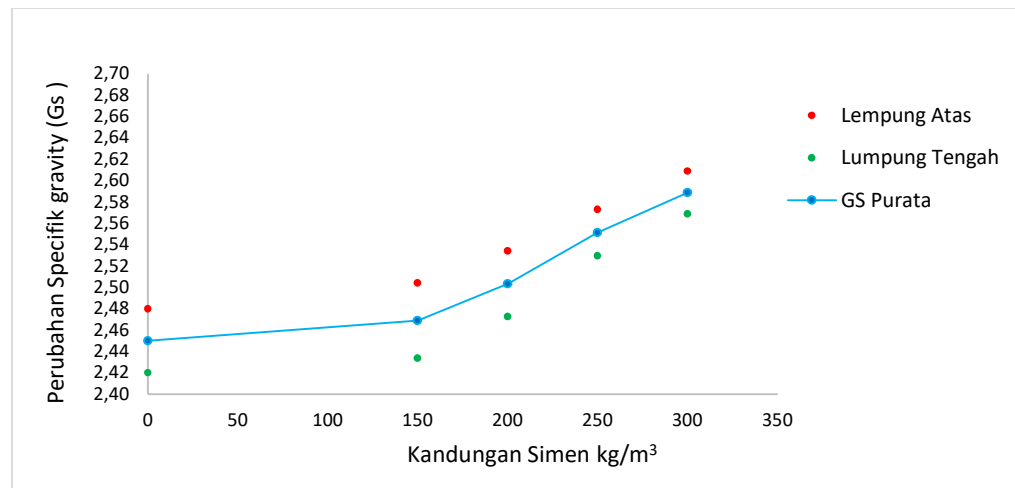
**Rajah 4.8** Perubahan liquid limit (LL), had plastic (PL) dan indeks plastic (PI) akibat penambahan semen (kg/m<sup>3</sup>) pada tanah bagian tengah (3.00 -5.00) meter

Hal serupa terjadi pada penelitian lempung losari di utara Pulau Jawa yang memiliki kandungan mineral monmorilonite, bahwa liquid limit (LL) berkurang dengan ditamhkannya semen hingga 10 % melalui persamaan  $LL = 99,2 - 11,75 A + 0,81 A^2$ .

Sedangkan plastik limit (PL) nya berlaku persamaan  $PL = 24.6 + 0.052 A + 0.12 A^2$ , manakala indeks plastiknya  $PI = 67.5 - 11.7 A + 0.67 A^2$ , dimana A peratus semen yang digunakan dengan rentang 2 % hingga 10% (Alatas I.M, 1991). Penurunan sifat keplastikan akibat penambahan semen juga terbukti dilakukan pada tanah laterit (Akinwumi I.I., 2015), pada lempung Texas USA (Sankar Bhattacharja, 2003). Kandungan semen juga telah menyebabkan penurunan sifat pengampulan (swelling) tanah lempung losari akibat penambahan semen dan kapur (Alatas I.M, 1991), dan pada daerah perlombongan penambangan minyak di Oman (Ramzi Taha, 2001)

#### 4.4.2 Perubahan Specific gravity (Gs) Akibat Penambahan Semen

Penambahan semen pada tanah lempung lunak Kroya akan menyebabkan peningkatan gravity tentu (Gs), seperti ditunjukkan pada Rajah 4.9 berikut. Hal ini terjadi karena gravity tentu tanah lempung lunak (Gs) lebih kecil dari gravity semen yang digunakan.



**Rajah 4.9** Perubahan gravity tentu (Gs) dari tanah lempung lunak akibat penambahan variasi kandungan semen.

Penelitian lepas telah juga membuktikan bahwa terjadi perubahan spesifik gravity (Gs) terhadap penambahan semen dan juga penambahan kapur pada lempung Losari (Alatas I.M, 1991) dan juga pada lempung Texas (Akinwumi I.I., 2015)

#### **4.5 Kekuatan Geser Lempung Kroya Dengan Semen**

Kekuatan geser lempung lunak asal adalah sangat kecil. Untuk melakukan penambahbaikan lempung lunak dengan kolom semen tanah, maka terlebih dahulu uji dilaboratorium dilakukan untuk mengambil kira berapa pengaruh semen dalam meningkatkan sifat infeksi dan kekuatan geser lempung lunak Kroya.

##### **4.5.1 Kekuatan Geser Semula Jadi Lempung Kroya**

Kekuatan geser lempung lunak Kroya semula jadi seperti pada Tabel 4.3 dapat dijelaskan bahwa pada tanah hingga 1.50 meter yang diperoleh dari uji galian, memiliki kekuatan geser yang lebih kecil dibandingkan kekuatan geser rata-rata dari hasil uji pegerudian teras. Hal ini karena dari uji galian hanya memperoleh tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak. Manakala dari uji penggerudian teras diperoleh samel yang lebih dalam lagi dan memiliki konsistensi yang lebih baik. Sehingga kekuatan geserpun dari uji penggerudian teras lebih baik. Dengan demikian dapat disimpulkann bahwa rasio kekuatan rich dari uji pnggerudian teras lebih baik dari hasil uji galian tanah, karena konsistensinya lunak sampai kaku.

##### **4.5.2 Rasio Kekuatan Geser, Kekuatan Geser dan Modulus Anjal Lempung Kroya Dengan Tambahan Variasi Semen.**

Mengetahui pengaruh semen terhadap perubahan sifat dan kekuatan lempung lunak sangat utama, karena campuran lempung lunak dan semen ini akan menjadi kekuatan utama didalam model kolom semen tanah untuk penambahbaikan lempung lunak. Hasil pengaruh bilangan kandungan semen (kg) dalam 1 m<sup>3</sup> lempung lunak dengan unit kgPC/m<sup>3</sup>, sangat mempengaruhi perubahan sifat dan kekuatan lempung lunak. Bilangan kandungan semen yang digunakan ialah 150 kgPC/m<sup>3</sup>, 200 kgPC/m<sup>3</sup>, 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Hal kedua adalah masa perawatan sampel semen tanah, dimana semen akan bereaksi terhadap lempung dengan fungsi masa. Seperti halnya semen dengan campukat angregat dan air pada saat membuat konkrit. Pada tanahpun semen akan memerlukan masa bereaksi mengikat partikelterkecil lempung untuk mencapai kekuatan penuh, iaitu reaksi puzolanik. Sehingga diperlukan masa maksimal adalah 56 hari di laboratorium untuk kekuatan maksimal.

Rasio kekuatan geser (SSR) lempung semula jadi ialah 0.132. Sedangkan dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 1.615. Sehingga terjadi peningkatan SSR sebesar 1123%. Besaran peratus peningkatan SSR pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 6811%. Rasio kekuatan geser bilamana kandungan semen sebesar 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 2.139. Sehingga terjadi peningkatan SSR sebesar 1520%.

Besaran peratus peningkatan SSR pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 9632%. Rasio kekuatan geser bilamana kandungan semen sebesar 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 2.481. Sehingga terjadi peningkatan SSR sebesar 1779%. Besaran peratus peningkatan SSR pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 11977%. Rasio kekuatan geser maksimal dari penelitian ini bila kandungan semen sebesar 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Maka pada masa perawatan 7 hari ialah 2.867. Sehingga terjadi peningkatan SSR sebesar 2072%. Besaran peratus peningkatan SSR pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> akan menjadi maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 13425%. Perubahan rasio kekuatan geser dengan masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.6. Sedangkan

perubahan rasio kekuatan geser pada masa perawatan 28 hari terdapat pada Tabel 4.7, dan untuk perawatan 56 hari pada Tabel 4.8 dibawah ini.

**Tabel 4.6** Rasio kekuatan geser, kekuatan geser dan modulus anjal lempung lunak Kroya dengan tambahan variasi semen dengan masa perawatan 7 hari.

Masa Perawatan 7 hari Campuran Semen Lempung Lunak (kedalaman 0.00 ~ 2.50 meter)							
PC	SSR	SSR RATA-RATA	$c_u$	$\phi$	$E_s$	$E_i$	$E_{50}$
kg/m <sup>3</sup>			kN/m <sup>2</sup>	Darjah (°)	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
150	2.688	1.615	42	8	7,498	19,745	13,438
	1.241						
	0.915						
200	3.628	2.139	50	10	8,246	17,410	18,330
	1.623						
	1.165						
250	4.062	2.481	60	12	9,969	27,857	18,932
	1.985						
	1.395						
300	4.683	2.867	67	13	13,061	28,437	28,497
	2.274						
	1.643						

Kejeleketan lempung semula jadi  $c_u$  ialah 1.85 kN/m<sup>2</sup>. Kejeleketan dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 42 kN/m<sup>2</sup>. Sehingga terjadi peningkatan kejeleketan sebesar 2170%. Besaran peratus peningkatan kejeleketan pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 14166%. Kejeleketan  $c_u$  bilamana kandungan semen sebesar 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 50 kN/m<sup>2</sup>. Sehingga terjadi peningkatan kejeleketan sebesar

2602%. Besaran peratus peningkatan kejeleketan pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 18322%.

Kejeleketan  $c_u$  bilamana kandungan semen sebesar 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 60 kN/m<sup>2</sup>. Sehingga terjadi peningkatan kejeleketan sebesar 3143%. Besaran peratus peningkatan kejeleketan pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 22062%. Kejeleketan maksimal dari penelitian ini bila kandungan semen sebesar 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Dimana pada masa perawatan 7 hari ialah 67 kN/m<sup>2</sup>. Sehingga terjadi peningkatan kejeleketan sebesar 3521%. Besaran peratus peningkatan kejeleketan pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> akan menjadi maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 22332%. Perubahan kejeleketan dengan masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.6. Sedangkan perubahan kejeleketan pada masa perawatan 28 hari terdapat pada Tabel 4.7, dan untuk perawatan 56 hari pada Tabel 4.8 berikut ini.

**Tabel 4.7** Rasio kekuatan geser, kekuatan geser dan kenjalaran lempung lunak Kroya dengan tambahan variasi semen dengan masa perawatan 28 hari.

Masa Perawatan 28 hari Campuran Semen Lempung Lunak (kedalaman 0.00 ~ 2.50 meter)							
PC kg/m <sup>3</sup>	SSR	SSR RATA- RATA	$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	$\phi$ Darjah (°)	$E_s$ kN/m <sup>2</sup>	$E_i$ kN/m <sup>2</sup>	$E_{50}$ kN/m <sup>2</sup>
150	10.571	5.930	175	8	40,541	28,437	53,218
	4.389						
	2.829						
200	13.619	7.766	210	13	39,793	34,241	44,338
	5.817						
	3.861						
250	21.728	12.203	333	14	78,425	31,919	60,722
	8.949						
	5.931						
300	22.088	12.519	355	15	94,075	33,080	78,504
	9.316						
	6.154						

Sudut geseran lempung semula jadi  $\phi_u$  ialah 5.71°. Sudut geseran dalam dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 8°. Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 40.1%. Besaran peratus peningkatan sudut geseran dalam pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 75.1%. Sudut

geseran dalam  $\phi_u$  bilamana kandungan semen sebesar 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 13°. Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 75,1%. Besaran peratus peningkatan sudut geseran dalam pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 145.2%.

Sudut geseran dalam  $\phi_u$  bilamana kandungan semen sebesar 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 14°. Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 110.2%. Besaran peratus peningkatan sudut geseran dalam pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> akan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 197.7%. Sudut geseran dalam maksimal dari penelitian ini bila kandungan semen sebesar 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Dimana pada masa perawatan 7 hari ialah 15°. Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 127.7%. Besaran peratus peningkatan sudut geseran dalam pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> akan menjadi maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 320.3%. Perubahan sudut geseran dalam dengan masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.6. Sedangkan perubahan sudut geseran dalam pada masa perawatan 28 hari terdapat pada Tabel 4.7, dan untuk perawatan 56 hari pada Tabel 4.8 berikut ini.

**Tabel 4.8** Rasio kekuatan geser, kekuatan geser dan kenjalanan lempung lunak Kroya dengan tambahan variasi semen dengan masa perawatan 56 hari.

Masa Perawatan 56 hari Campuran Semen Lempung Lunak (kedalaman 0.00 ~ 2.50 meter)							
PC kg/m <sup>3</sup>	SSR	SSR RATA-RATA	$c_u$	$\phi$	$E_s$	$E_i$	$E_{50}$
			kN/m <sup>2</sup>	Darjah (°)	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
150	16.202	9.123	263	10	58,481	62,678	62,473
	6.721						
	4.445						
200	22.536	12.715	341	14	106,372	116,070	111,890
	9.440						
	6.169						
250	28.189	15.942	410	17	144,140	152,632	150,894
	11.921						
	7.716						
300	31.530	17.854	415	24	148,063	159,596	192,944
	13.253						
	8.780						

#### 4.6 Unit Berat Pukal Komposit ( $\gamma_{comp}$ ) dan Kandungan Air Komposit ( $w_{comp}$ ) Pada Sampel Kolom Semen Tanah

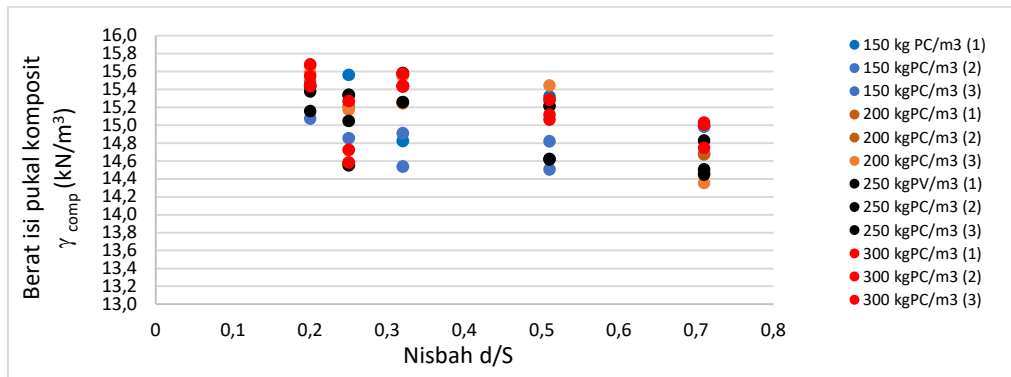
Dari sampel kotak yang diperoleh dari uji galian di tanah lempung lunak Kroya, dilakukan penyediaan sampel kolom tanah semen untuk uji triaxial, variasi diameter kolom tanah semen dibuat berdasarkan rasio antara diameter kolom semen tanah ( $d$ ) dengan jarak antara kolom semen tanah ( $S$ ). Rasio  $d/S$  dimulai dari 0.20, 0.25, 0.32, 0.51 dan 0.71. Setiap rasio  $d/S$  disediakan 9 sampel untuk satu kandungan semen bagi 3 jangja uji. Uji triaxial sampel kolom tanah semen dilakukan pada usia sampel 7 hari, 28 hari dan 56 hari.

Variasi besar dari 180 unit berat pukal dan kandungan pada setiap sampel uji triaxial pada 3 masa perawatan dapat dilihat hasil variasi berat isi pukal pada Rajah 4.9, Rajah 4.10 dan Rajah 4.11 masing-masing untuk usia perawatan 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Manakala variasi besar dari kandungan air pada setiap sampel uji dapat dilihat hasilnya pada Rajah 4.12, Rajah 4.13 dan Rajah 4.14 masing-masing untuk usia perawatan 7 hari, 28 hari dan 56 hari.

#### **4.6.1 Unit Berat Pukal Komposit ( $\gamma_{comp}$ ) Pada Uji Triaxial Model Sampel Kolom Semen Tanah**

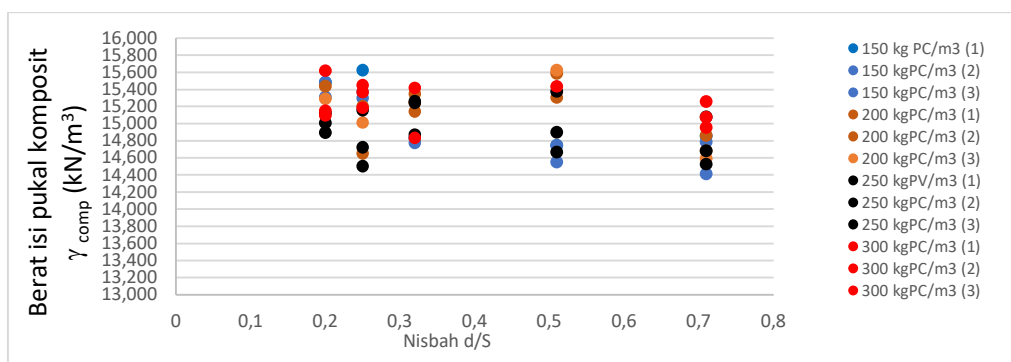
Sejumlah 60 sampel untuk unit berat pukal komposit sampel kolom semen tanah melalui uji triaxial pada setiap jangka masa uji. Ini terdiri dari tiga sampel pada setiap kandungan semen dengan setiap 5 variasi rasio  $d/S$ , Pada Rajah 4.9 rentang berat ini pukal komposit sampel kolom semen tanah uji 3 paksi pada masa perawatan 7 hari antara  $14.5 \text{ kN/m}^3$  hingga  $15.6 \text{ kN/m}^3$ . Unit berat pukal sampel komposit sampel kolom semen terlihat tampak lebih besar dengan kandungan semen yang lebih tinggi ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) apabila dibandingkan dengan kandungan semen yang lebih sedikit ( $150 \text{ kg/m}^3$ )



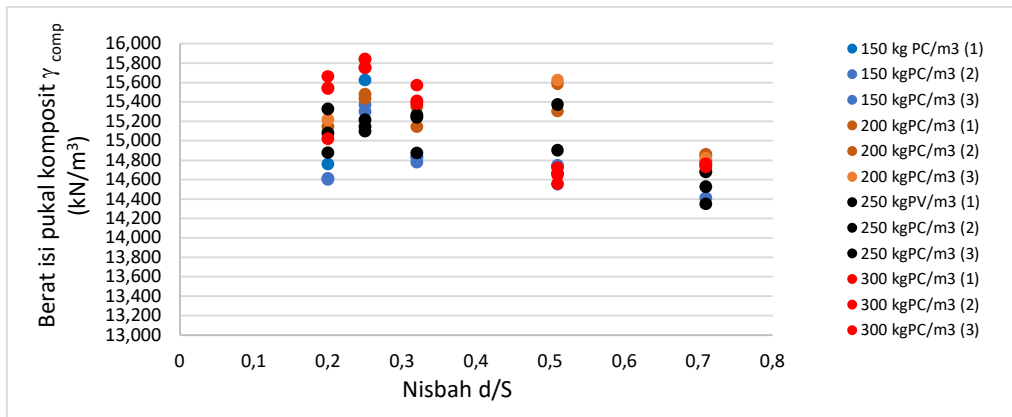


**Rajah 4.9** Berat isi pukal komposit ( $\gamma_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 7 hari

Pada Rajah 4.10 menunjukkan rentang berat isi pukal komposit sampel kolom semen tanah uji 3 paksi pada masa perawatan 28 hari diantara  $14.4 \text{ kN/m}^3$  hingga  $15.6 \text{ kN/m}^3$ . Hal serupa berlaku pula seperti pada Rajah 4.11 bahwa berat isi pukal sampel komposit sampel kolom semen tanah akan tampak lebih besar dengan kandungan semen yang lebih tinggi ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) bila dibandingkan dengan kandungan semen yang lebih rendah ( $150 \text{ kg/m}^3$ ). Manakala rentang berat isi pukal komposit sampel kolom semen tanah pada masa perawanan 56 hari magnitutnya dinatara  $14.4 \text{ kN/m}^3$  hingga  $15.8 \text{ kN/m}^3$ . Berat isi pukal komposit sampel kolom semen tanah pada masa 56 hari dapat dilihat pada Rajah 4.11.



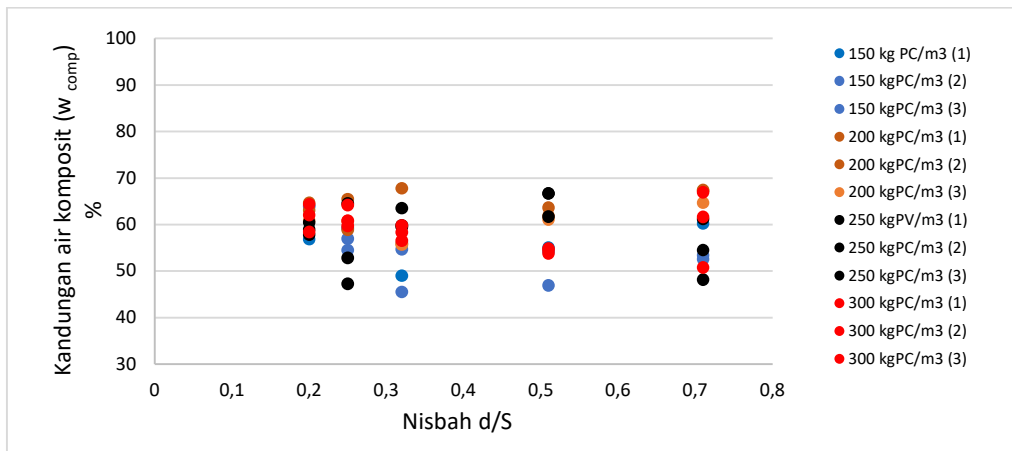
**Rajah 4.10** Berat isi pukal komposit ( $\gamma_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 28 hari



**Rajah 4.11** Berat isi pual komposit ( $\gamma_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 56 hari

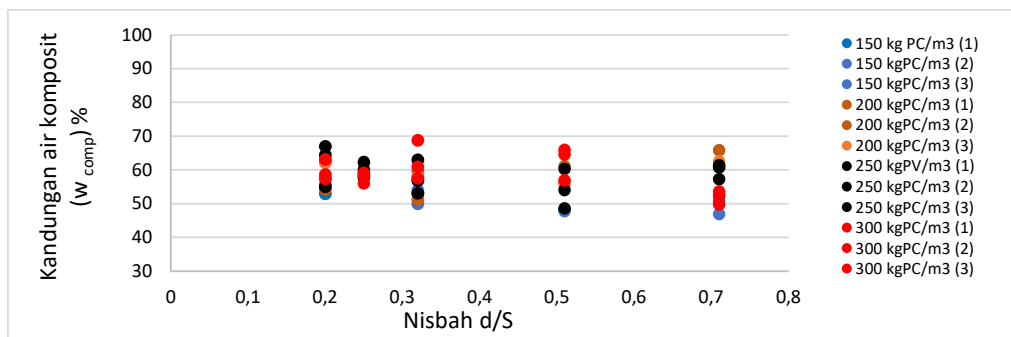
Variasi berat isi pual pada masa uji 7 hari, 28 hari dan 56 hari, mem[unyai kenaikan magnitud yang konsisten, tetapi tidak dilihat berat isi pual yang disebabkan oleh masa perawatan hingga 56 hari, seperti dilihat pada Rajah 4.9, Rajah 4.10 dan Rajah 4.11.

#### 4.6.2 Kandungan Air Komposit ( $w_{comp}$ ) Pada Uji Triaxial Model Sampel Kolom Semen Tanah

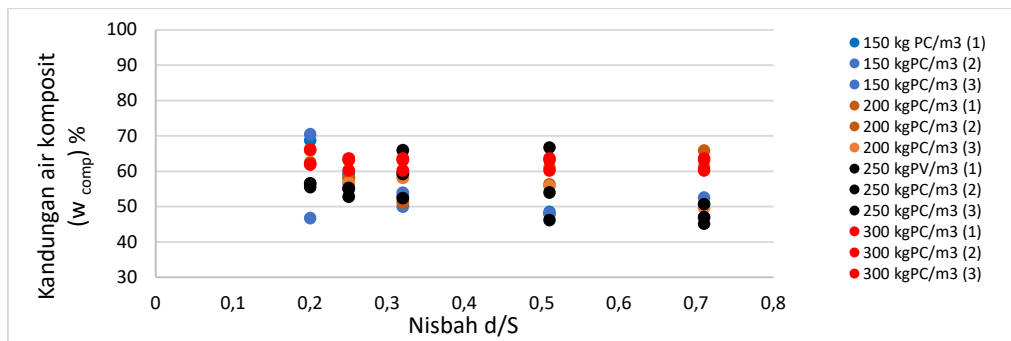


**Rajah 4.12** Kandungan air komposit ( $w_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 7 hari

Kandungan air komposit sampel kolom semen tanah pada uji triaxial dan uji geser langsung akibat pada perawatan 7 hari, 28 hari dan 56 hari dapat dilihat pada Rajah 4.12, Rajah 4.13 dan Rajah 4.14. Rentang kandungan air komposit sampel kolom semen tanah pada masa perawatan 7 hari antara 45 % hingga 68 % seperti pada Rajah 4.6.4, Rentang kandungan air komposit model sampel kolom semen tanah pada masa perawatan 28 hari ialah antara 46% hingga 68%, seperti dapat dilihat pada Rajah 4.6.5. Manakala rentang kandungan air komposit model sampel kolom semen tanah pada masa perawatan 56 hari ialah antara 45% hingga 70%, seperti dapat dilihat pada Rajah 4.6.6.



**Rajah 4.13** Kandungan air komposit ( $w_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 28 hari



**Rajah 4.14** Kandungan air komposit ( $w_{comp}$ ) model sampel pada uji triaxial perawatan 56 hari

Dari Rajah 4.6.4, Rajah 4.6.5 dan Rajah 4.6.6, terlihat bahwa akibat masa perawatan semasa 56 hari tidak berlaku perubahan sifat indeks tanah berupa kehilangan kandungan air komposit maupun berat isi pukal komposit yang sangat ketara. Dengan demikian dapat disimpulkan proses perawatan berjalan sempurna dengan tidak berlaku efek pengeringan.

#### **4.7 Keputusan Penelitian Lempung Lunak Kroya Dengan Semen Sebagai Bahan Penambahbaikan.**

Dari uji lempung lunak Kroya yang dipakai pada penelitiannini dengan menambahkan semen dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penelitian lempung lunak dengan kandungan semen telah dilakukan dengan menggunakan uji laboratorium dari pada parameter komposit kolom semen tanah melalui uji triaxial dan uji geser langsung dengan memperhitungkan pengaruh kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S, masa perawatan dan variasi peratus semen pada kolom semen terhadap rasio kekuatan geser. Pengaruh kolom semen tanah terhadap variasi diatas juga dilakukan terhadap rasio kekuatan geser dan perubahan kejelekitan dan sudut geseran dalam dari uji geser langsung.
2. Keputusan uji lapangan telah dilakukan dengan melakukan pengumpulan data berupa penelitian geologi pada lapangan jalur rel double track di Kroya. Pengumpulan data pengerudian teras dan penusukan piawai, uji sondir serta uji laboratorium yang telah berlaku pada STA 374+200 sekaligus pengambilan sampel kotak pada tanah lunak untuk uji model kolom semen tanah di laboratorium.
3. Sepanjang 1400 meter pada lapangan subgrade kereta api diketahui bahwa lapisan tanah hingga kedalaman 8.00 meter hingga 15.00 meter diperolehi tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga sedang. Hasil penguji penusukan piawai (N-SPT) bersamaan pada masa pengerudian teras menunjukkan bahwa ketebalan tanah lunak bervariasi dari 8 m hingga 24m dengan rentang N-SPT antara 1 hingga 2. Jenis tanah lempung sangat lunak ini mempunyai rentang kandungan lempung

antara 58% sampai dengan 76 % serta rentang kandungan airnya antara 38.2 % hingga 47.4%. Secara umumnya, sifat fisik tanah tersebut merupakan tanah lempung dengan keplastikan rendah, dimana peratus tanah lempung lebih besar dari 50% dan indeks keplastikannya (PI) lebih kecil dari 35%.

4. Akibat penambahan kandungan semen pada tanah lunak Kroya, terjadi perubahan sifat-sifat lempung dari sifat aslinya. Perubahan batas atterbergnya berupa penurunan liquid limit (LL) dengan rentang penurunan 7.7 % hingga 16.0% akibat penambahan kandungan semen hingga dari 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Sedangkan plastik limitnya naik dengan rentang antara 0.1% hingga 9% akibat penambahan kandungan semen dari 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala indek plastiknya terjadi pemurumam dengan rentang penurunan 24.9% hingga 30.2% akibat penambahan kandungan semen seperti diatas.
5. Hasil pengaruh bilangan kandungan semen (kg) dalam 1 m<sup>3</sup> lempung lunak dengan unit kgPC/m<sup>3</sup>, sangat mempengaruhi perubahan sifat dan kekuatan lempung lunak. Bilangan kandungan semen yang digunakan ialah 150 kgPC/m<sup>3</sup>, 200 kgPC/m<sup>3</sup>, 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Seperti halnya semen dengan campuran agregat dan air pada saat membuat konkrit. Pada tanahpun semen akan memerlukan masa bereaksi mengikat partikel terkecil lempung untuk mencapai kekuatan penuh, iaitu reaksi puzolanik. Sehingga diperlukan masa maksimal adalah 56 hari di laboratorium untuk kekuatan maksimal.
6. Rasio kekuatan geser ialah rasio antara tegasan utama (*deviator stress*) iaitu ( $\Delta\sigma$ ) dengan tegasan keliling (*confining pressure*) iaitu ( $\sigma_3$ ) dari uji triaxial. Manakala pada uji geser langsung rasio kekuatan geser ialah rasio antara tegasan geser ( $\tau$ ) yang berlaku dengan tegasan normal ( $\sigma_n$ ). Dari penelitian perubahan rasio kekuatan geser akan dilihat dari uji triaxial dan uji geser langsung.
7. Rasio kekuatan geser (SSR) lempung semula jadi ialah 0.132. Sedangkan dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari ialah 1.615. Sehingga terjadi peningkatan SSR sebesar 1123% dan maksimal pada masa perawatan 56 hari, iaitu sebesar 6811%. Semakin banyak kandungan semennya dan semakin lama masa perawatannya maka akan

semakin besar kenaikannya. Rasio kekuatan geser maksimal terjadi bila kandungan semen sebesar  $300 \text{ kgPC/m}^3$  dan masa perawatan 56 hari, yaitu sebesar 13425%.

8. Kejeleketan dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 7 hari ialah  $42 \text{ kN/m}^2$ , terjadi peningkatan kejeleketan sebesar 2170% pada masa perawatan 56 hari, yaitu sebesar 14166%. Kejeleketan maksimal dari penelitian ini bila kandungan semen sebesar  $300 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 7 hari. terjadi peningkatan kejeleketan sebesar 3521%. Besaran peratus peningkatan kejeleketan pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  akan menjadi maksimal pada masa perawatan 56 hari, yaitu sebesar 22332% (Tabel 4.6-4.8).
9. Sudut geseran lempung semula jadi  $\phi_u$  ialah  $5.71^\circ$ . Sudut geseran dalam dengan campuran semen lempung dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 7 hari ialah  $8^\circ$ . Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 40.1% pada masa perawatan 56 hari, yaitu sebesar 75.1%. Sudut geseran dalam maksimal dari penelitian ini bila kandungan semen sebesar  $300 \text{ kgPC/m}^3$ . Dimana pada masa perawatan 7 hari ialah  $15^\circ$ . Sehingga terjadi peningkatan sudut geseran dalam sebesar 127.7% pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  (Tabel 4.6-4.8).

## BAB V

### HASIL PENELITIAN RASIO KEKUATAN GESER MODEL SAMPEL KOLOM SEMEN TANAH

#### 5.1 Pendahuluan

Rasio kekuatan geser ialah rasio antara tegangan utama (*deviator stress*)  $i(\Delta\sigma)$  dengan tegangan keliling (*confining pressure*) yaitu  $(\sigma_3)$  dari triaxial test. Manakala pada uji geser langsung rasio kekuatan geser ialah rasio antara tegangan geser ( $\tau$ ) yang terjadi dengan tegangan normal ( $\sigma_n$ ). Dari penelitian perubahan rasio kekuatan geser akan dilihat dari triaxial test dan uji geser langsung, dari pada model sampel kolom semen tanah dengan variasi kandungan semen, rasio d/S dan masa perawaran 7, 28 dan 56 hari. Rasio kekuatan geser, bilangannya perubahan kekuatan geser secara umum yang diakibatkan oleh dua parameter utama kekuatan geser, yaitu kohesi dan sudut geser dalam.

#### 5.2 Rasio Kekuatan Geser Pada Model Sampel Kolom Semen Tanah

Rasio kekuatan geser pada model sampel kolom semen tanah akan berbeda magnitudnya. Magnitudnya akan berbeda di dalam triaxial test dan uji geser langsung. Perubahan rasio kekuatan geser ini tergantung pada masa perawatan yang terjadi, serta variasi rasio d/S dan kandungan semennya.

##### 5.2.1 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Melalui Triaxial Test Untuk Perawatan 7 hari

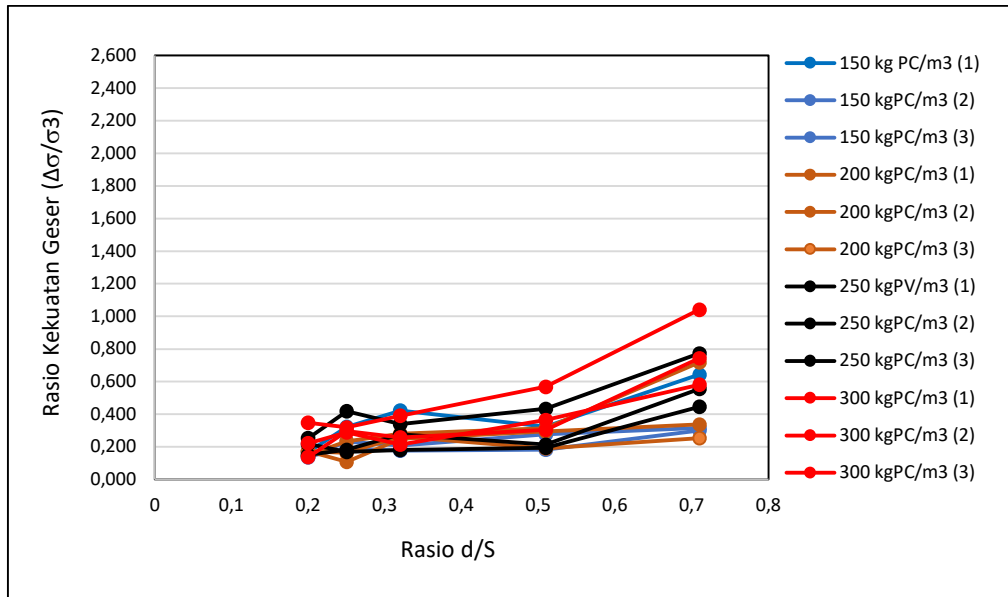
Rasio kekuatan geser pada uji model komposit sampel kolom semen tanah dilakukan untuk mengetahui perubahan kekuatan geser akibat kedua faktor utama parameter kekuatan geser model sampel kolom semen tanah, yaitu kohesi komposit ( $c_{u \text{ comp}}$ ) dan sudut geser dalam komposit ( $\phi_{u \text{ comp}}$ ). Kedua parameter tersebut diperoleh dari kurva tegangan regangan dari triaxial test pada setiap 3 variasi tegangan keliling yang berbeda seperti dijelaskan pada Tabel 3.1. Sedangkan pada uji geser langsung diperoleh dari tegangan regangan pada setiap 3 variasi tegangan normal yang berbeda, seperti dijelaskan pada Gambar 3.8.

Pada masa perawatan 7 hari di dalam triaxial test model sampel kolom semen tanah, menunjukkan bahwa rasio kekuatan geser adalah paling minimum pada keadaan sampel dengan rasio d/S dan kandungan semen yang paling kecil. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan naiknya rasio d/S serta kenaikan kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah. Secara umum hasil dari 60 sampel pada masa perawatan 7 hari rasio kekuatan geser dapat dilihat pada Tabel 5.1, Rasio kekuatan geser paling minimum ialah 0.136 pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S maksimum 0.20. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 1.042 pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71.

**Tabel 5.1** Perubahan rasio kekuatan geser model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 7 Hari

Sampel No. & Kod		Rasio Kekuatan Geser ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-7	0.168	0.322	0.422	0.323	0.643
2		0.136	0.232	0.208	0.275	0.316
3		0.140	0.190	0.175	0.182	0.301
1	T 200-7	0.151	0.233	0.280	0.314	0.717
2		0.172	0.109	0.248	0.294	0.337
3		0.172	0.162	0.263	0.192	0.253
1	T 250-7	0.253	0.418	0.339	0.433	0.773
2		0.151	0.182	0.277	0.212	0.555
3		0.217	0.169	0.180	0.195	0.446
1	T 300-7	0.348	0.319	0.391	0.568	1.042
2		0.137	0.296	0.257	0.304	0.744
3		0.223	0.289	0.213	0.364	0.582





**Gambar 5.1** Perubahan rasio kekuatan geser model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 7 Hari

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat perubahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari melalui triaxial test dapat dilihat pada Gambar 5.1. Kenaikan minimum rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 150 kgPC/m<sup>3</sup> adalah pada masa perawatan 7 hari, dan persamaannya seperti pada persamaan 5.1 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.4371 (d/S) + 0.0938 \quad (5.1)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa 7 hari kenaikannya nilainya menghampiri kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaannya seperti pada persamaan 5.2 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.4199 (d/S) + 0.0982 \quad (5.2)$$

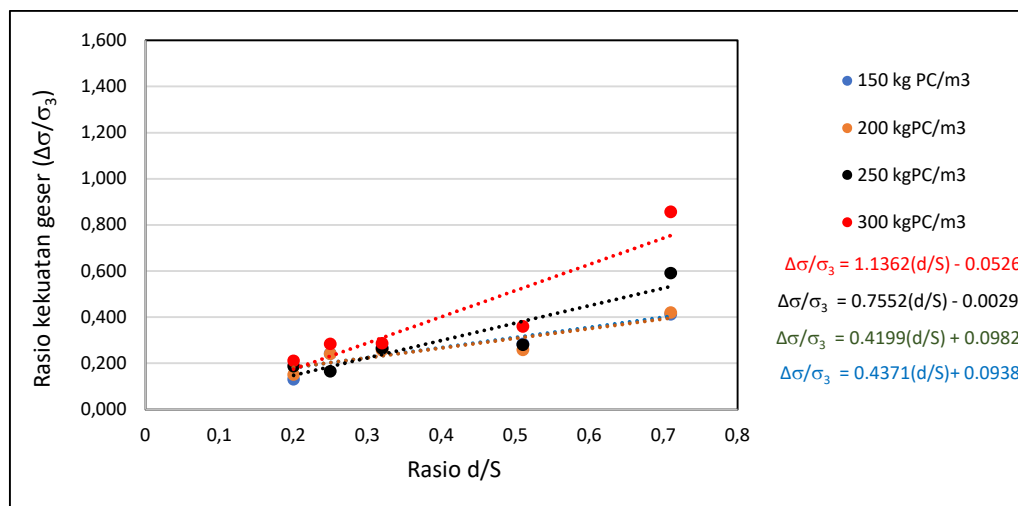
Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari memberikan nilai kenaikan paling kecil dan persamaannya seperti pada persamaan 5.3 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.7552 (d/S) - 0.0029 \quad (5.3)$$

Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 300 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari pula merupakan kenaikan yang tertinggi berbanding kandugan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaannya adalah seperti pada persamaan 5.4 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 1.1362 (d/S) - 0.0256 \quad (5.4)$$

Dimana  $\Delta\sigma/\sigma_3$  adalah rasio kekuatan geser komposit melalui triaxial test, d/S adalah rasio antara diameter kolom semen tanah (d) dengan jarak antara kolom semen tanah (S).



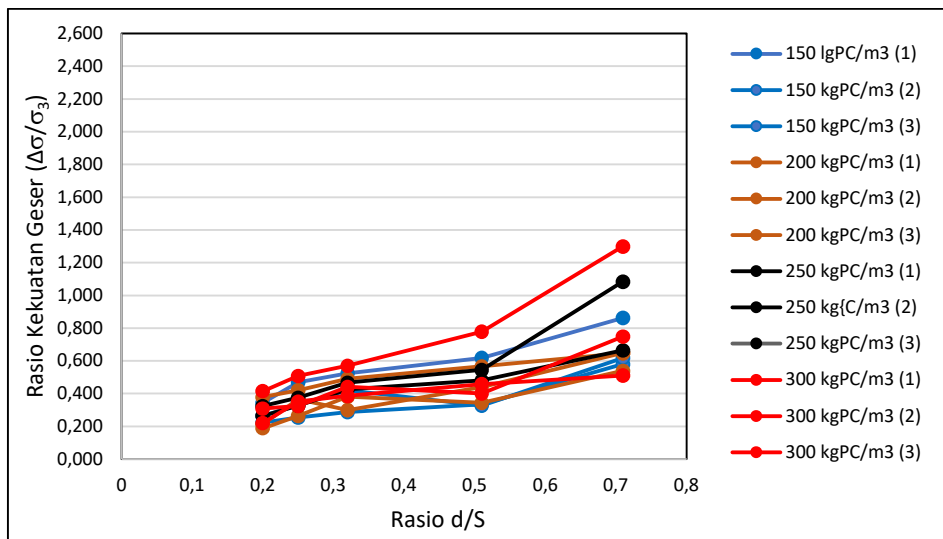
**Gambar 5.2** Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 7 Hari

### 5.2.2 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial test Masa Perawatan 28 hari

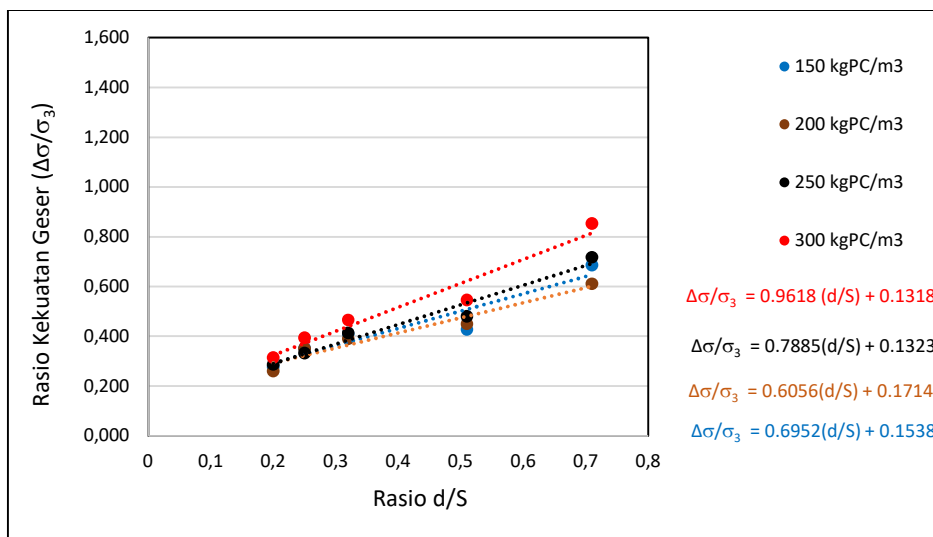
Pada masa perawatan 28 hari dari triaxial test model sampel kolom semen tanah, menunjukkan sifat yang sama seperti masa perawatan 7 hari. Rasio kekuatan geser adalah minimum pada keadaan sampel dengan rasio d/S dan kandungan semen yang minimum. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan peningkatan rasio d/S dan kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah. Secara umumnya dari pada 60 sampel untuk jangka masa perawatan 28 hari rasio kekuatan geser dapat dilihat pada Tabel 5.2, rasio kekuatan geser minimum ialah 0.223 pada kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  dengan rasio d/S sebesar 0.20. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 1.300 pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S sebesar 0.71.

**Tabel 5.2** Perubahan rasio kekuatan geser sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 28 Hari

Sample No. & Kod		Rasio Kekuatan Geser ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-28	0.344	0.470	0.524	0.618	0.862
2		0.223	0.254	0.287	0.335	0.579
3		0.264	0.331	0.420	0.327	0.618
1	T 200-28	0.379	0.422	0.491	0.566	0.647
2		0.213	0.366	0.299	0.439	0.648
3		0.188	0.265	0.381	0.344	0.539
1	T 250-28	0.323	0.375	0.467	0.545	1.084
2		0.264	0.326	0.426	0.480	0.664
3		0.270	0.297	0.349	0.364	0.406
1	T 300-28	0.415	0.507	0.571	0.779	1.300
2		0.309	0.324	0.441	0.401	0.748
3		0.220	0.351	0.387	0.457	0.511



**Gambar 5.4** Perubahan rasio kekuatan geser model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 28 Hari



**Gambar 5.5** Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 28 Hari

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat variasi kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.4. Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 28 hari merupakan kenaikannya yang minimum, dan persamaannya seperti pada persamaan 5.5 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.6952 (d/S) + 0.1538 \quad (5.5)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 28 hari adalah lebih tinggi daripada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, dan persamaannya seperti pada persamaan 5.6 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.6056 (d/S) + 0.1714 \quad (5.6)$$

Sedangkan kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 28 hari membentuk persamaannya seperti pada persamaan 5.7 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.7885 (d/S) + 0.1323 \quad (5.7)$$

Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 300 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 28 hari merupakan kenaikannya yang paling tinggi dengan persamaannya seperti pada persamaan 5.8 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.9618 (d/S) + 0.1318 \quad (5.8)$$

Semua persamaan ini diperoleh berdasarkan dari hubungan linear antara  $\Delta\sigma/\sigma_3$  dengan d/S sebagaimana di Gambar 5.5.

### **5.2.3 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial Test Masa Perawatan 56 hari**

Pada masa perawatan 56 hari dari triaxial test model sampel kolom semen tanah, menunjukkan perilaku yang sama seperti pada masa perawatan 28 hari. Rasio kekuatan geser minimum pada keadaan sampel dengan rasio d/S dan kandungan

semen minimum. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan peningkatan rasio d/S dan kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah. Hasil rasio kekuatan geser dari 60 sampel yang diuji pada masa perawatan 56 dapat dilihat pada Tabel 5.3. Rasio kekuatan geser pada terlihat bilangannya menurun di setiap kandungan semen. Ini disebabkan oleh karena perbezaan tegangan kelilingnya ( $\sigma_3$ ), akan tetapi pertambahan tegangan deviatornya ( $\Delta\sigma$ ) tidak meningkat seraca signifikan. Akan tetapi rasio kekuatan geser rata-rata daripada 3 sampel yang sama terjadi penambahan akibat pertambahan kandungan semen, pertambahan rasio jarak d/S dan pertambahan jangka perawatan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.7. Rasio kekuatan geser minimum ialah 0.486 pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.20. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 5.202 pada kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71.

**Tabel 5.3** Perubahan rasio kekuatan geser sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 56 Hari

Sample No. & Code		Rasio Kekuatan Geser ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-56	0.832	1.073	1.171	1.495	3.378
2		0.848	0.759	0.873	0.804	1.699
3		0.486	0.518	0.650	0.479	1.330
1	T 200-56	1.405	0.877	1.611	1.873	3.896
2		0.737	1.382	0.858	0.991	1.745
3		0.485	0.590	0.542	0.625	1.788
1	T 250-56	1.518	1.639	1.668	2.337	2.908
2		0.728	0.896	1.500	1.939	2.909
3		0.531	0.564	0.841	0.924	2.201
1	T 300-56	1.495	1.881	2.167	2.284	5.202
2		0.804	1.051	1.173	1.517	2.873

3		0.479	0.648	0.708	1.686	1.939
---	--	-------	-------	-------	-------	-------

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat variasi kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 56 hari menunjukkan hasil yang paling maksimum. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.6. Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 150 kgPC/m<sup>3</sup> adalah paling minimum pada masa perawatan 56 hari. Persamaan 5.9 merupakan hubungan faktor-faktor pengaruh jarak dengan rasio kekuatan geser pada masa perawatan 56 hari..

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.7338 (d/S) + 0.1712 \quad (5.9)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari mempunyai nilai lebih tinggi daripada kandungan semen 150 kgpc/m<sup>3</sup>. Persamaannya seperti pada persamaan 5.10 dibawah ini.

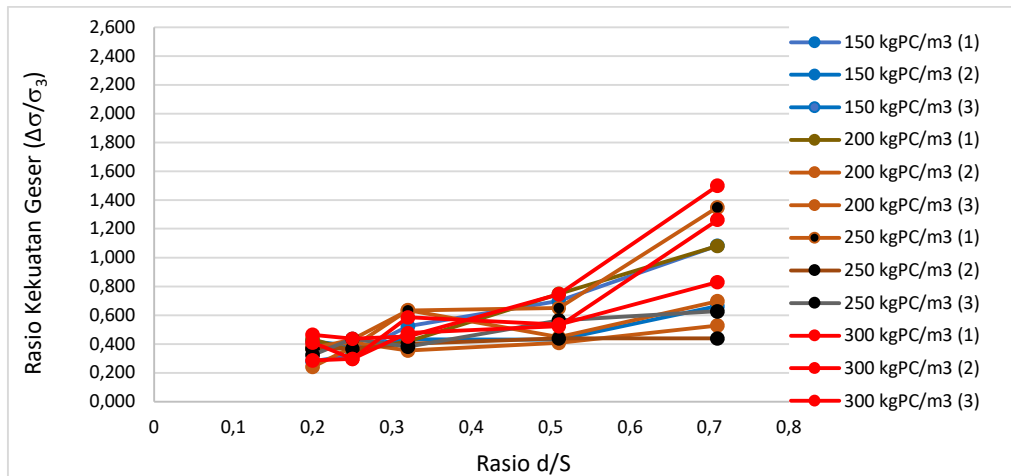
$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.7975 (d/S) + 0.1784 \quad (5.10)$$

Sedangkan kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari mempunyai persamaan seperti pada persamaan 5.11 dibawah ini.

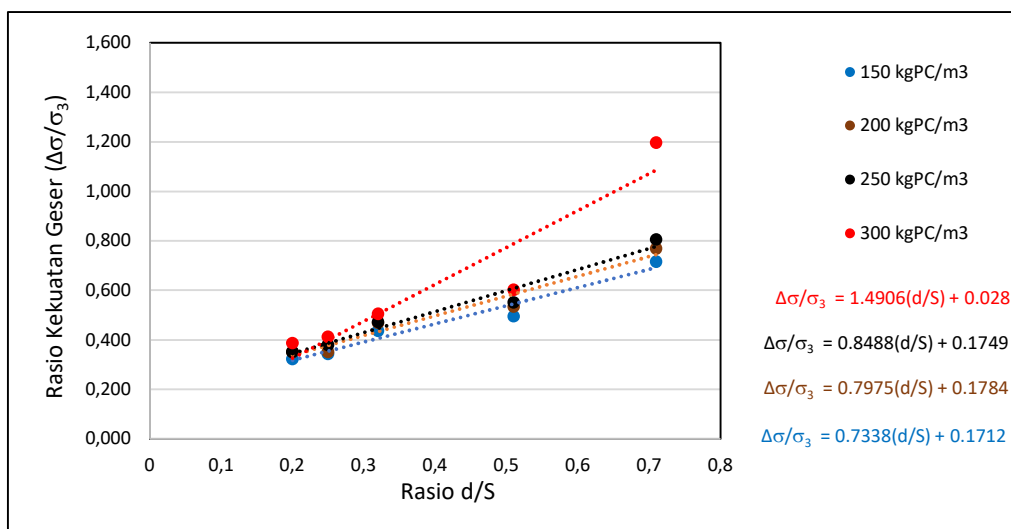
$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 0.8488 (d/S) + 0.1749 \quad (5.11)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 300 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari mempunyai kenaikan maksimum seperti pada persamaan 5.12 dibawah ini.

$$\Delta\sigma/\sigma_3 = 1.4906 (d/S) + 0.028 \quad (5.12)$$



**Gambar 5.6** Perubahan rasio kekuatan geser model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 56 Hari



**Gambar 5.7** Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model sampel komposit dari triaxial test masa perawatan 56 Hari

Hubungan persamaan rata-rata ini adalah secara linear dan dapat dilihat pada Gambar 5.7.

#### 5.2.4 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan



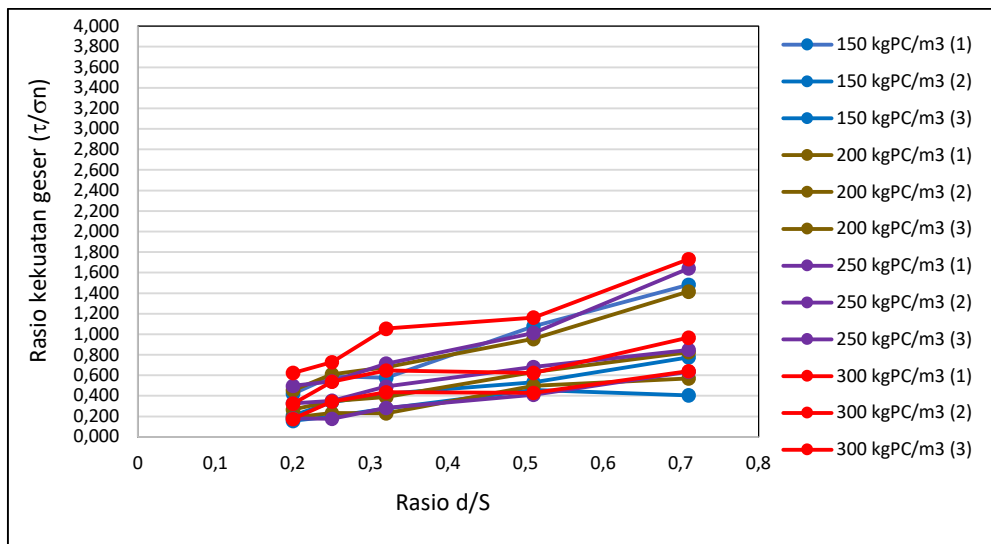
### Uji Geser Langsung Masa Perawatan 7 hari

Ketika perawatan 7 hari dari model sampel kolom semen tanah menjalani uji geser langsung, rasio kekuatan geser minimum terjadi apabila rasio d/S dan kandungan semen minimum. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan peningkatan rasio d/S maupun naiknya kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah tersebut. Secara umum hasil dari 60 sampel pada masa perawatan 7 hari rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5.4, Rasio kekuatan geser minimum ialah 0.158 pada kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada rasio d/S sebesar 0.20. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 1.734 pada kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71.

Kesimpulannya rasio kekuatan geser komposit melalui uji geser langsung lebih besar dibandingkan dengan triaxial test, ini terjadi karena perbezaan keruntuhan bidang geser antara kedua uji tersebut. Dimana satah kegagalan bagi kedua-dua uji adalah berbeda.

**Tabel 5.4** Perubahan rasio kekuatan geser sampel komposit dari uji geser langsung masa perawatan 7 hari

Sampel No. & Code		Rasio Kekuatan Geser ( $\tau/\sigma_n$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-7	0.421	0.592	0.576	1.080	1.482
2		0.210	0.339	0.421	0.534	0.777
3		0.158	0.200	0.277	0.458	0.408
1	D 200-7	0.456	0.612	0.679	0.957	1.417
2		0.268	0.350	0.389	0.633	0.825
3		0.192	0.234	0.231	0.499	0.572
1	D 250-07	0.498	0.542	0.716	1.015	1.642
2		0.328	0.353	0.492	0.681	0.849
3		0.182	0.178	0.284	0.413	0.636
1	D 300-7	0.624	0.730	1.056	1.163	1.734
2		0.326	0.539	0.648	0.624	0.969
3		0.177	0.344	0.437	0.431	0.642



**Gambar 5.8** Melanjutkan hubungan kait diantara rasio kekuatan geser dan rasio d/S berdasarkan dati Tabel diatas.

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat variasi kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Melalui uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 5.9. Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari mempunyai kenaikan minimum dan persamaannya seperti persamaan 5.13 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 1.207 (d/S) + 0.0485 \quad (5.13)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 200 kgC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari melalui uji geser langsung kenaikannya mendekati kandugan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaan ini seperti pada persamaan 5.14 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 1.2274 (d/S) + 0.0657 \quad (5.14)$$

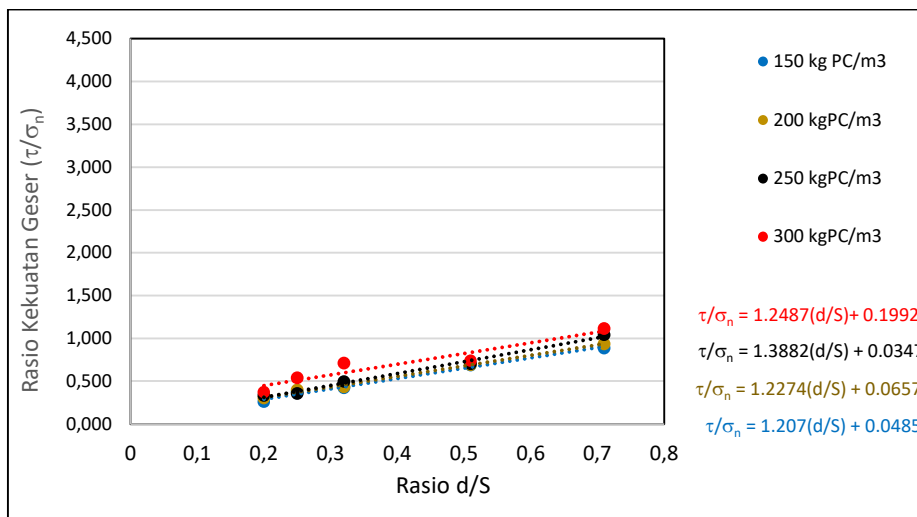
Sedangkan kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari memberi persamaan seperti pada persamaan 5.15 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 1.3882 (d/S) + 0.0347 \quad (5.15)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio  $d/S$  dengan kandungan semen sebanyak  $300 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 7 hari merupakan kenaikannya yang maksimuml dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ . Persamaannya adalah seperti persamaan 5.16 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 1.2487(d/S) + 0.1992 \quad (5.16)$$

Dimana  $\tau/\sigma_v$  adalah rasio kekuatan geser komposit melalui ujain geser langsung,  $d/S$  adalah rasio antara diameter kolom semen tanah ( $d$ ) dengan jarak antara kolom semen tanah ( $S$ ).



**Gambar 5.9** Perubahan Rasio Kekuatan Geser Rata-rata Model Sampel Komposit Dari Uji Geser Langsung Masa Perawatan 7 Hari

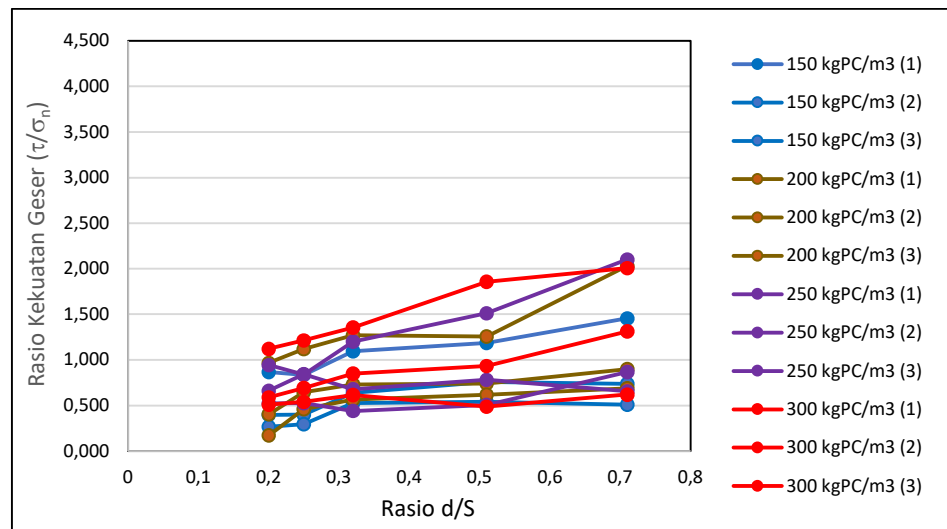
### 5.2.5 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung Masa Perawatan 28 hari

Untuk perawatan 28 hari dari uji geser langsung model sampel kolom semen tanah, rasio kekuatan geser minimum terjadi pada keadaan sampel mempunyai rasio  $d/S$  dan kandungan semen yang minimum. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan kenaikan rasio  $d/S$  maupun kandungan semen pada sampel komposit kolom

semen tanah tersebut. Hasil dari 60 sampel pada masa perawatan 28 hari untuk rasio kekuatan geser dapat dilihat pada Tabel 5.5. Rasio kekuatan geser minimum ialah 0.158 pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.268. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 2.006 pada kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71.

**Tabel 5.5** Perubahan rasio kekuatan geser model sampel komposit dari uji geser langsung masa perawatan 28 hari

Sample No. & Code		Rasio Kekuatan Geser ( $\tau/\sigma_n$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-28	0.866	0.836	1.096	1.186	1.456
2		0.396	0.402	0.638	0.757	0.737
3		0.268	0.294	0.526	0.541	0.511
1	D 200-28	0.967	1.118	1.269	1.257	2.031
2		0.404	0.646	0.730	0.740	0.900
3		0.172	0.461	0.567	0.618	0.689
1	D 250-28	0.944	0.840	1.199	1.511	2.101
2		0.662	0.842	0.678	0.782	0.656
3		0.522	0.525	0.439	0.505	0.867
1	D 300-28	1.122	1.214	1.356	1.857	2.006
2		0.589	0.691	0.851	0.931	1.313
3		0.509	0.541	0.616	0.487	0.620



**Gambar 5.10** Menunjukkan hubungan diantara rasio kekuatan geser dan rasio d/S berdasarkan jadi Tabel diatas.

Pada tabel 5.5, rasio kekuatan geser pada terlihat bilangannya menurun di setiap kandungan semen dan dimua rasio jarak  $d/S$  Ini disebabkan oleh karena perbezaan tegangan normal ( $\sigma_n$ ), akan tetapi pertambahan tegangan geser ( $\Delta\tau$ ) tidak meningkat seraca signifikan. Namun rasio kekuatan geser rata-rata daripada 3 sampel yang sama terjadi penambahan akibat pertambahan kandungan semen, pertambahan rasio jarak  $d/S$  dan pertambahan jangka perawatan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.11.

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat variasi kandungan semen dan rasio  $d/S$  pada masa perawatan 28 hari melalui uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 5.10 secara linear. Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio  $d/S$  dengan kandungan semen sebanyak  $150 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 28 hari mempunyai nilai kenaikan minimum. Persamaannya adalah seperti pada persamaan 5.17 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 0.7826 (d/S) + 0.389 \quad (5.17)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio  $d/S$  dengan kandungan semen sebanyak  $200 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 28 hari adalah lebih ketara dibandingkan kandugan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Hasil persamaannya adalah seperti pada persamaan 5.18 dibawah ini.

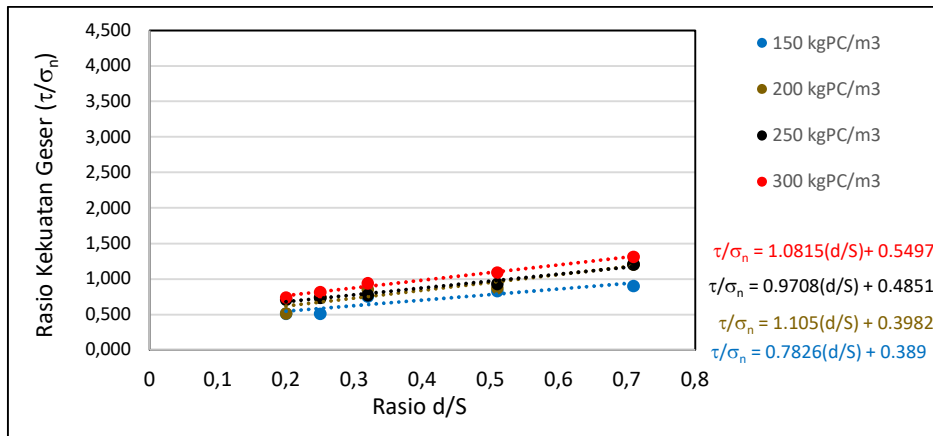
$$\tau/\sigma_v = 0.7826 (d/S) + 0.389 \quad (5.18)$$

Sedangkan kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio  $d/S$  dengan kandungan semen sebanyak  $250 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 28 hari adalah seperti pada persamaan 5.19 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 0.9708 (d/S) + 0.4851 \quad (5.19)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio  $d/S$  dengan kandungan semen sebanyak  $300 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 28 hari merupakan kenaikan yang maksimuml dengan kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ . Persamaannya seperti pada persamaan 5.20 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 1.0815 (d/S) + 0.5497 \quad (5.20)$$



**Gambar 5.11** Perubahan Rasio Kekuatan Geser Rata-rata Model Sampel Komposit Dari Uji Geser Langsung Masa Perawatan 28 Hari

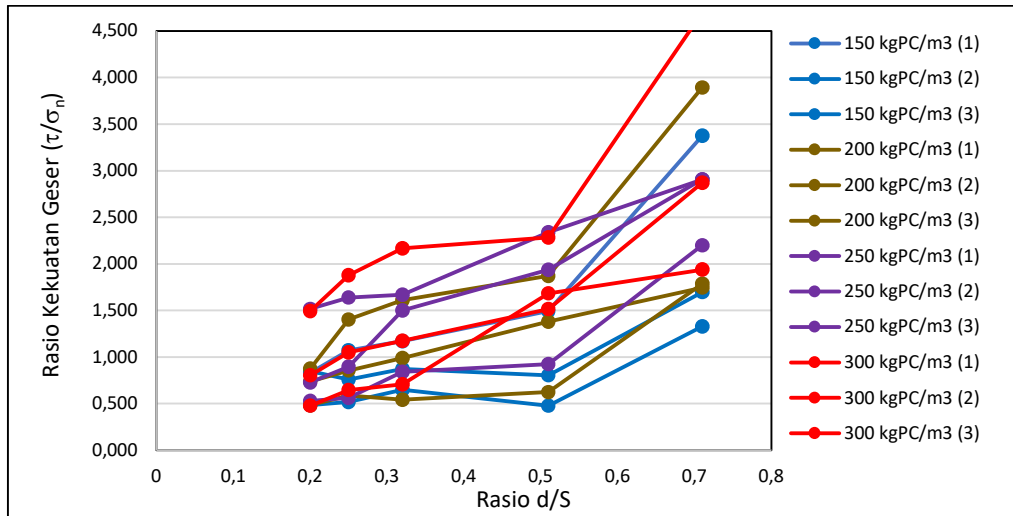
### 5.2.6 Rasio Kekuatan Geser Model Sampel Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung Masa Perawatan 56 hari

Uji geser langsung model sampel kolom semen tanah, pada masa perawatan 56 hari menunjukkan bahwa rasio kekuatan geser minimum pada keadaan sampel dengan rasio d/S dan kandungan semen minimum. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan kenaikan rasio d/S dan kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah. Dari pada 60 sampel pada masa perawatan 56 hari rasio kekuatan geser dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.12 berikutnya. Rasio kekuatan geser minimum ialah 0.486 pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.268. Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 5.202 pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71.

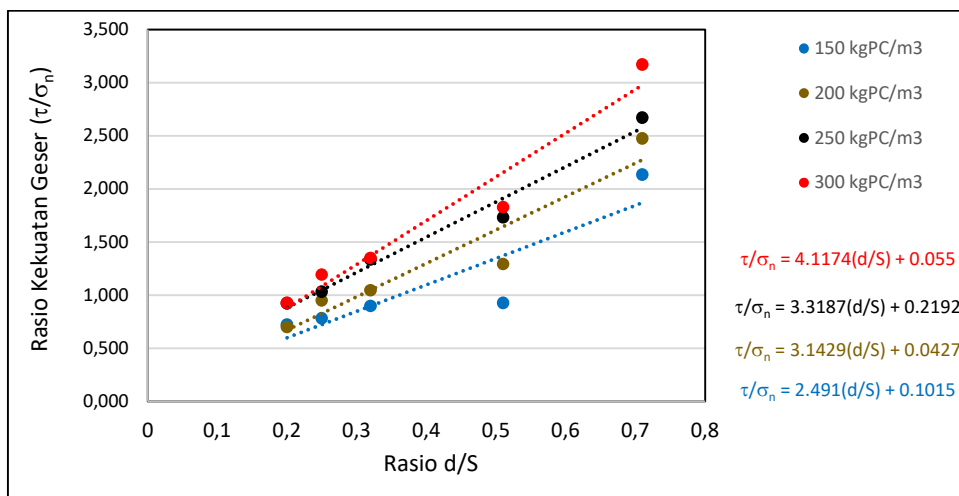
**Tabel 5.6** Perubahan rasio kekuatan geser sampel komposit dari uji geser langsung masa perawatan 56 hari

Sample No. & Code		Rasio Kekuatan Geser ( $\tau/\sigma_n$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-56	0.832	1.073	1.171	1.495	3.378
2		0.848	0.759	0.873	0.804	1.699
3		0.486	0.518	0.650	0.479	1.330
1	D 200-56	0.877	1.405	1.611	1.873	3.896

2		0.737	0.858	0.991	1.382	1.745
3		0.485	0.590	0.542	0.625	1.788
1	D 250-56	1.518	1.639	1.668	2.337	2.908
2		0.728	0.896	1.500	1.939	2.909
3		0.531	0.564	0.841	0.924	2.201
1	D 300-56	1.495	1.881	2.167	2.284	5.202
2		0.804	1.051	1.173	1.517	2.873
3		0.479	0.648	0.708	1.686	1.939



**Gambar 5.12** Perubahan Rasio Kekuatan Geser Sampel Komposit Dari Uji Geser Langsung Masa Perawatan 56 Hari



**Gambar 5.13** Perubahan Rasio Kekuatan Geser Rata-rata Sampel Komposit Dari Uji Geser Langsung Masa Perawatan 56 Hari

Perubahan rasio kekuatan geser rata-rata model komposit sampel kolom semen tanah akibat variasi kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 56 hari secara linear dapat dilihat pada Gambar 5.13. Kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 150 kg/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari adalah minimum, dan persamaannya seperti pada persamaan 5.21 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 2.491 (d/S) + 0.1015 \quad (5.21)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S dengan kandungan semen sebanyak 200 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari adalah lebih ketara berbanding dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Hasil persamaannya seperti pada persamaan 5.22 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 3.1429 (d/S) + 0.0427 \quad (5.22)$$

Sedangkan kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S pada kandungan semen sebanyak 250 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari mempunyai persamaan seperti persamaan 5.23 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 3.3187 (d/S) + 0.2192 \quad (5.23)$$

Manakala kenaikan rasio kekuatan geser terhadap kenaikan rasio d/S pada kandungan semen sebanyak 300 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 56 hari merupakan kenaikannya yang tertinggi dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaannya adalah seperti persamaan 5.24 dibawah ini.

$$\tau/\sigma_v = 4.1174 (d/S) + 0.055 \quad (5.24)$$

Rasio kekuatan geser inipun meningkat kekuatannya hingga sampai suatu masa dimana kekuatannya sudah mencapai maksimuml Sebagimana penggunaan semen Ketika membuat konkrit, masa minimum untuk mencapai kekuatan maksimuml adalah selama 28 hari. Namun apabila semen dicampur dengan lempung lembut, maka untuk mendapatkan sifat 100% ini memerlukan lebih dari kekuatan mekanik 28 hari. Oleh itu perlu untuk diketahui pengaruh masa perawatan sampel model kolom semen tanah terhadap kenaikan rasio kekuatan geser.

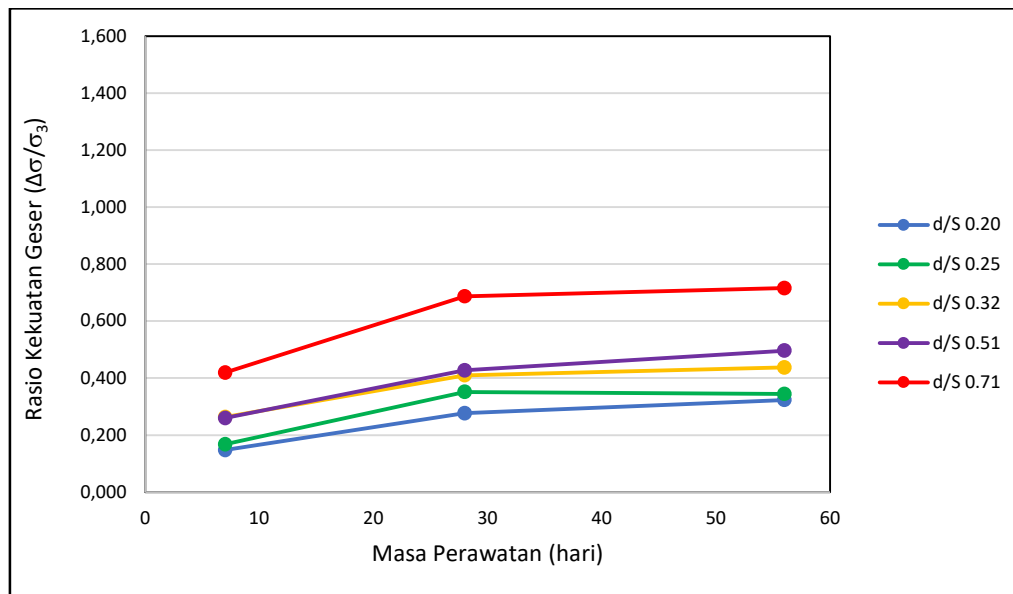


### 5.3 Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dengan Variasi Kandungan Semen

Apabila semen bercampur dengan lempung, sifat mekanik lempung akan meningkat, dan besar peningkatannya sangat dipengaruhi oleh masa perawatan. Semakin lama masa perawatan maka semakin meningkat sifat kekuatan mekanik campuran lempung dengan semen tersebut.

Hasil di bawah adalah berdasarkan darin uji masa perawatan terhadap sampel

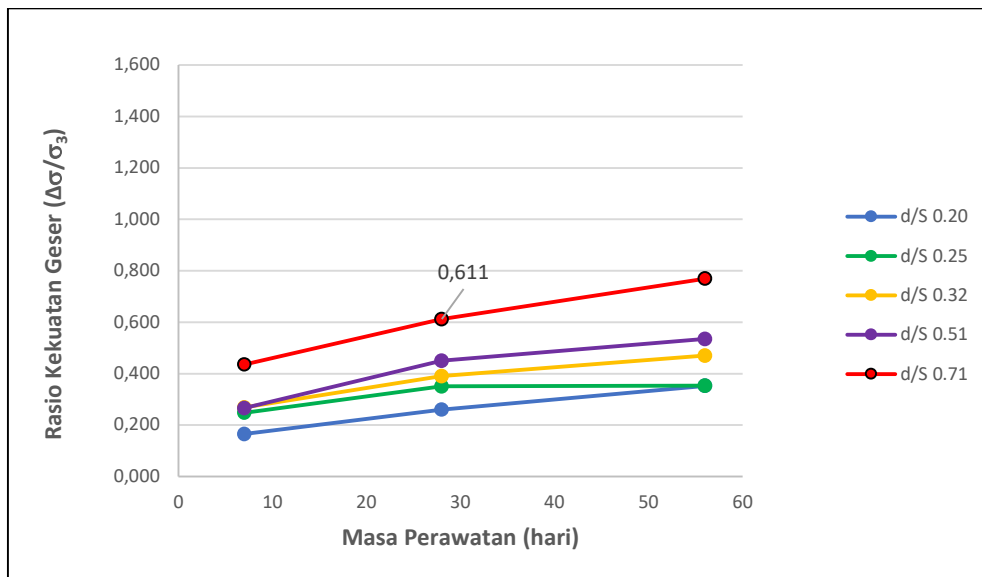
#### 5.3.1 Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dari Triaxial test



**Gambar 5.14** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test dengan kandungan 150 kgPC/m<sup>3</sup>.

Perawatan sampel dibuat mulai 7 hari, 28 hari hingga masa 56 hari, dimana uji kekuatan geser dengan triaksial dilakukan pada pada masa tersebut. Masa perawatan secara umumnya menjadi factor terhadap terjadinya peningkatan rasio kekuatan geser.

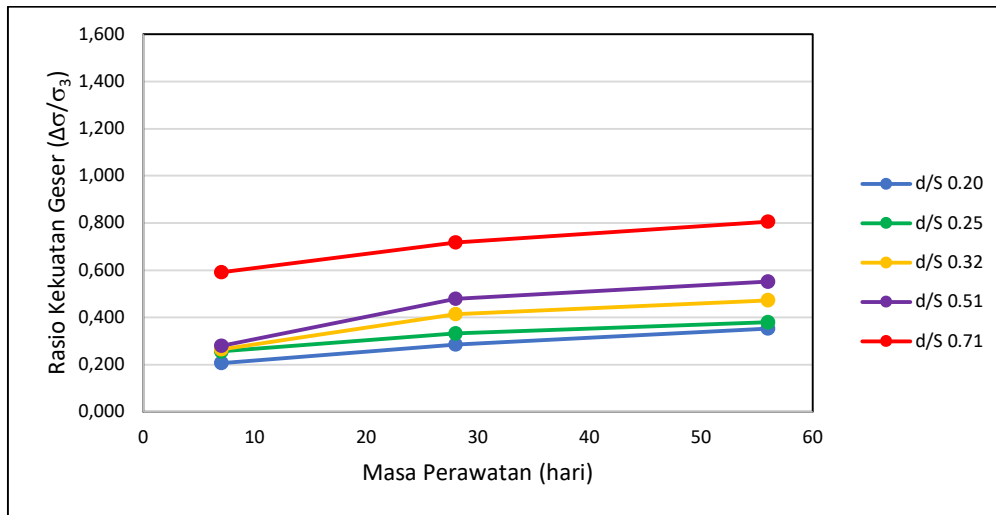
Kenaikan rasio kekuatan geser pada masa perawatan 7 hari kepada 28 hari adalah lebih besar bila dirasiokan kenaikan pada masa perawatan 28 hari ke 56 hari. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14, dimana kecerunan garis kenaikan menurun dengan pertambahan dari perawatan. Perbedaan kenaikan rasio kekuatan geser tersebut terjadi untuk semua rasio d/S. Pada d/S 0.20 rasio kekuatan geser pada masa perawatan 7 hari bernilai 0.148 dan masa perawatan 28 hari bernilai 0.277, kenaikan rasio kekuatan geser sebesar 87.2 % telah terjadi, sedangkan pada masa perawatan 56 hari kekuatan gesernya sebesar 0.323, atau kenaikan dari masa perawatan 28 hari hingga 56 hari adalah sebesar 19.1 %. Hal ini terjadi umum pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, seperti pada Gambar 5.3.1, dan bila kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> seperti pada Gambar 5.3.2. Kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> pula seperti pada Gambar 5.3.3 dan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> di Gambar 5.3.4.



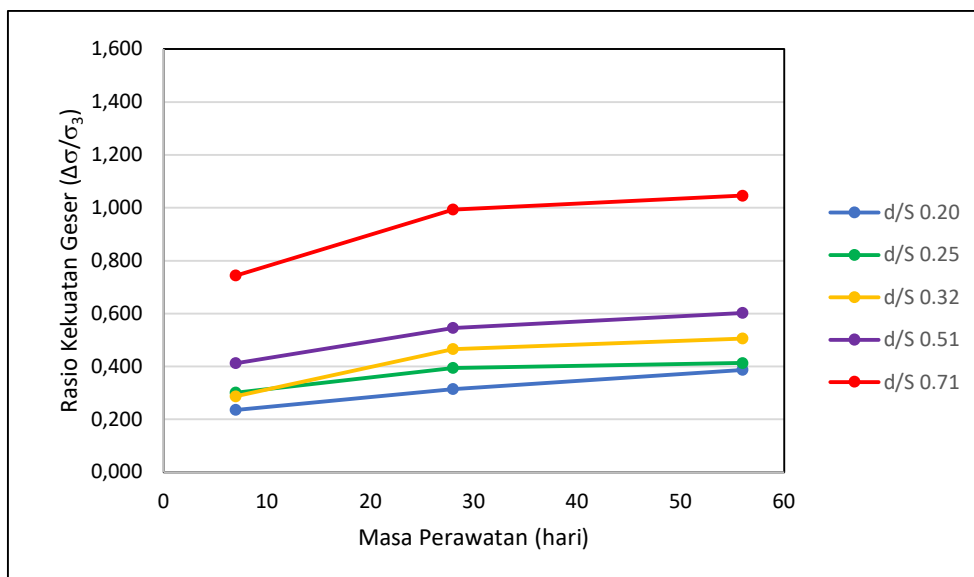
**Gambar 5.15** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test dengan kandungan 200 kgPC/m<sup>3</sup>.

Cerun garis pertambahan rasio kekuatan geser dari perawatan 7 hari hingga 28 hari lebih besar bisa dibandingkan cerun garis pertambahan rasio kekuatan geser perawatan 28 hari kepada perawatan 56 hari. Ini dapat dilihat di Gambar 5.14 untuk

kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, di Gambar 5.15 untuk kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, pada Gambar 5.16 untuk kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan Gambar 5.17 untuk kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>.



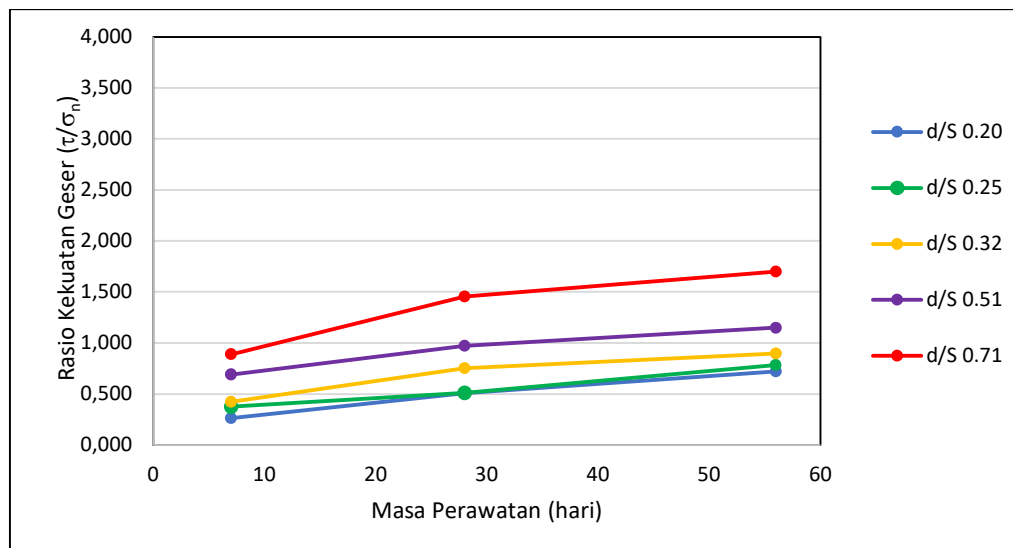
**Gambar 5.16** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test dengan kandungan 250 kgPC/m<sup>3</sup>.



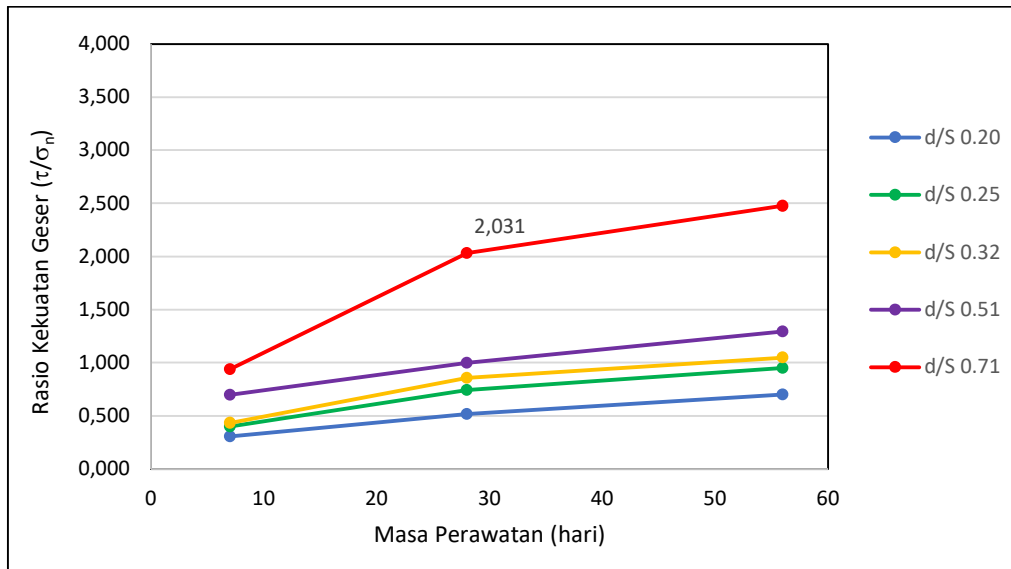
**Gambar 5.17** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test dengan kandungan 300 kgPC/m<sup>3</sup>.

### 5.3.2 Pengaruh Masa Perawatan Terhadap Perubahan Rasio Kekuatan Geser Dari Uji Geser Langsung

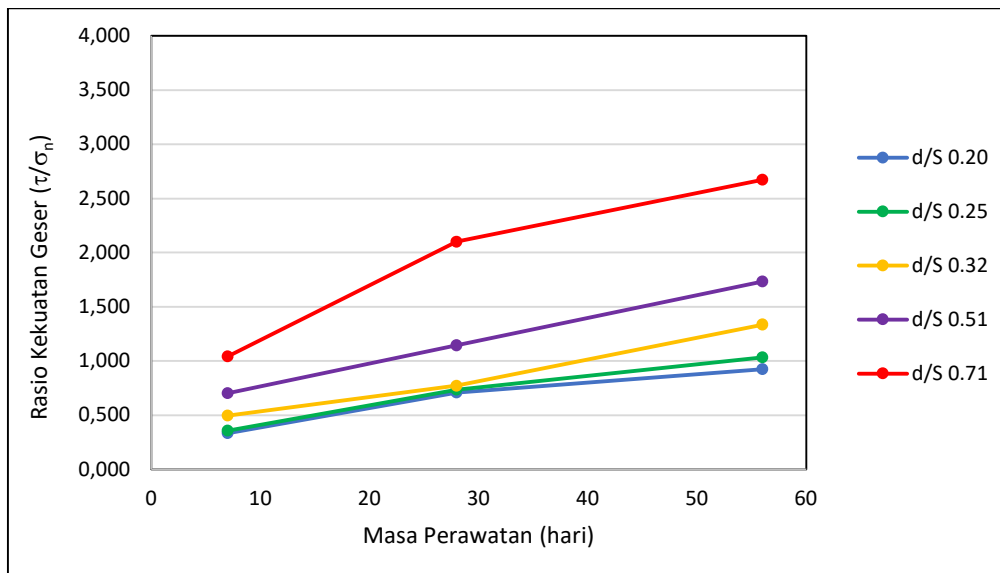
Perubahan rasio kekuatan geser dari pada uji geser langsung memiliki perilaku yang serupa dengan perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test seperti pada pembahasan 5.3.1, Secara umumnya perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung terhadap masa perawatan sampel kolom semen tanah menunjukkan bahwa perubahan dari masa perawatan 7 hari hingga masa perawatan 28 hari adalah lebih besar apabila dibandingkan dari 28 hari ke 56 hari masa perawatan. Hal ini terjadi pada kandungan 150 kgPC/m<sup>3</sup> seperti pada Gambar 5.18, kandungan 200 kgPC/m<sup>3</sup> seperti pada Gambar 5.19, kandungan 250 kgPC/m<sup>3</sup> seperti pada Gambar 4.20 dan kandungan 300 kgPC/m<sup>3</sup> seperti pada Gambar 5.21 berikut. Besar dan perubahan kenaikan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung lebih besar bila dibandingkan kenaikan perubahan rasio kekuatan geser dari triaxial test. Hal ini seperti yang telah dijelaskan di dalam bagian 5.2.4



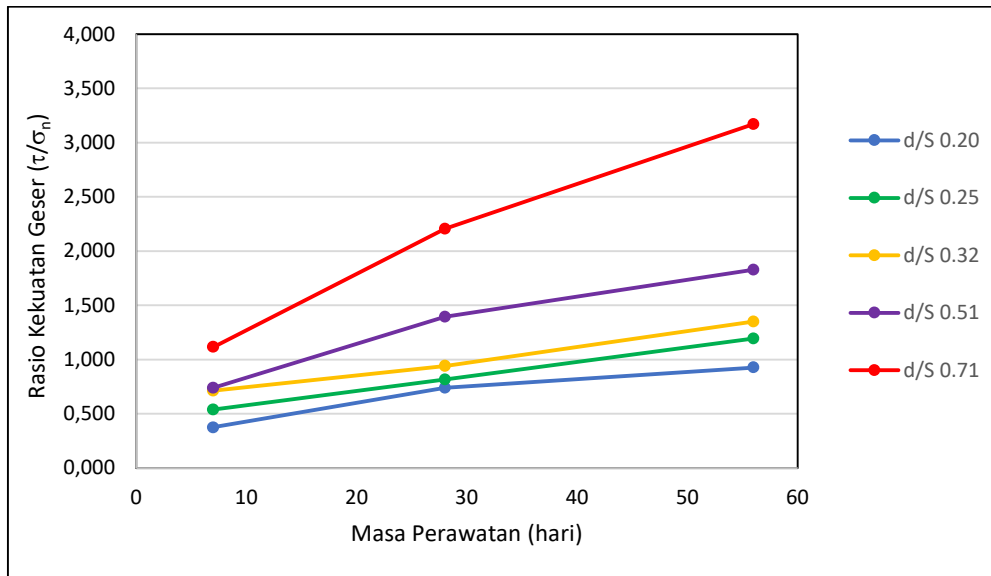
**Gambar 5.18** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dengan kandungan 150 kgPC/m<sup>3</sup>.



**Gambar 5.19** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dengan kandungan 200 kgPC/m<sup>3</sup>.



**Gambar 5.20** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dengan kandungan 250 kgPC/m<sup>3</sup>.



**Gambar 5.21** Pengaruh masa perawatan dan rasio d/S terhadap perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dengan kandungan 300 kgPC/m<sup>3</sup>.

Secara umum perilaku perubahan rasio kekuatan geser akibat perawatan pada uji geser langsung sama dengan triaxial test, Namun dengan besar yang berbeda, seperti pada Gambar 5.18 untuk kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> Gambar 5.19 untuk kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>. Gambar 5.20 untuk kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan Gambar 5.21 untuk kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Besar rasio kekuatan geser dari uji geser langsung lebih besar dari pada triaxial test. Sebagai contoh perbezaan besar ini pada masa perawatan 7 hari dengan rasio d/S 0.71 dan kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> adalah bahwa rasio kekuatan geser dari uji geser langsung 238% lebih besar dari pada rasio kekuatan geser triaxial test. Ini terjadi karena bidang satah antara uji keduanya berbeda.

#### 5.4 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser

Perbedaan parameter kekuatan geser pada uji semula lempung lembut Kroya, terjadinya karena terdapat perbedaan pola keruntuhan antara triaxial test dan uji geser langsung di dalam penentuan kekuatan geser. Dengan itu maka terjadi perbedaan di dalam pada rasio kekuatan geser dari triaxial test dan uji geser langsung. Pada Tabel 5.7 rata-rata rasio kuatan geser hasil triaxial test lempung lembut Kroya adalah 0.132, manakala untuk hasil uji geser langsung bernilai 0.144 seperti pada Tabel 5.8. Prosentase perubahannya ialah lebih besar 9,1% rasio kekuatan geser dari uji langsung pada pada triaxial test.

**Tabel 5.7** Rasio kekuatan geser lembut Kroya semula jadi dengan triaxial test

Bil Sampel	Kod Sampel	Kekuatan Geser Triaxial test		Rasio Kekuatan Geser ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ )	Rata-rata
		$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	$\phi_u$ drajat		
1	Triaxial test	1.000	3.422	0.150	
2		1.000	3.137	0.121	0.132
3		1.000	3.137	0.124	

**Tabel 5.8** Rasio kekuatan geser lembut Kroya semual jadi dengan uji geser langsung

Bil Sampel	Kod Sampel	Kekuatan Geser Uian Geser Langsung		Rasio Kekuatan Geser ( $\tau/\sigma_n$ )	Rata-rata
		$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	$\phi_u$ drajat		
1	Uji Geser Langsung	7.631	2.192	0.211	
2		6.447	2.873	0.126	0.144
3		5.863	3.084	0.095	

#### 5.4.1 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser Kolom Semen Tanah Variasi Kandungan Semen dan Masa Perawatan Dengan Triaxial test

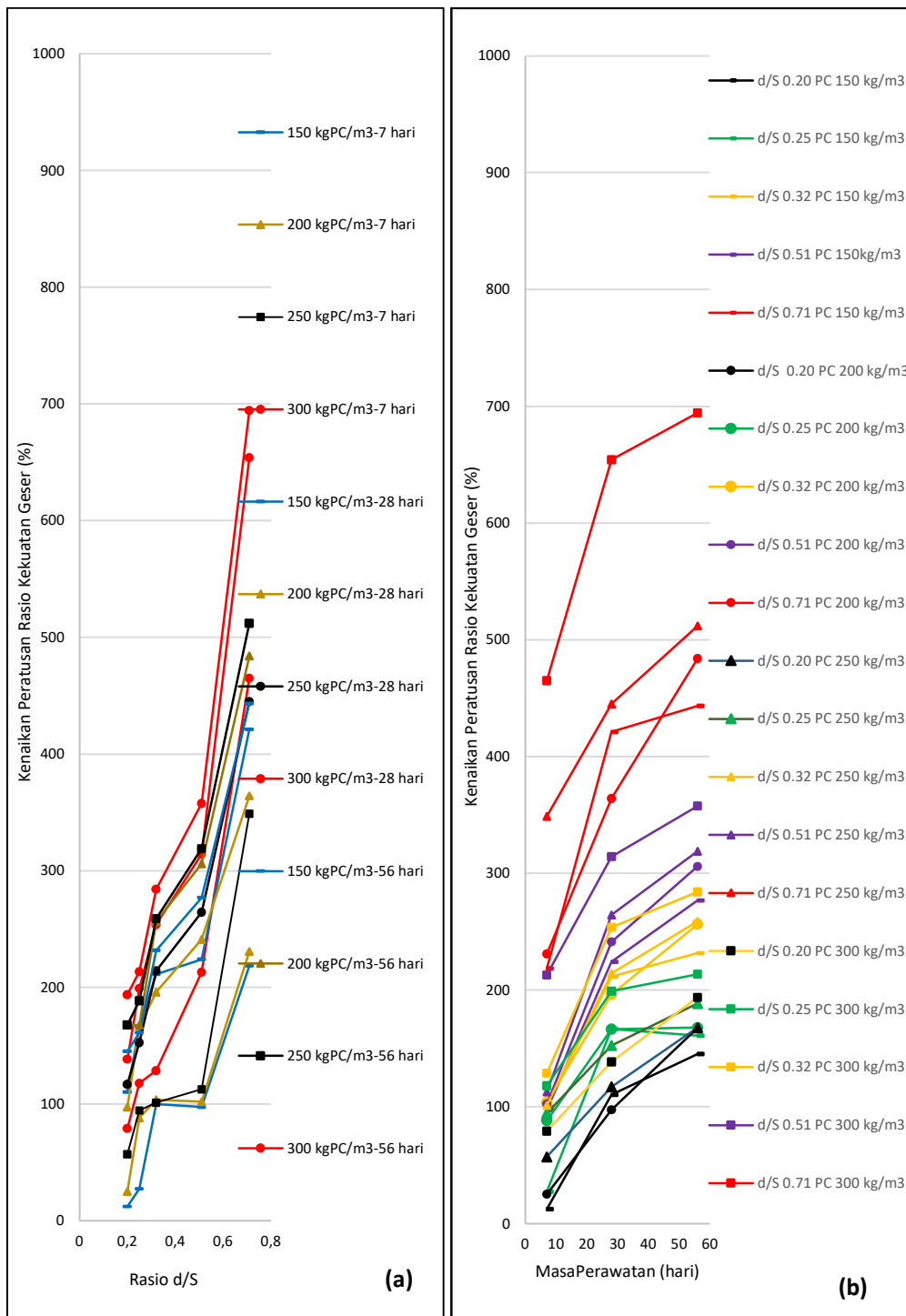
Prosentase kenaikan rasio kekuatan geser dari triaxial test dirasionkan kepada rasio kekuatan geser semula lempung lembut Kroya. Prosentase kenaikan ini terjadi karena peningkatan terhadap kandungan semen, masa perawatan dan rasio d/S. Prosentase kenaikan minimum dari triaxial test terjadi pada kandungan semen 150

kgPC/m<sup>3</sup> ketika perawatan 7 hari dan rasio d/S = 0.20 ialah 112.4%. Prosentase kenaikan tertinggi ialah 1048.3% terjadi pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, pada masa perawatan 56 hari dengan rasio d/S sebesar 0.71. Kenaikan prosentase rasio kekuatan geser dari triaxial test akibat peningkatan kandungan semen, masa perawatan dan rasio d/S secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut. Manakala kenaikan prosentase rasio kekuatan geser dari triaxial test terhadap rasio d/S dapat dilihat pada Gambar 5.22 (a), Sedangkan kenaikan prosentase rasio kekuatan geser akibat masa perawatan sampel kolom semen tanah dapat dilihat pada Gambar 5.22 (b).

**Tabel 5.9** Prosentase perubahan rasio kekuatan geser kolom semen tanah dibandingkan dengan kondisi tanah asli dari triaxial test .

Kenaikan Prosentase Rasio Kekuatan Geser Dari Triaxial test (%)					
Masa Perawatan (hari)	150 kgPC/m <sup>3</sup>				
	0.2 d/S	0.25 d/S	0.32 d/S	0.51 d/S	0.71 d/S
7	112.39	188.26	203.85	215.49	312.84
28	210.43	266.78	311.47	324.16	521.15
56	267.89	281.53	331.78	373.20	510.70
200 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	127.51	200.02	195.25	202.31	318.60
28	197.48	266.37	296.21	341.21	464.18
56	267.69	288.57	356.51	405.94	583.93
250 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	157.16	125.22	201.26	212.67	448.85
28	223.86	269.50	328.80	406.89	510.70
56	267.83	331.53	351.00	418.96	706.02
300 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	179.11	228.76	218.04	312.97	649.73
28	238.62	299.11	353.85	355.18	828.87
56	293.72	261.06	396.23	445.57	1048.30





**Gambar 5.22** (a) Prosentase kenaikan rasio kekuatan geser pada model kolom semen tanah akibat rasio d/S dan (b) prosentase kenaikan rasio kekuatan geser akibat masa perawatan konten semen pada kolom semen tanah dari triaxial test

#### **5.4.2 Prosentase Perubahan Rasio Kekuatan Geser Kolom Semen Tanah (SSC) Terhadap Kandungan Semen dan Masa Perawatan Dengan Uji Geser Langsung**

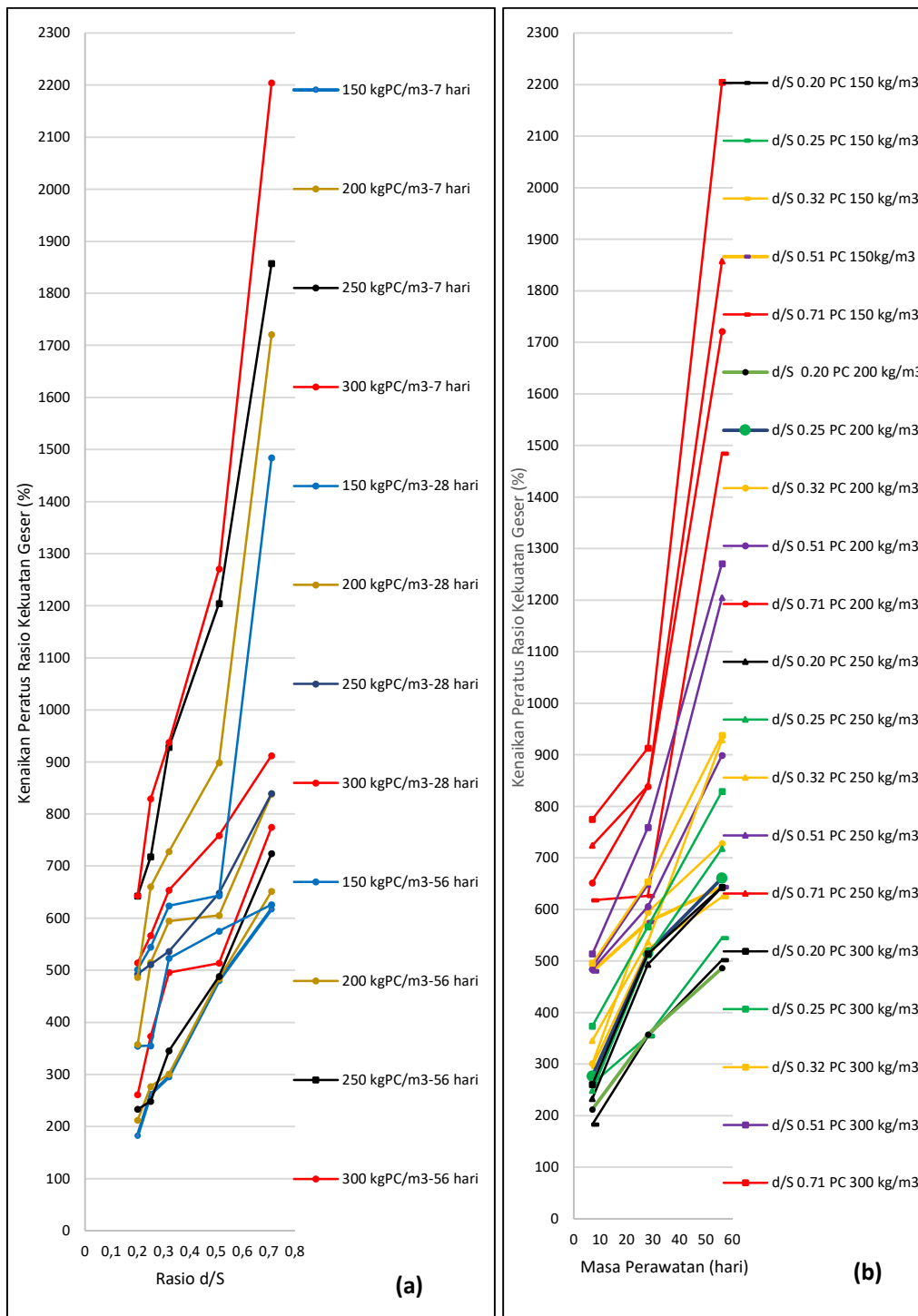
Prosentase kenaikan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dirasioikan terhadap rasio kekuatan geser semula lempung lembut Kroya. Prosentase kenaikan ini terjadi akibat dari peningkatan kepada kandungan semen, peningkatan masa perawatan dan peningkatan rasio d/S. Prosentase kenaikan paling rendah dari uji geser langsung yang terjadi pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  pada masa perawatan 7 hari dan rasio d/S = 0.20 ialah 182.9%. Prosentase kenaikan paling tertinggi ialah 2204.3% terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , pada masa perawatan 56 hari dengan rasio d/S sebesar 0.71. Kenaikan prosentase rasio kekuatan geser dari uji geser langsung akibat peningkatan kandungan semen, masa perawatan dan rasio d/S keseluruhannya dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut. Manakala kenaikan prosentase rasio kekuatan geser dari uji geser langsung terhadap rasio d/S dapat dilihat pada Gambar 5.23 (a). Sedangkan kenaikan prosentase rasio kekuatan geser akibat masa perawatan sampel kolom semen tanah dapat dilihat pada Gambar 5.2b (b).

Secara umum dapat terlihat bahwa prosentase kenaikan kekuatan geser dari uji geser langsung adalah lebih besar dari pada kenaikan prosentase rasio kekuatan geser dengan triaxial test. Perbezaan prosentase kenaikan rasio kekuatan geser antara uji geser langsung dengan triaxial test dari keseluruhannya dengan rentang antara 30% hingga 210%.

Kesan dari perbezaan prosentase kekuatan geser antara triaxial test dan uji geser langsung dalam rekabentuk geoteknik salah satunya ialah didalam penentuan faktor keselamatan yang pasti. Penentuan uji jenis kekuatan geser di makmal harus sesuai dengan bidang satah pada setiap kes geoteknik yang terjadi.

**Tabel 5.10** Prosentase perubahan rasio kekuatan geser kolom semen tanah dibandingkan dengan kondisi tanah asli dari uji geser langsung .

Kenaikan Prosentase Rasio Kekuatan Geser Dari Uji Geser Langsung (%)					
Masa Perawatan (hari)	150 kgPC/m <sup>3</sup>				
	0.2 d/S	0.25 d/S	0.32 d/S	0.51 d/S	0.71 d/S
7	182.929	262.066	295.079	480.153	617.978
28	354.451	354.960	523.353	575.408	626.350
56	501.749	544.487	624.167	643.631	1484.382
200 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	212.151	277.029	301.033	483.811	651.820
28	357.636	515.454	594.655	605.779	838.590
56	608.596	660.136	697.438	808.239	1721.306
250 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	233.248	248.503	345.781	488.748	724.544
28	492.990	511.203	536.572	648.351	839.746
56	643.104	717.945	928.828	1204.594	1857.660
300 kgPC/m <sup>3</sup>					
7	260.940	373.787	495.917	513.910	775.007
28	535.518	545.133	653.841	758.983	912.652
56	643.631	829.258	965.112	1243.989	2204.301



**Gambar 5.23** (a) Prosentase kenaikan rasio kekuatan geser pada model kolom semen tanah akibat rasio d/S dan (b) prosentase kenaikan rasio kekuatan geser akibat masa perawatan konten semen pada kolom semen tanah dari uji geser langsung.

## **BAB VI**

### **HASIL PENELITIAN FAKTOR KEKUATAN GESER KOMPOSIT MODEL KOLOM SEMEN TANAH**

#### **6.1 Pendahuluan**

Perubahan kekuatan geser komposit model kolom semen tanah dari triaxial test dan geser langsung menghasilkan perubahan kohesi komposit dan sudut geser dalam komposit dari model kolom semen tanah dengan bermacam variasi masa perawatan, rasio d/S dan kandungan semen. Perubahan modulus elastisitas komposit ditentukan melalui triaxial test. Pada Bab ini akan melihat hasil uji yang telah dijalankan di makmal.

#### **6.2 Kekuatan Geser Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Triaxial test**

Perubahan kekuatan geser yang merupakan kohesi komposit ( $c_{comp}$ ) dan sudut geser dalam komposit ( $\phi_{comp}$ ) akan dilakukan pada kolom semen tanah dengan empat variasi kandungan semen, tiga variasi masa perawatan dan lima variasi rasio d/S. Kekuatan geser dilakukan melalui triaxial test dan uji geser langsung. Hal ini adalah untuk mengetahui secara lebih jelas sebab terjadinya kenaikan rasio.

##### **6.2.1 Kohesi Komposit Dari Model Kolom Semen Tanah Dengan Triaxial test**

Pada sampel model kolom semen tanah, apabila semakin besar kandungan semen, masa perawatan akan menjadi lebih lama dan semakin besar rasio d/S peningkatan kohesi komposit ( $c_{comp}$ ). Pada masa perawatan 7 hari, dengan triaxial test kohesi komposit minimum adalah  $3 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S 0.20. Manakala kohesi komposit maksimum adalah  $36 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71. Perubahan nilai kenaikan kohesi komposit dari triaxial test pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut. Manakala pada Gambar 6.1 dapat dilihat perubahan kohesi komposit akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Gambar 6.2 menunjukkan perubahan kohesi komposit rata-rata dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Pada Gambar 6.2 dapat dilihat bahwa kenaikan kohesi komposit tidak signifikan bila rasio d/S lebih kecil dari 0.71. Hal ini karena pada rasio d/S dibawah 0.71 pada masa perawatan sampai 7 hari, semen belum bereaksi maksimum dengan lempung lembut. Kohesi komposit rata-rata sangat ketara kenaikannya apabila rasio d/S 0.71 pada masa perawatan 7 hari, yaitu sebesar 21, 33  $\text{kN/m}^2$ , atau kenaikan 700% dari kohesi semula jadi.

**Tabel 6.1** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 7 hari

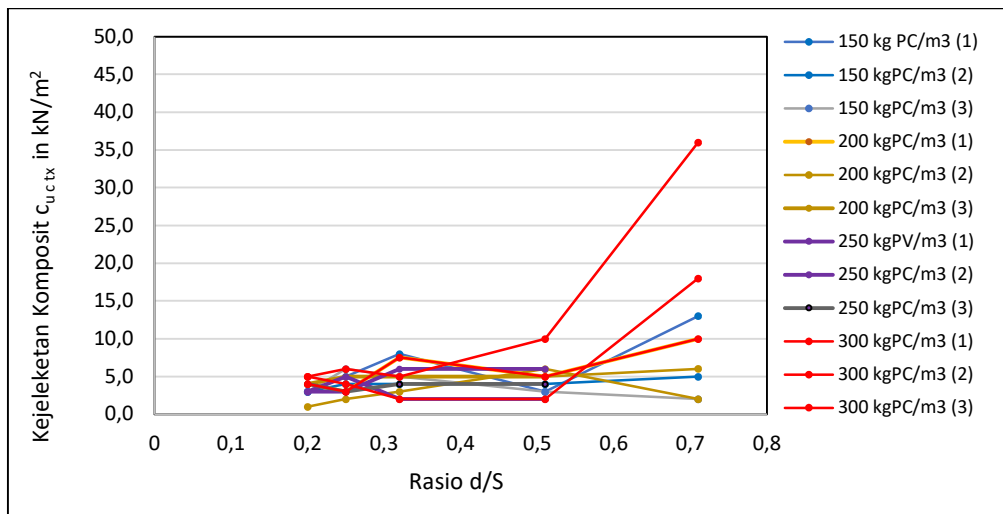
Bil Sampel dan Kod		Kohesi komposit ( $\text{kN/m}^2$ ) Pada Rasio d/S				
		0.20	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-7	3.000	3.000	6.000	6.000	7.500
2		3.000	4.000	2.000	2.000	2.000
3		3.000	3.000	4.000	4.000	5.000
1	T 200-7	4.000	3.000	5.000	5.000	13.000
2		1.000	2.000	5.000	3.000	5.000
3		4.000	5.000	3.000	5.000	2.000
1	T 250-7	3.000	3.000	7.500	8.000	10.000
2		3.000	5.000	2.000	4.000	6.000
3		4.000	3.000	5.000	5.000	6.000
1	T 300-7	4.000	3.000	5.000	5.000	10.000
2		5.000	4.000	4.000	2.000	18.000

3		5.000	6.000	6.000	10.000	36.000
---	--	-------	-------	-------	--------	--------

Dari pada setiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.1 pada masa perawatan 7 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan keliling yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

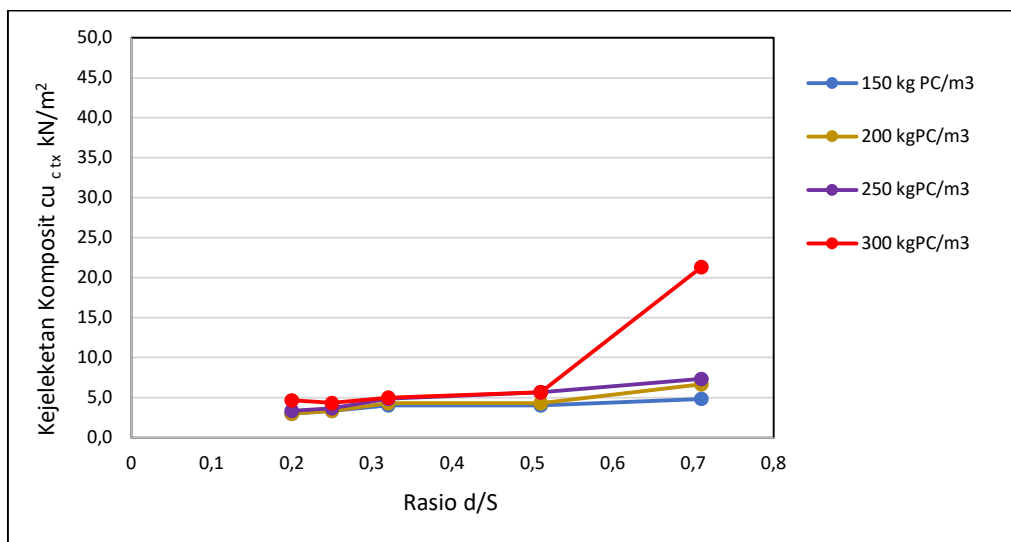
Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi komposit terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan kelilingnya dari triaxial test arah horizonatl pada Tabel 6.1 tersebut sama.

Akan tetapi bila pada Tabel 6.1 yang sama dengan Gambar 6.1, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.2.



**Gambar 6.1** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari.

Pada masa perawatan 28 hari melalui triaxial test kohesi komposit minimum yang diperoleh adalah  $2.00 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S 0.20. Manakala kohesi komposit maksimum  $40 \text{ kN/m}^2$  terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71. Perubahan kenaikan kohesi komposit dari pada triaxial test pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6.2 berikut. Gambar 6.3 melihat kepada perubahan kohesi komposit akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 28 hari. Di dalam Gambar 6.4 dapat dilihat perubahan kohesi komposit rata-rata dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S pada masa perawatan 28 hari. Kohesi komposit rata-rata sangat ketara kenaikannya bila rasio d/S 0.71 pada masa perawatan 28 hari, yaitu sebesar  $27,33 \text{ kN/m}^2$ , atau kenaikan lebih dari 900% dari kohesi semula jadi.



**Gambar 6.2** Rata-rata perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari

**Tabel 6.2** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 28 hari

Sample No. & Code		Kohesi komposit ( $\text{kN/m}^2$ ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-28	5.000	6.000	6.000	9.000	11.000
2		4.000	2.000	2.000	2.000	10.000

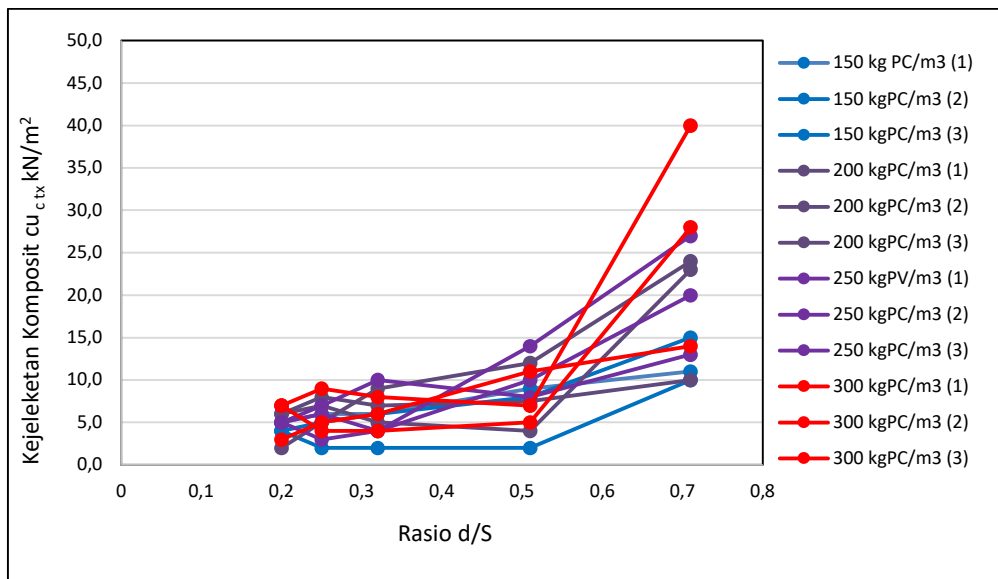


3		4.000	5.000	6.000	8.000	15.000
1	T 200-28	6.000	8.000	7.000	7.500	10.000
2		6.000	7.000	5.000	4.000	23.000
3		2.000	5.000	9.000	12.000	24.000
1	T 250-28	5.000	6.000	4.000	14.000	27.000
2		5.000	3.000	4.000	10.000	20.000
3		5.000	7.000	10.000	8.000	13.000
1	T 300-28	7.000	9.000	8.000	7.000	40.000
2		7.000	4.000	4.000	5.000	28.000
3		3.000	5.000	6.000	11.000	14.000

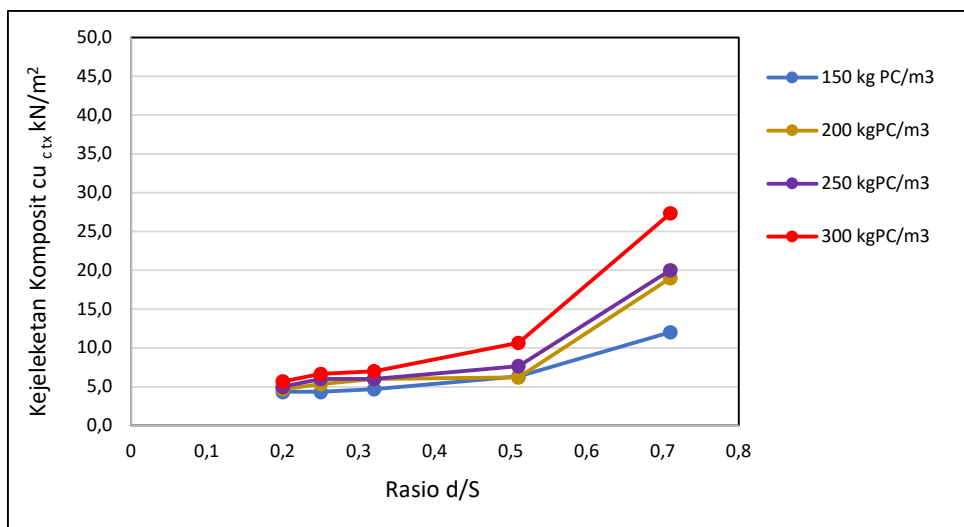
Dari pada setiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.2 pada masa perawatan 28 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan keliling yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan kelilingnya dari triaxial test arah horizonatl pada Tabel 6.2 tersebut sama.

Akan tetapi bila pada Tabel 6.2 yang sama dengan Gambar 6.3, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 28 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.4.



**Gambar 6.3** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.



**Gambar 6.4** Rata-rata perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.

**Tabel 6.3** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 56 hari

Sample No. & Code	Kohesi komposit (kN/m <sup>2</sup> ) Pada Rasio d/S
-------------------	---

		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-56	3.000	4.000	6.000	13.000	27.000
2		6.000	4.000	8.000	10.000	20.000
3		6.000	7.000	5.500	5.000	13.000
1	T 200-56	7.000	6.000	11.000	12.000	43.000
2		4.000	5.000	7.000	12.000	10.000
3		6.000	8.000	8.000	20.000	30.000
1	T 250-56	4.000	6.000	8.000	15.000	15.000
2		6.000	5.000	6.000	10.000	40.000
3		7.000	8.000	15.000	20.000	36.000
1	T 300-56	6.000	7.000	6.000	12.000	40.000
2		4.000	5.000	10.000	8.000	40.000
3		8.000	9.000	15.000	29.000	40.000

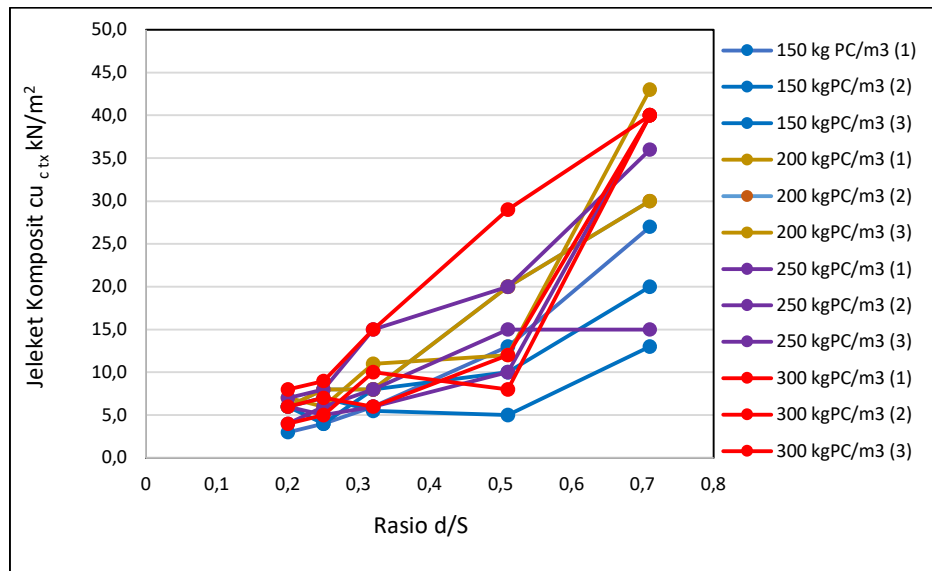
Dari pada setiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.3 pada masa perawatan 56 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan keliling yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan kelilingnya dari triaxial test arah horizonatl pada Tabel 6.3 tersebut sama.

Akan tetapi bila pada Tabel 6.3 yang sama datanya dengan Gambar 6.5, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 56 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.6.

Pada masa perawatan 56 hari melalui triaxial test nilai kohesi komposit minimum  $3.00 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S 0.20. Manakala kohesi komposit maksimum  $40 \text{ kN/m}^2$  terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71. Perubahan kenaikan kohesi komposit dari triaxial test pada masa perawatan 56 hari dapat dilihat pada Tabel 6.3. Manakala pada Gambar 6.5 dapat dilihat perubahan kohesi komposit akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 56 hari bagi semua sampel. Gambar 6.2 melihat perubahan kohesi komposit

rata-rata dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S pada masa perawatan 56 hari. Kohesi komposit rata-rata sangat ketara kenaikannya bila rasio d/S 0.71 pada masa perawatan 56 hari, yaitu sebesar  $40 \text{ kN/m}^2$ , atau kenaikan lebih dari 1300% dari kohesi semula jadi.

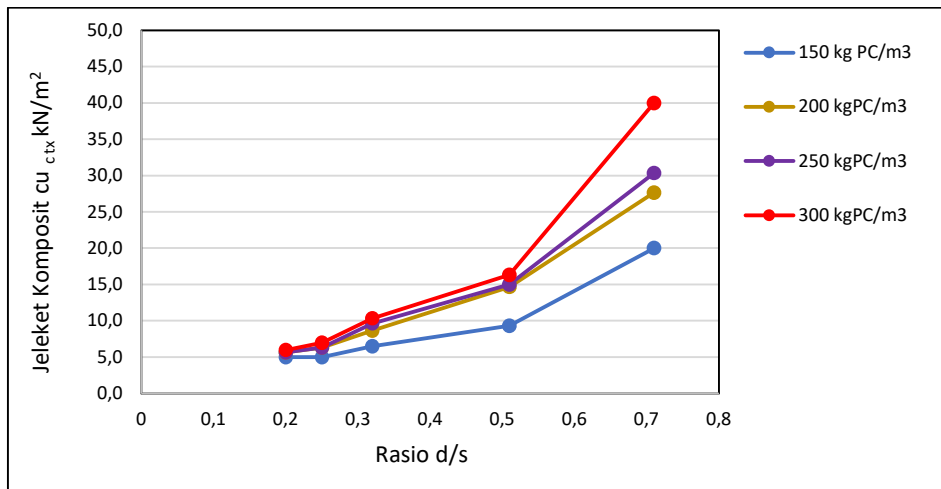


**Gambar 6.5** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.

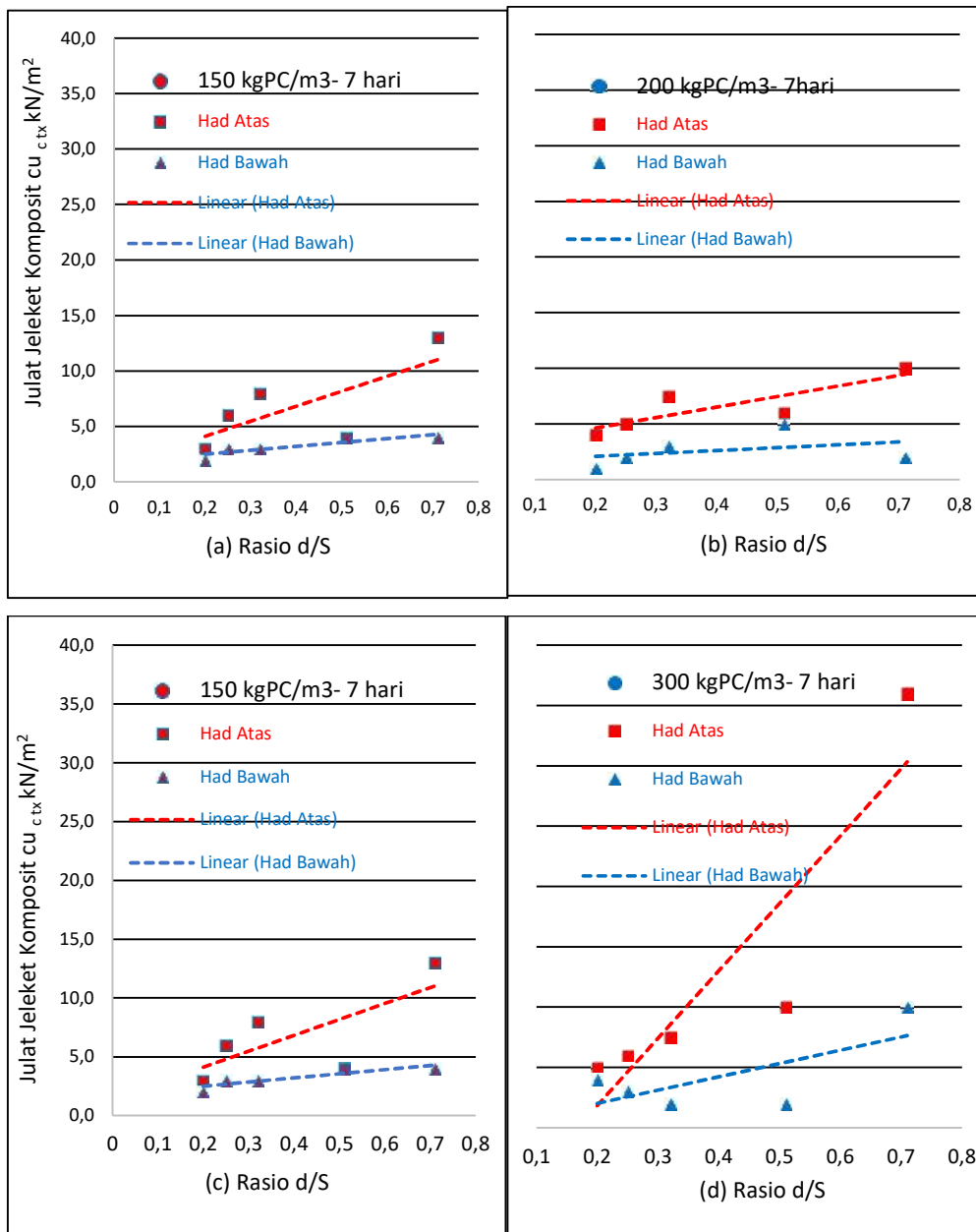
Had kohesi komposit maksimum dan minimum dari hasil triaxial test pada masa uji 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.7, dimana pada Gambar 6.7 (a) adalah had maksimum dan had minimum kohesi komposit pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Seterusnya pada Gambar 6.7 (b) untuk kandungan semen  $200 \text{ kg/m}^3$ , Gambar 6.7 (c) untuk kandungan semen  $250 \text{ kg/m}^3$  dan pada Gambar 6.7 (d) untuk kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ . Dari ke empat Gambar 6.7 tersebut tampak terjadinya peningkatan had kohesi komposit maksimum maupun minimumnya pada masa perawatan 7 hari dengan bertambah kandungan semen dan meningkatnya rasio d/S.

Rentang had kohesi komposit maksimum dan minimum tampak konsisten kelakukannya akibat peningkatan masa perawatan 28 hari, namun terdapat perbezaan an skala besarnya seperti pada Gambar 6.8. Secara signifikan pula bahawa terjadinya

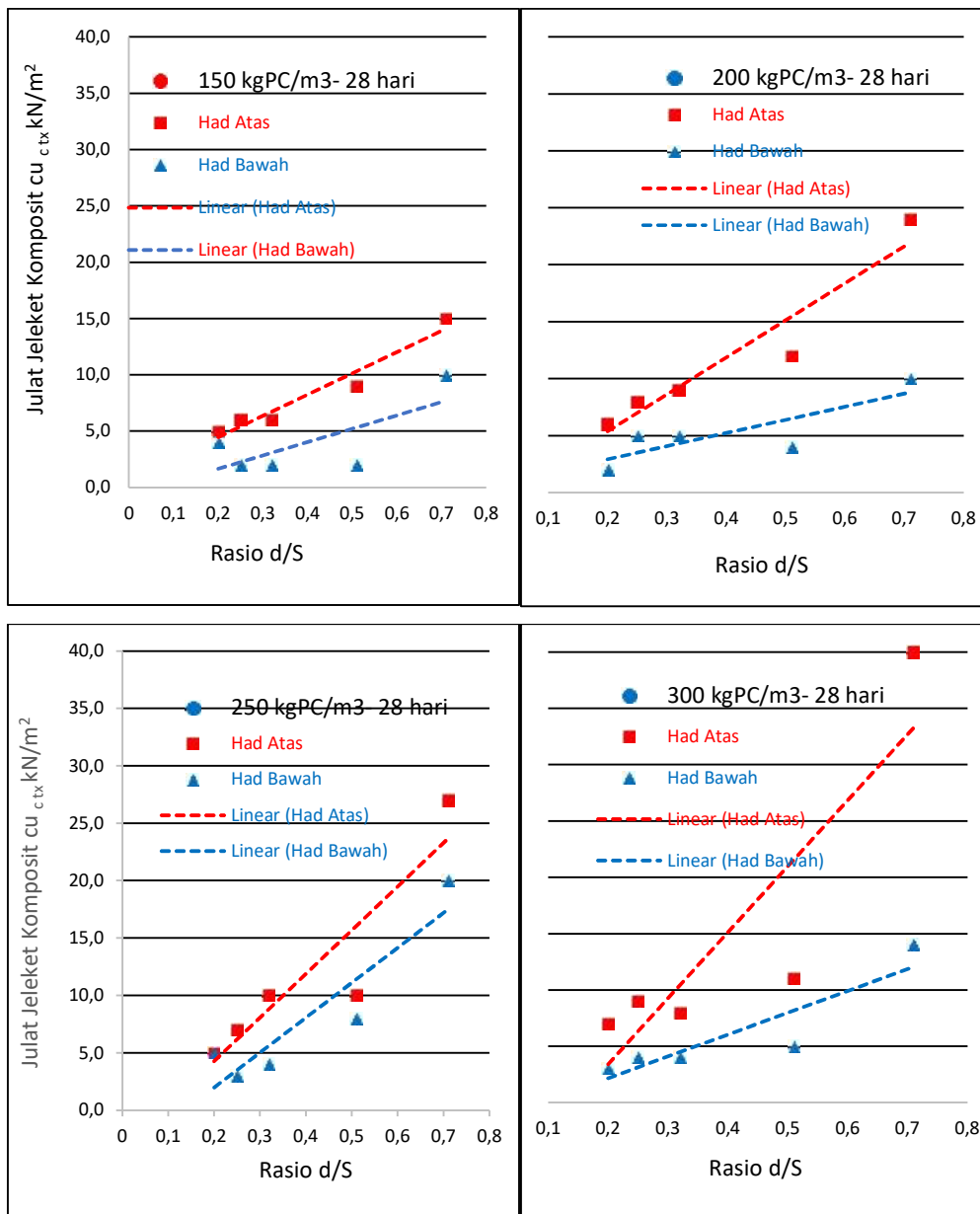
rentang had kohesi maksimum dan minimum semakin bertambah dengan semakin besarnya rasio d/S. Hal tersebut juga terjadi pada masa perawatan 56 hari, seperti dapat dilihat pada Gambar 6.9. Terjadi sedikit perbezaan antara had kohesi komposit maksimum dan minimum akibat triaxial test pada kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> dengan masa perawatan 56 hari, dimana rentang had maksimum dan minimumnya tampak konsisten dengan bertambahnya rasio d/S, Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.9 (d).



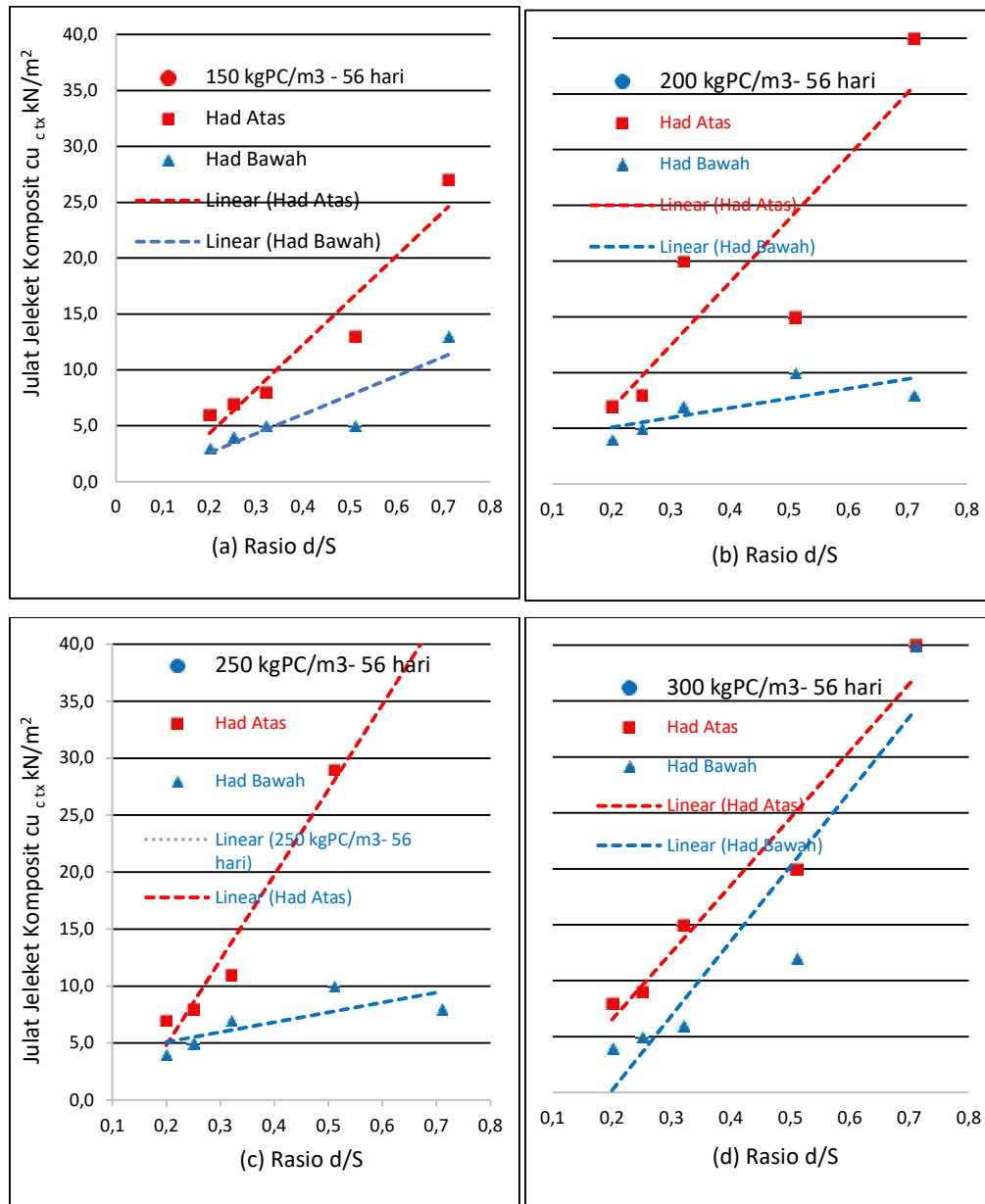
**Gambar 6.6** Rata-rata perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.



**Gambar 6.7** Had atas dan bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 7 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>



**Gambar 6.8** Had atas dan had bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 28 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>



**Gambar 6.9** Had atas dan had bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 56 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>

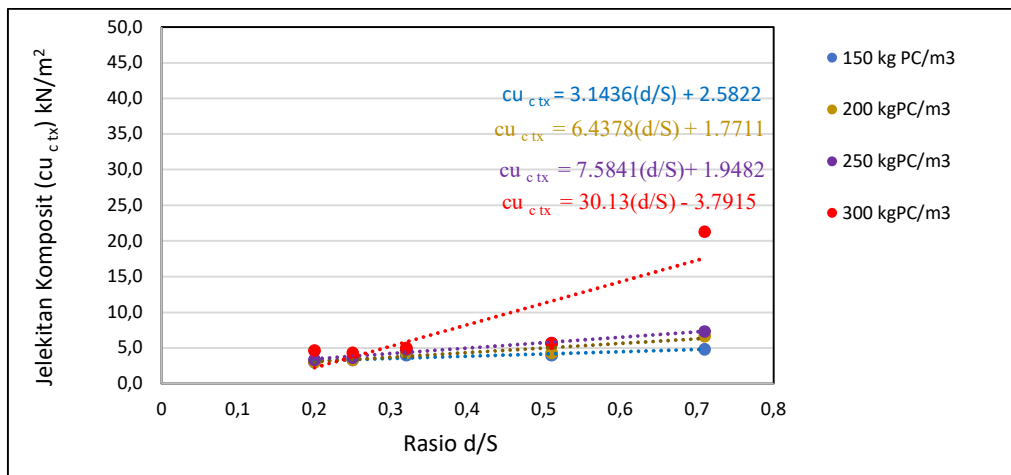


Persamaan penambahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi kandungan semen, variasi rasio d/S dan variasi masa perawatan dapat dilihat pada Tabel 6.9 berikut. hasil persamaan tersebut diperoleh dari Gambar 6.10 untuk masa perawatan 7 hari, Gambar 6.11 untuk masa perawatan 28 hari serta Gambar 6.12 untuk masa perawatan 56 hari. Persamaan tersebut hanya terjadi pada lempung semula jadi dengan kontistensi sangat lembut dengan penambahkuatan kolom semen tanah dengan pelbagai rasio d/S.

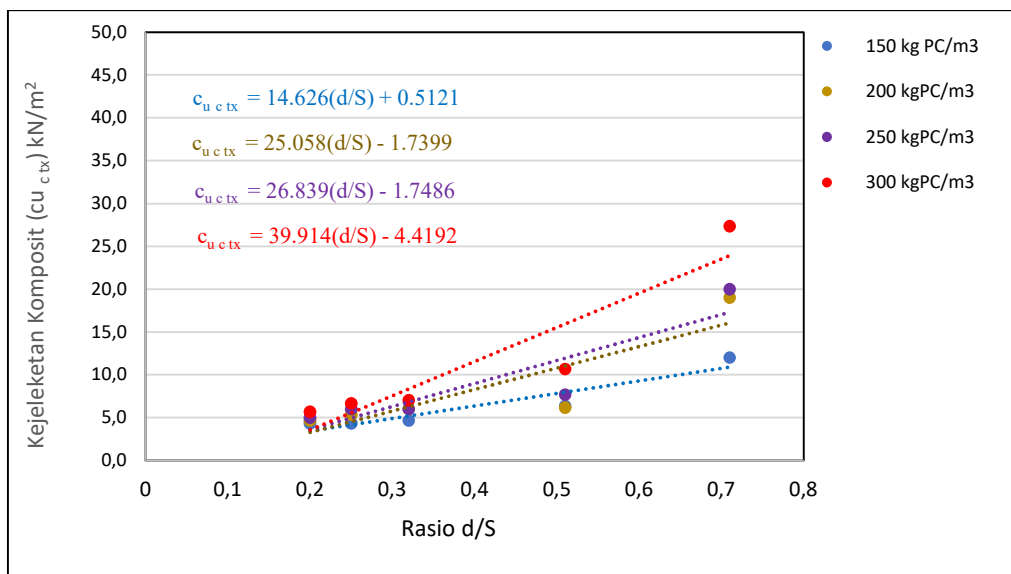
Tabel 6.4 Ikhtisar persamaan perubahan kejelekikan komposit model sampel kolom semen tanah dari triaxial test

Masa Perawatan (hari)	Kandungan semen (kgPC/m <sup>3</sup> )	Persamaan kohesi komposit $c_{u\ c\ tx}$ (kN/m <sup>2</sup> )
7	150	$c_{u\ c\ tx} = 3.1436 (d/S) + 2.5822$
7	200	$c_{u\ c\ tx} = 6.4378 (d/S) + 1.7711$
7	250	$c_{u\ c\ tx} = 7.5841 (d/S) + 1.9482$
7	300	$c_{u\ c\ tx} = 30.130 (d/S) - 3.7915$

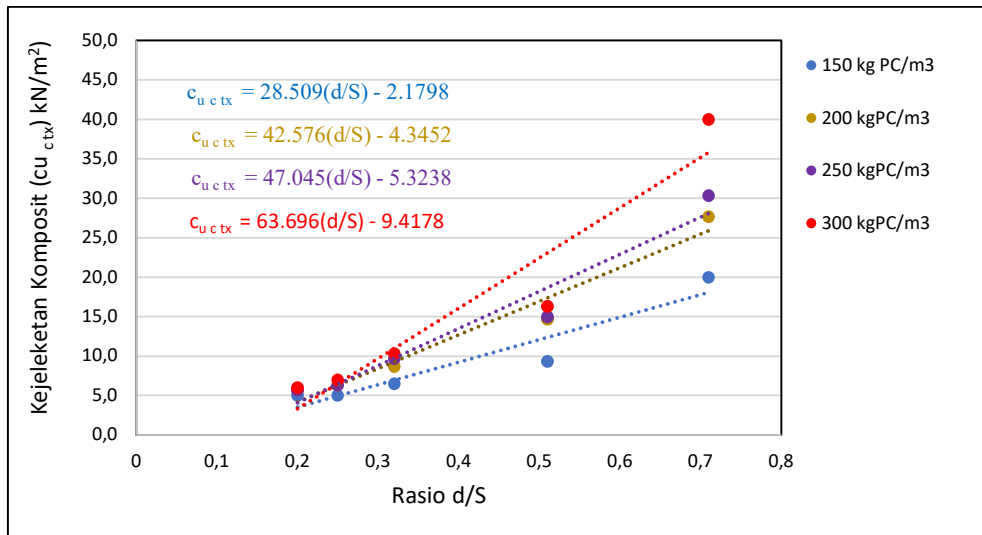
28	150	$cu_{c_{ix}} = 14.626 (d/S) + 0.5121$
28	200	$cu_{c_{ix}} = 25.058 (d/S) - 1.7399$
28	250	$cu_{c_{ix}} = 26.839 (d/S) - 1.7486$
28	300	$cu_{c_{ix}} = 39.914 (d/S) - 4.4192$
56	150	$cu_{c_{ix}} = 28.509 (d/S) - 2.1798$
56	200	$cu_{c_{ix}} = 42.576 (d/S) - 4.3452$
56	250	$cu_{c_{ix}} = 47.045 (d/S) - 5.3238$
56	300	$cu_{c_{ix}} = 63.696 (d/S) - 9.4178$



**Gambar 6.10** Persamaan kohesi komposit terhadap rasio  $d/S$  dan perubahan kandungan semen pada kolom semen tanah masa perawatan 7 hari triaxial test.



**Gambar 6.11** Persamaan kohesi komposit terhadap rasio  $d/S$  dan perubahan kandungan semen pada kolom semen tanah masa perawatan 28 hari triaxial test.



**Gambar 6.12** Persamaan kohesi komposit terhadap rasio d/S dan perubahan kandungan semen pada kolom semen tanah masa perawatan 56 hari triaxial test.

### 6.2.2 Prosentase Perubahan Kohesi Komposit Model Kolom Tanah Semen Dengan Triaxial test

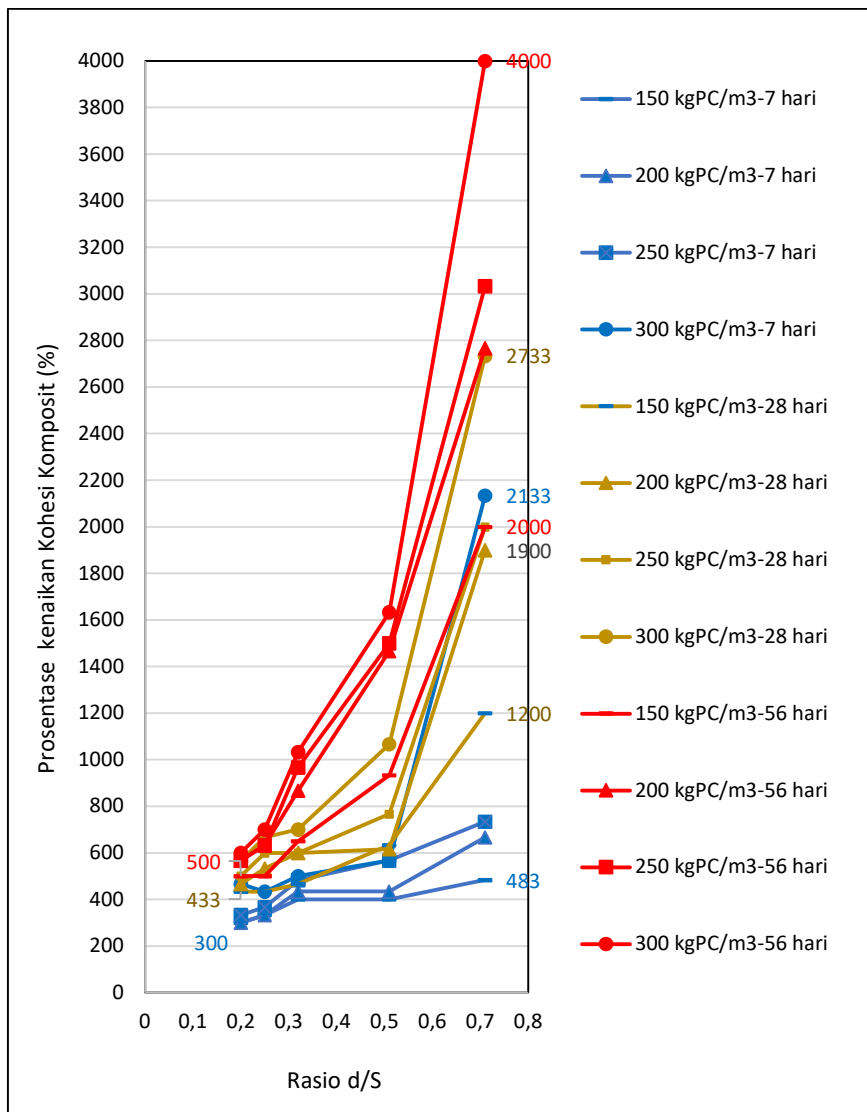
Prosentase perubahan kohesi komposit dari model kolom semen tanah dari triaxial test menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S. Pertambahan prosentase kohesi komposit juga terjadi dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>, Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6.13 berikut.

Prosentase pertambahan kohesi komposit dari triaxial test terjadi dengan merasiokan kohesi komposit dengan kohesi semula jadi lempung lembut Kroya. Prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari, yaitu sebesar 300%, Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat dimasa perawatan yang sama dan kandungan semen yang sama hingga 483% bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71. Bila kandungan semennya bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka

prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 2133 %.

Pada masa perawatan 28 hari, prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu sebesar 433%. Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat hingga 1200% bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga  $300 \text{ kgPC/m}^3$  maka prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 2733 %.

Pada masa perawatan 56 hari, prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu sebesar 500%, Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat hingga 200% bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga  $300 \text{ kgPC/m}^3$  maka prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 4000 %. Prosentase pertambahan kohesi komposit dapat dilihat pada Gambar 6.13 berikut.



**Gambar 6.13** Prosentase perubahan kohesi komposit model kolom semen tanah dengan triaxial test

### 6.2.3 Sudut Geser Dalam Komposit Dari Model Kolom Semen Tanah Melalui Triaxial test

Lempung lembut Kroya semula jadi yang memiliki kekuatan geser yang sangat kecil kohesi ( $c_u$ ) maupun sudut geser dalam ( $\phi_u$ ) akan bertambah kekuatan geser kompositnya bila terjadi penambahan dengan kolom semen tanah. Sudut geser

dalam lempung lembut semula jadi yang pada umumnya kecil atau mendekati bilangan sifar (0). Sudut geser dalam komposit akan bertambah secara ketara melalui penambahbaikan berupa kolom semen tanah melalui triaxial test dengan sampel model kolom semen tanah.

Hingga pada masa perawatan 7 hari dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> sudut geser dalam komposit ( $\phi_{uc}$ ) minimum sebesar 2.3°. Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar 4.2° terjadi pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup> dan 250 kg/m<sup>3</sup>, atau terjadi penambahan sebesar 82.6%. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.5.

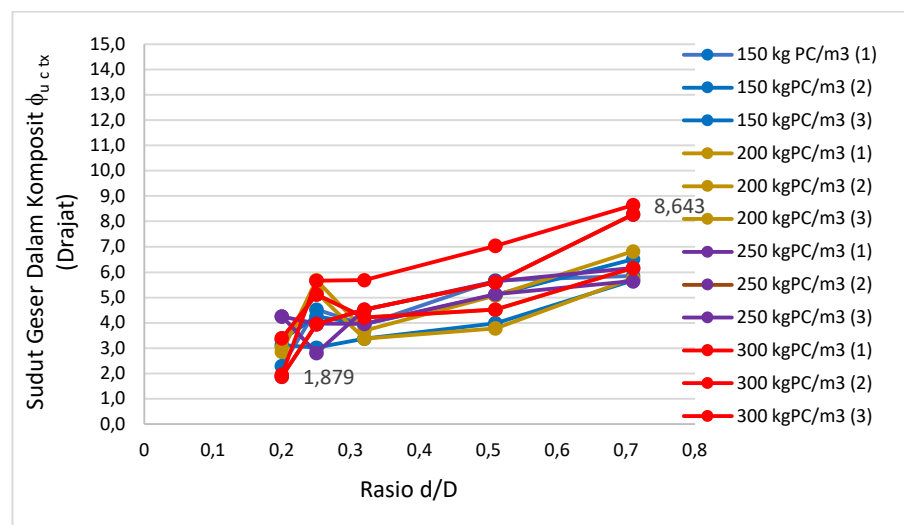
Pada Tabel 6.5 juga diperoleh peningkatan sudut geser dalam komposit maksimum pada masa perawatan 7 hari, yang terjadi pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> sebesar 8.6°, atau terjadi penambahan 284% terhadap kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan d/S 0.20.

Pada Gambar 6.14 menunjukkan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 7 hari, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.15 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan akibat kenaikan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum 1.9° terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala sudut geser dalam komposit maksimum 8.6° terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, atau terjadi perbezaan sebesar 352%

Pada Gambar 6.15 menunjukkan sudut geser dalam komposit rata-rata pada masa perawatan 7 hari dengan triaxial test. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> ialah 2.9° meningkat menjadi 4° bila kandungan semennya bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> atau terjadi peningkatan 37.9%. Sudut geser dalam komposit rata-rata akan menjadi 6° bila dilakukan peningkatan rasio d/S menjadi 0.71, atau meningkat sebesar 106.9%.

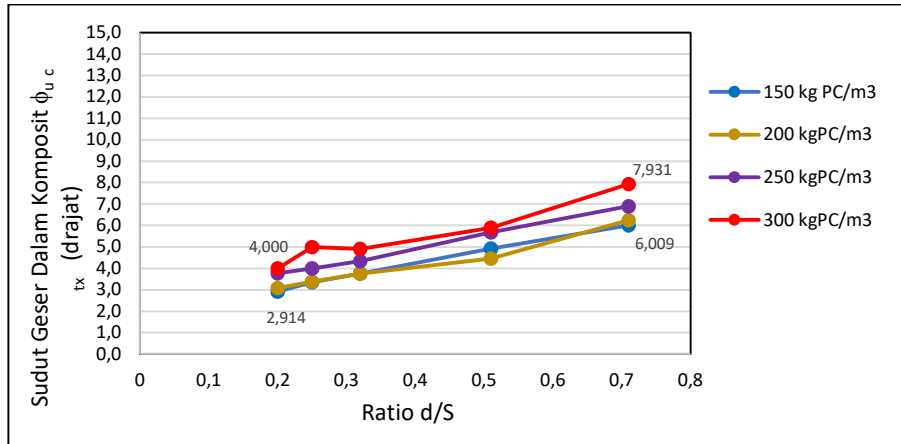
**Tabel 6.5** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 7 hari

No Sampel. & Kod		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-7	2.291	4.517	3.913	5.677	5.847
2		3.330	4.244	3.959	5.097	6.504
3		3.122	3.018	3.377	3.981	5.677
1	T 200-7	3.388	5.109	4.204	4.517	6.164
2		2.851	5.688	3.685	5.075	6.820
3		3.018	5.194	3.377	3.776	5.756
1	T 250-7	4.255	2.805	4.506	5.643	6.164
2		2.805	3.114	4.540	6.255	8.889
3		4.244	3.970	3.959	5.131	5.643
1	T 300-7	3.388	5.109	4.204	4.517	6.164
2		1.947	5.665	5.688	7.046	8.643
3		1.879	3.947	4.517	5.597	8.276

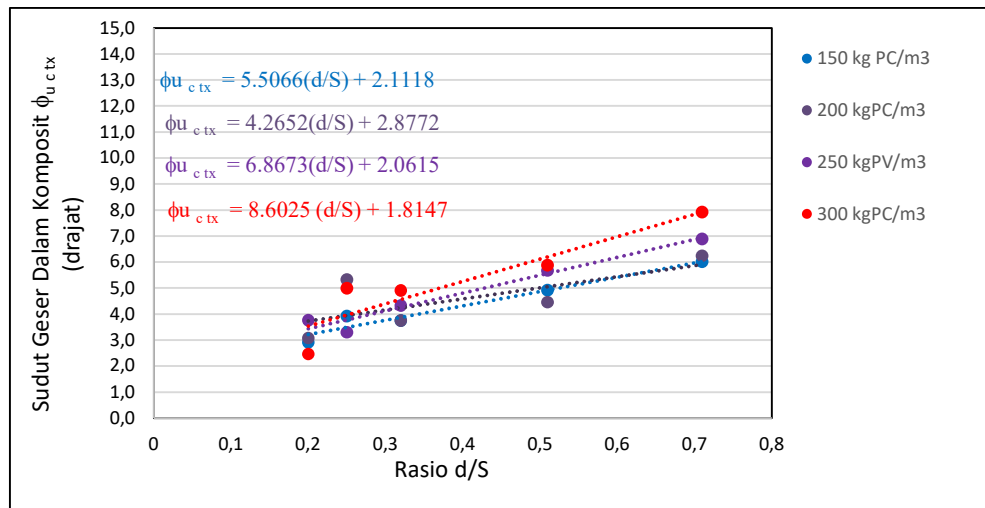




**Gambar 6.14** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari .



**Gambar 6.15** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari



**Gambar 6.16** Persamaan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari.

Pada masa perawatan 28 hari sudut geser dalam komposit ( $\phi_{u \text{ cTx}}$ ) minimum sebesar  $3^\circ$  dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $5.1^\circ$  terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ , atau terjadi penambahan sebesar 70%. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.6.

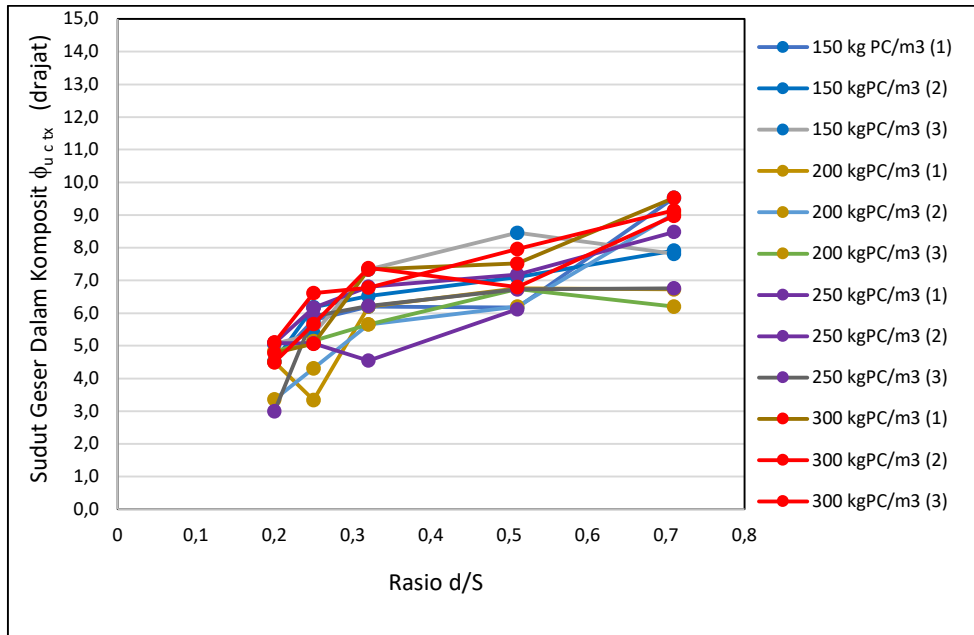
Pada Tabel 6.6 juga diperoleh peningkatan sudut geser dalam komposit maksimum pada masa perawatan 28 hari, yang terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  sebesar  $9.5^\circ$  sedangkan minimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $6.2^\circ$  atau terjadi penambahan 53.2% .

Gambar 6.17 merupakan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 28 hari, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.17 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan dengan pertambahan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum  $4.2^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ . Manakala sudut geser dalam komposit maksimum  $9.2^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , atau terjadi perbezaan sebesar 119%

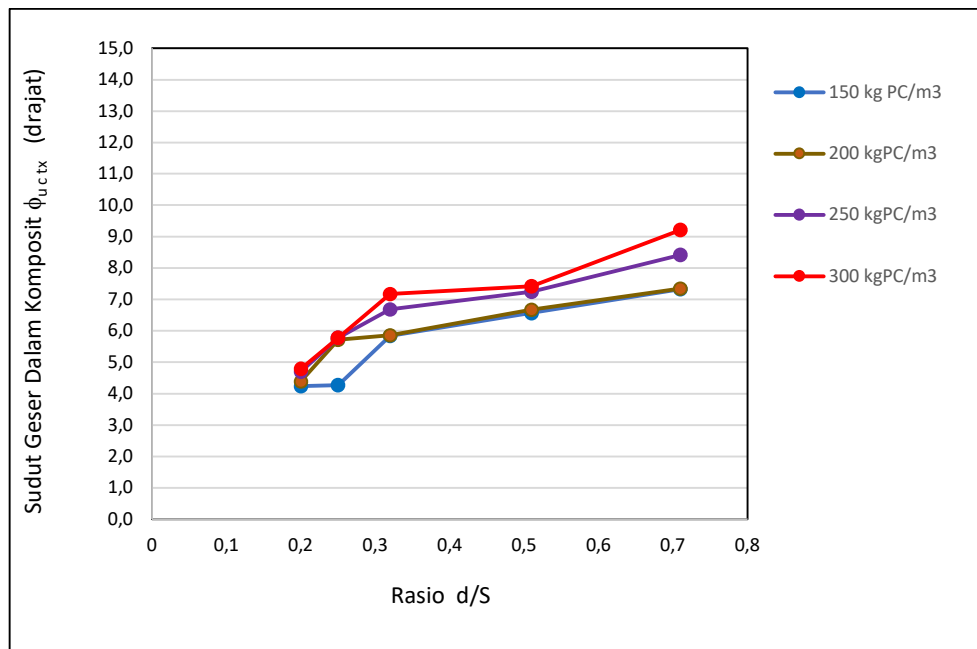
**Tabel 6.6** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 28 hari

Sample No. & Code		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-28	4.506	3.342	6.198	6.758	6.730
2		3.365	4.312	5.654	6.198	9.046
3		4.836	5.154	5.654	6.741	6.198
1	T 200-28	5.086	5.075	4.551	6.119	6.798
2		5.086	6.164	6.809	7.181	8.486
3		3.000	5.903	6.221	6.730	6.764
1	T 250-28	4.517	5.790	6.198	6.175	9.525
2		4.528	6.187	6.526	7.102	7.913
3		5.052	5.370	7.339	8.464	7.812

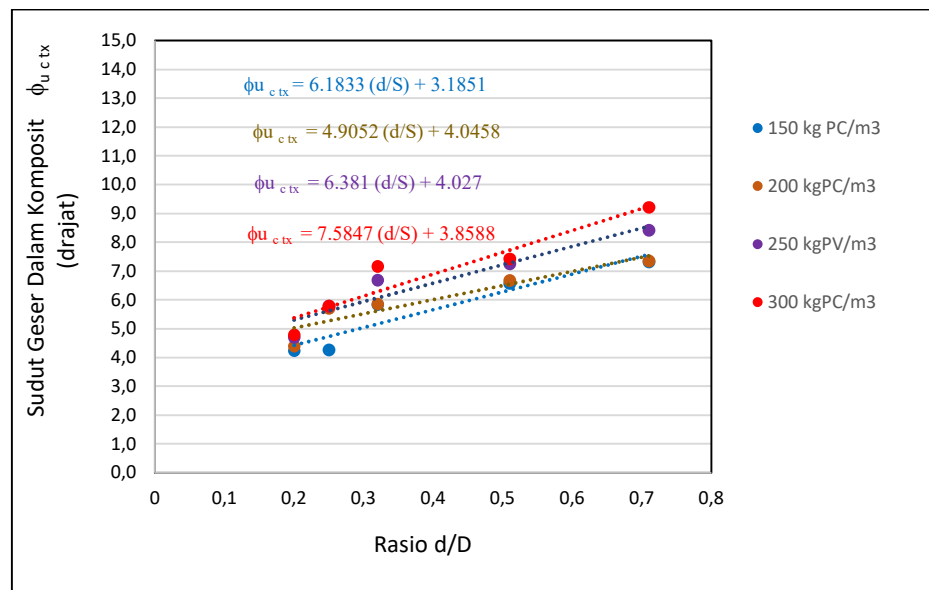
1	T 300-28	4.779	5.063	7.339	7.520	9.525
2		4.494	5.665	7.384	6.798	8.979
3		5.109	6.617	6.786	7.958	9.146



**Gambar 6.17** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio  $d/S$  dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.



**Gambar 6.18** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari



**Gambar 6.19** Persamaan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.

Pada masa perawatan 28 hari sudut geser dalam komposit ( $\phi_u c$ ) minimum sebesar  $3^\circ$  dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $5.1^\circ$  terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ , atau terjadi penambahan sebesar 70%. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 juga diperoleh peningkatan sudut geser dalam komposit maksimuml pada masa perawatan 28 hari, yang terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  sebesar  $9.5^\circ$  sedangkan minimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $6.2^\circ$  atau terjadi penambahan 53.2% .

Gambar 6.17 merupakan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 28 hari, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.17 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan dengan kenaikan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum  $4.2^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ . Manakala sudut geser dalam komposit maksimuml  $9.2^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , atau terjadi perbezaan sebesar 119%

**Tabel 6.7** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 56 hari

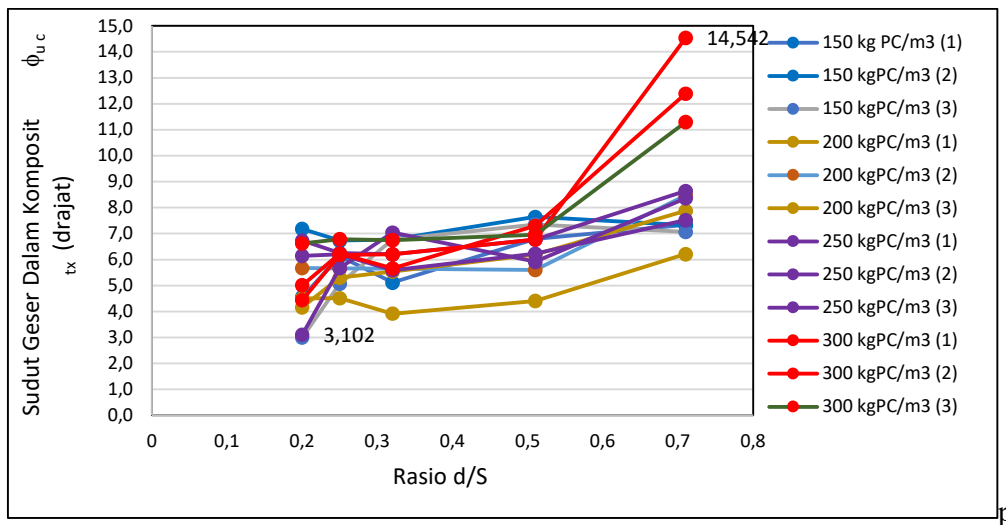
Sample No. & Code		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	T 150-56	4.551	6.130	5.109	6.798	7.339
2		7.181	6.730	6.775	7.643	7.317
3		3.000	5.063	6.775	7.351	7.063
1	T 200-56	4.494	4.506	3.913	4.403	6.209
2		5.665	5.654	5.643	5.597	8.475

3		4.164	5.302	5.540	6.187	7.880
1	T 250-56	6.141	6.209	5.586	6.232	7.520
2		6.730	6.255	6.198	6.775	8.643
3		3.102	5.665	7.035	5.915	8.363
1	T 300-56	4.437	6.175	6.209	6.775	14.542
2		5.006	6.232	5.654	7.294	12.396
3		6.617	6.786	6.752	6.956	11.299

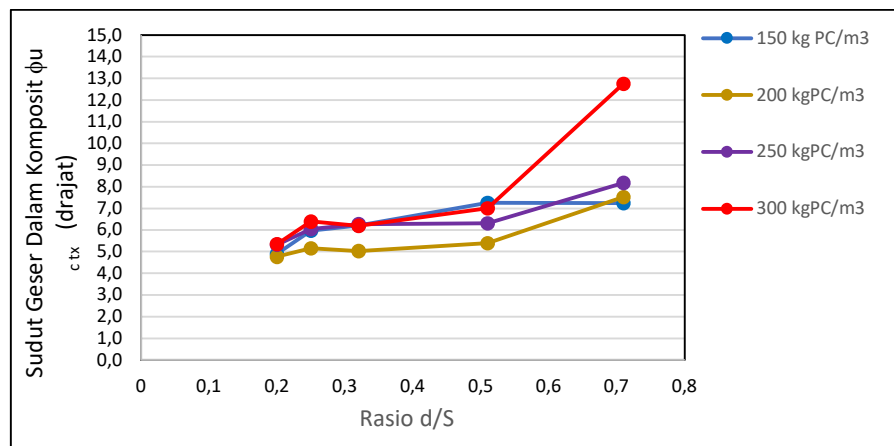
Pada masa perawatan 56 hari sudut geser dalam komposit ( $\phi_c$ ) minimum sebesar  $3^\circ$  dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $7.2^\circ$  terjadi pada kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$ , atau terjadi penambahan sebesar 140%. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.7.

Tabel 6.7 juga diperoleh peningkatan sudut geser dalam komposit maksimum pada masa perawatan 56 hari, yang terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  sebesar  $14.5^\circ$  sedangkan minimumnya pada rasio d/S yang sama sebesar  $6.2^\circ$  atau terjadi penambahan 134%.

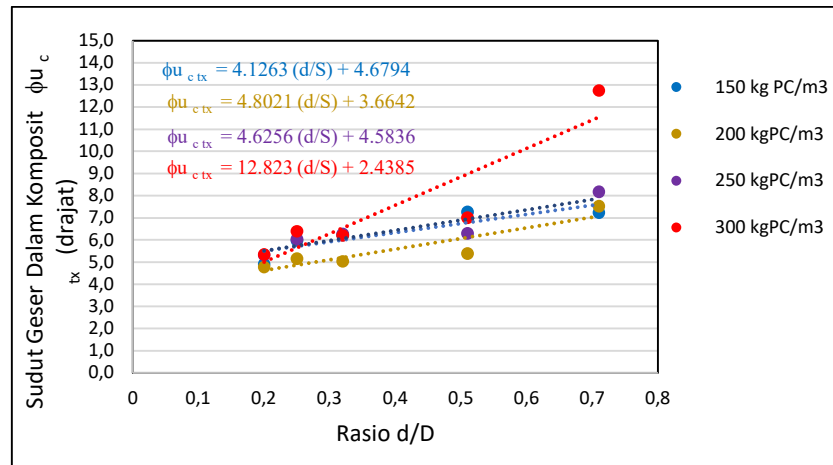
Pada Gambar 6.19 merupakan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 56 hari, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.20 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan dengan pertambahan rasio d/S maupun kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum  $3.1^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$ . Manakala sudut geser dalam komposit maksimum  $14.5^\circ$  terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , atau terjadi perbezaan sebesar 367.7%.



**Gambar 6.20** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.



**Gambar 6.21** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari

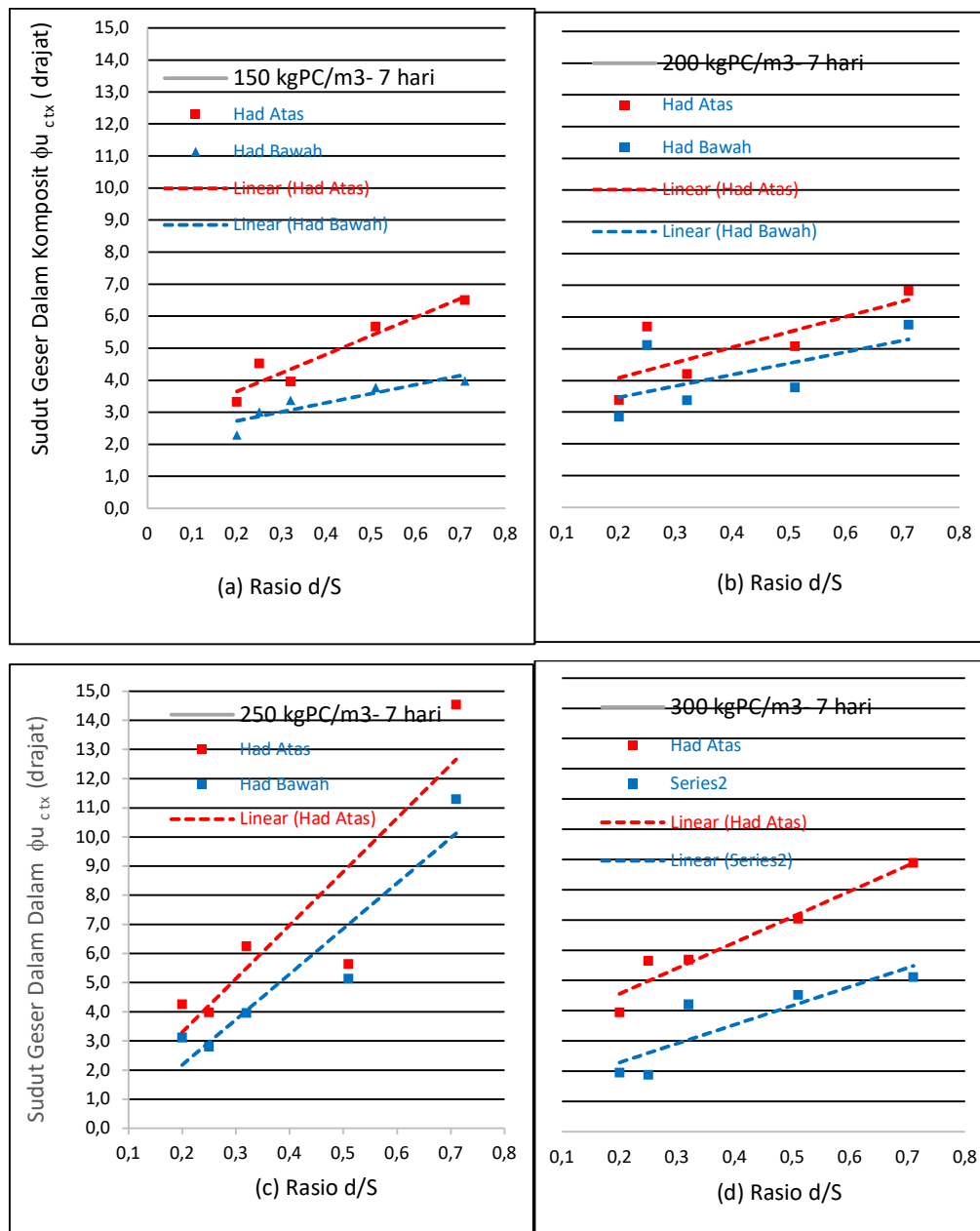


**Gambar 6.22** Persamaan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.

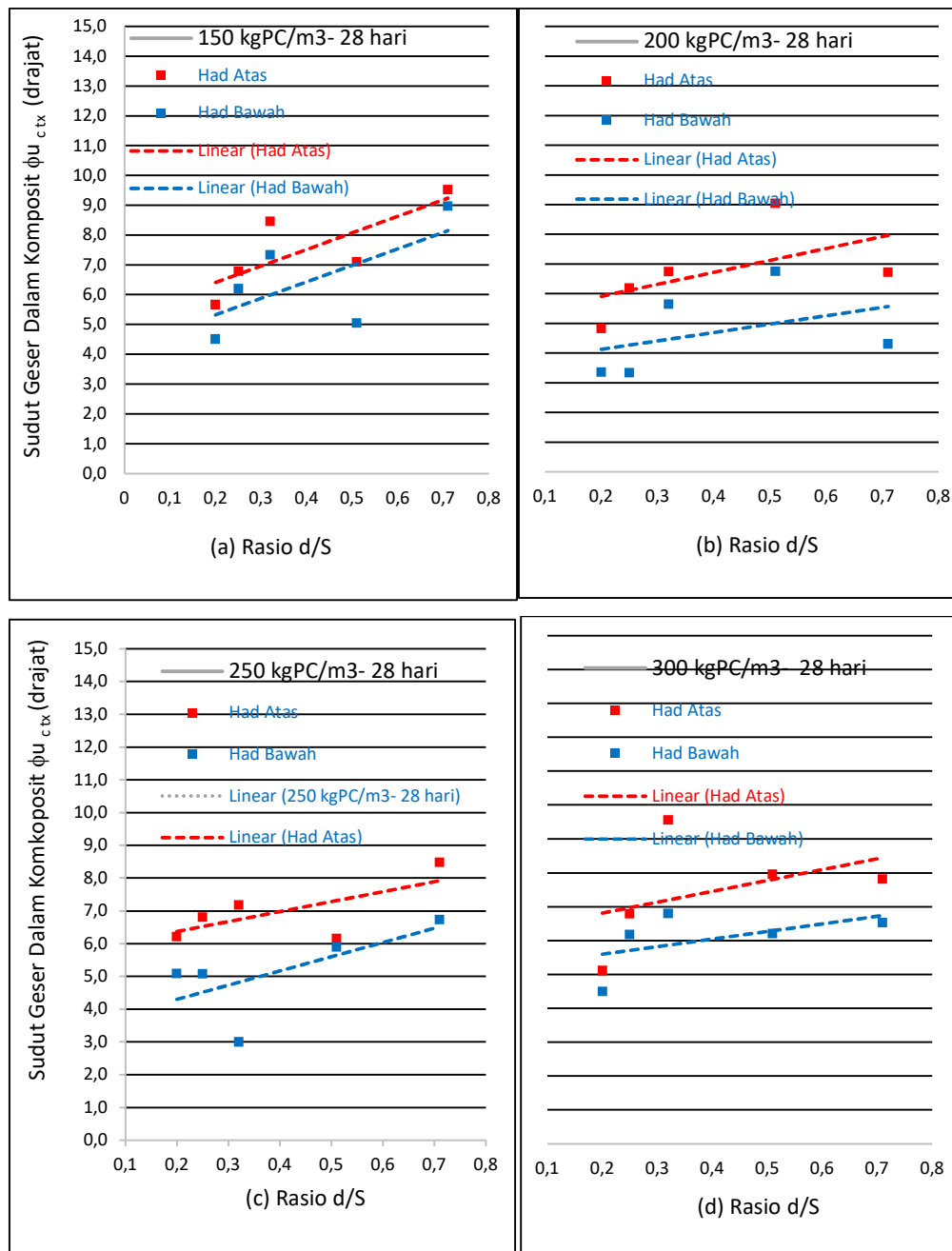
Had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum dari hasil triaxial test pada masa uji 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.23, dimana pada Gambar 6.23 (a) had maksimum dan had minimum sudut geser dalam komposit pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Berurutan pada Gambar 6.23 (b) untuk kandungan semen 200 kg/m<sup>3</sup>, Gambar 6.23 (c) untuk kandungan semen 250 kg/m<sup>3</sup> dan pada Gambar 6.23(d) untuk kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup>. Pada Gambar 6.23 tersebut tampak terjadinya peningkatan had sudut geser dalam komposit maksimum maupun minimumnya pada masa perawatan 7 hari dengan bertambah kandungan semen dan meningkatnya rasio d/S.

Rentang had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum tampak konsisten kelakukannya akibat peningkatan masa perawatan 28 hari, namun terdapat perbezaan dari skala besarnya seperti pada Gambar 6.24. Secara signifikan pula bahwa terjadinya rentang had sudut geser dalam maksimum dan minimum semakin bertambah dengan semakin besarnya rasio d/S. Hal tersebut juga terjadi pada masa perawatan 56 hari, seperti dapat dilihat pada Gambar 6.25.

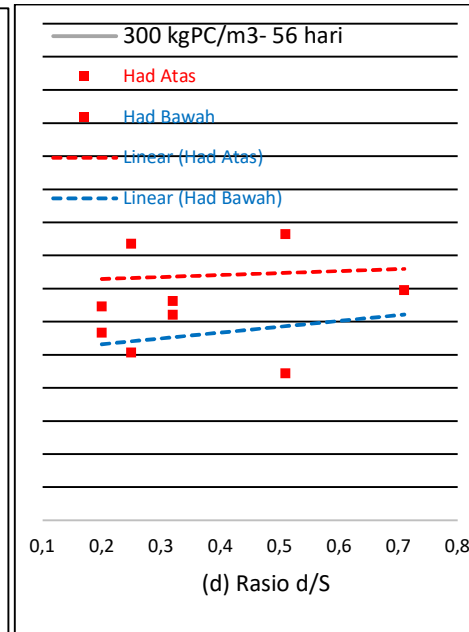
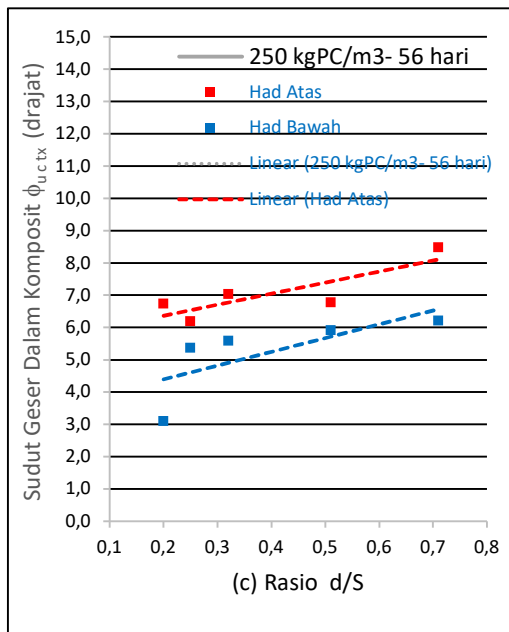
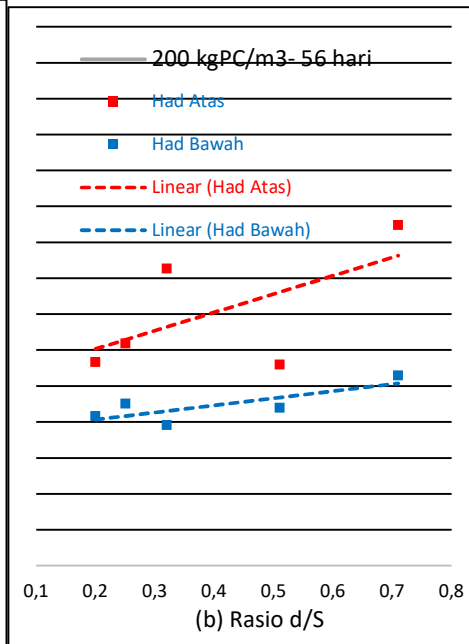
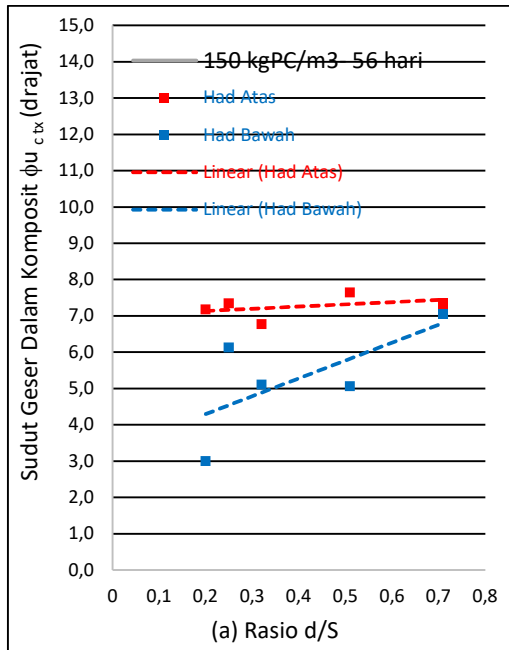




**Gambar 6.23** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 7 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>



**Gambar 6.24** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 28 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>



**Gambar 6.25** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 56 hari triaxial test, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>

Persamaan penambahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan triaxial test akibat variasi kandungan semen, rasio d/S dan masa perawatan dapat dilihat pada Tabel 6.8. Hasil persamaan tersebut diperoleh dari Gambar 6.16 untuk masa perawatan 7 hari, Gambar 6.19 untuk masa perawatan 28 hari serta Gambar 6.22 untuk masa perawatan 56 hari. Persamaan tersebut hanya terjadi pada lempung semula jadi dengan kontistensi sangat lembut dengan penambahkuatan kolom semen tanah dengan pelbagai rasio d/S.

**Tabel 6.8** Ikhtisar persamaan perubahan sudut geser dalam komposit model sampel kolom semen tanah dari triaxial test

Masa Perawatan (hari)	Kandungan semen (kgPC/m <sup>3</sup> )	Persamaan sudut geser dalam komposit $\phi_{u\ c\ tx}$ (°)
7	150	$\phi_{u\ c\ tx} = 5.5066 (d/S) + 2.1118$
7	200	$\phi_{u\ c\ tx} = 4.2652v(d/S) + 2.8772$
7	250	$\phi_{u\ c\ tx} = 6.8673 (d/S) + 2.0615$

7	300	$\phi_{u \text{ c tx}} = 8.6025 \text{ (d/S)} + 1.8147$
28	150	$\phi_{u \text{ c tx}} = 6.1833 \text{ (d/S)} + 3.1851$
28	200	$\phi_{u \text{ c tx}} = 4.9052 \text{ (d/S)} + 4.0458$
28	250	$\phi_{u \text{ c tx}} = 6.3810 \text{ (d/S)} + 4.0270$
28	300	$\phi_{u \text{ c tx}} = 7.5847 \text{ (d/S)} + 3.8588$
56	150	$\phi_{u \text{ c tx}} = 6.463 \text{ (d/S)} + 4.6794$
56	200	$\phi_{u \text{ c tx}} = 4.8021 \text{ (d/S)} + 3.6642$
56	250	$\phi_{u \text{ c tx}} = 4.6256 \text{ (d/S)} + 4.5836$
56	300	$\phi_{u \text{ c tx}} = 12.823 \text{ (d/S)} + 2.4385$

#### **6.2.4 Prosentase Perubahan Sudut Geser Dalam Komposit Model Kolom Tanah Semen Dengan Triaxial test**

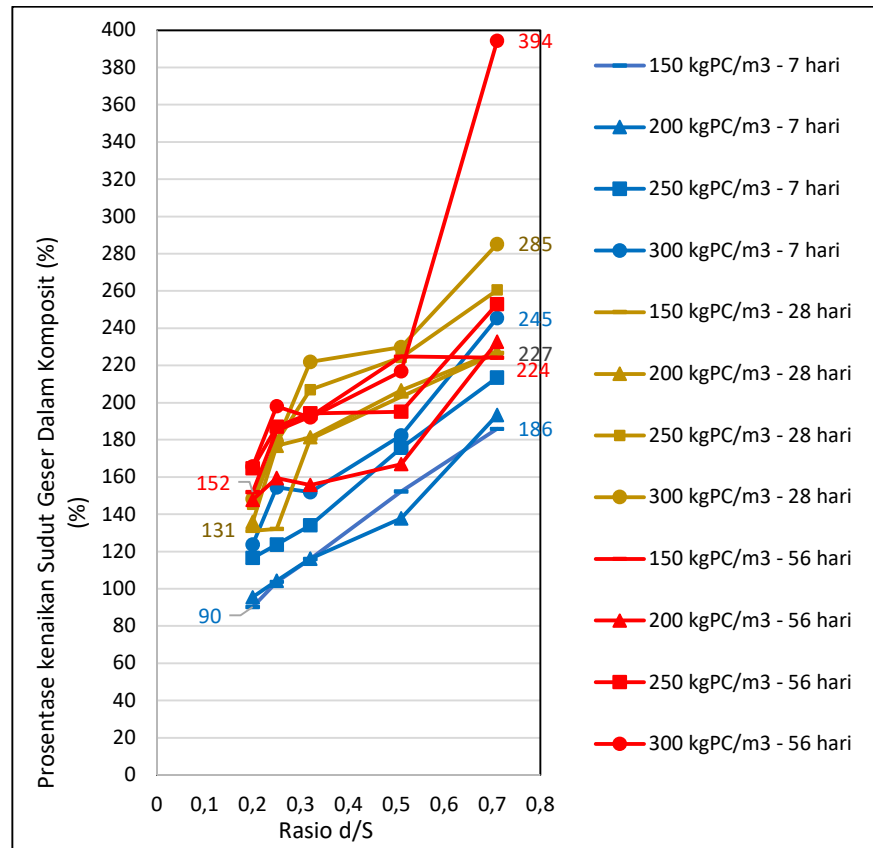
Prosentase perubahan sudut geser dalam komposit dari model kolom semen tanah dari triaxial test menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S, Pertambahan prosentase sudut geser dalam komposit juga terjadi dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>, Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6.26 berikut.

Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit dari triaxial test terjadi dengan merasiokan sudut geser dalam komposit dengan sudut geser dalam semula jadi lempung lembut Kroya. Pada masa perawatan 7 hari, prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 90%, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat dimasa perawatan yang sama dan kandungan semen yang sama hingga 186% bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71. Bila kandungan semennya bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 245 %.

Pada masa perawatan 28 hari, prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 131 %, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat hingga 227 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 285 %.

Pada masa perawatan 56 hari, prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 152 %, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat hingga 224 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 394

%. Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit dapat dilihat pada Gambar 6.26 berikut.



6.26 Prosentase perubahan sudut geser dalam komposit model kolom semen tanah dengan triaxial test

### 6.3 Kekuatan Geser Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Uji Geser Langsung

Kohesi komposit dan sudut geser dalam komposit akan model sampel kolom semen tanah melalui uji geser langsung akan ditentukan perubahan akibat variasi rasio d/S 0.20 hingga d/S 0.71. Variasi lainnya seperti kandungan semen dari 150, 200, 250

dan 300 kgPC/m<sup>3</sup>, serta masa perawatan sampel mulai dari 7 hari, 28 hari hingga 56 hari.

### 6.3.1 Kohesi Komposit Model Kolom Tanah Semen Dari Uji Geser Langsung

Pada sampel model kolom semen tanah melalui uji geser langsung memiliki perilaku yang sama dengan triaxial test, namun dengan skala yang berbeda, Semakin besarnya kandungan semen, semakin lama masa perawatan dan semakin besar rasio d/S terjadi peningkatan kohesi komposit ( $c_{comp}$ ). Pada masa perawatan 7 hari, dengan uji geser langsung terjadi kohesi komposit minimum 9.8 kN/m<sup>2</sup> pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S 0.20. Manakala kohesi komposit maksimum 65.1 kN/m<sup>2</sup> terjadi pada kandungan semen 300 kg/m<sup>2</sup> dengan rasio d/S 0.71. Perubahan kenaikan kohesi komposit dari semua sampel uji geser langsung pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Tabel 6.9 berikut. Manakala pada Gambar 6.27 dapat dilihat perubahan kohesi komposit semua sampel akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Sedangkan pada Gambar 6.28 dapat dilihat perubahan kohesi komposit rata-rata dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Pada Gambar 6.28 dapat dilihat bahwa kenaikan kohesi komposit rata-rata terlihat signifikan mulai dari rasio d/S 0.20 hingga rasio d/S 0.71.

Kohesi komposit rata-rata sangat ketara kenaikannya pada semua rasio d/S dengan masa perawatan 7 hari. Kohesi komposit dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada rasio d/S 0.2 semula 11.9 kN/m<sup>2</sup>, menjadi 33.5 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71 atau terjadi pertambahan 181.5%. Manakala pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S 0.20 sebesar 19.5 kN/m<sup>2</sup> menjadi 59.7 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan 206.2%. Perubahan kohesi komposit rata-rata dapat dilihat pada Gambar 6.28.



**Tabel 6.9** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan uji geser langsung masa perawatan 7 hari

No Sampel & Kod		Kohesi komposit (kN/m <sup>2</sup> ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-7	15.263	17.565	20.484	40.397	56.229
2		10.746	19.864	27.758	33.905	48.272
3		9.771	5.611	14.522	18.654	40.663
1	D 200-7	15.065	21.451	24.352	32.818	46.561
2		13.295	20.270	23.613	39.363	49.003
3		8.130	19.124	13.648	25.596	40.732
1	D 250-7	16.215	23.585	23.174	32.640	58.397
2		18.977	21.174	24.547	33.538	51.060
3		13.553	18.865	19.697	33.630	57.337
1	D 300-7	23.586	22.790	37.681	41.536	65.131
2		21.068	36.512	33.784	33.547	62.301
3		13.933	23.795	35.947	31.379	54.202

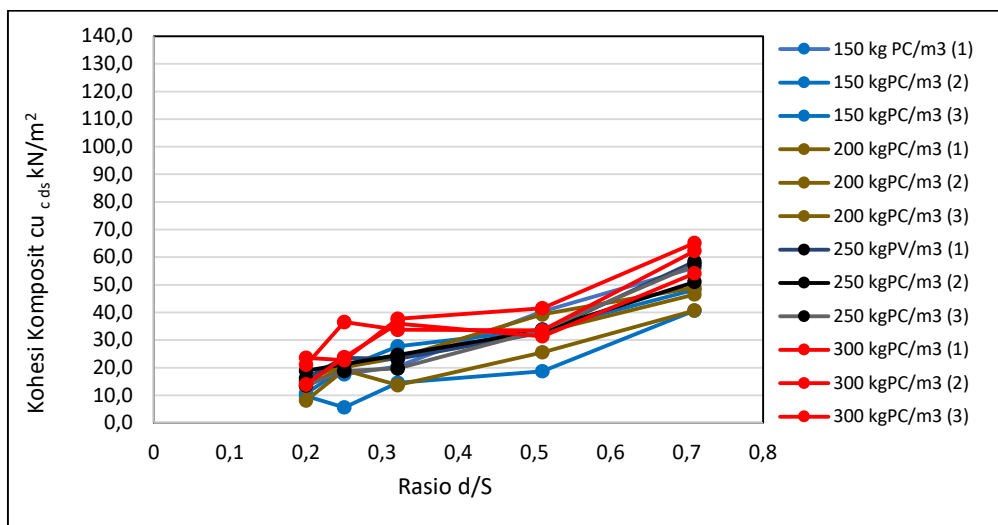
Dari uji geser langsung disetiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.9 pada masa perawatan 7 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan normal yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi komposit darin uji geser langsung terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan normal dari uji geser langsung arah horizontal pada Tabel 6.9 tersebut sama.

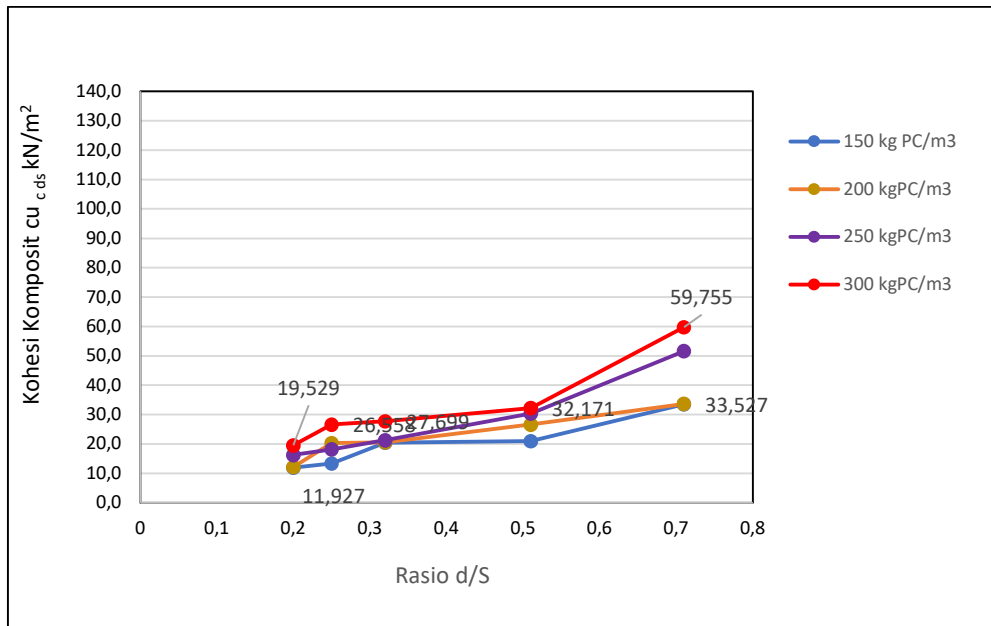
Akan tetapi bila pada Tabel 6.9 yang sama dengan Gambar 6.27, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin

bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.28.

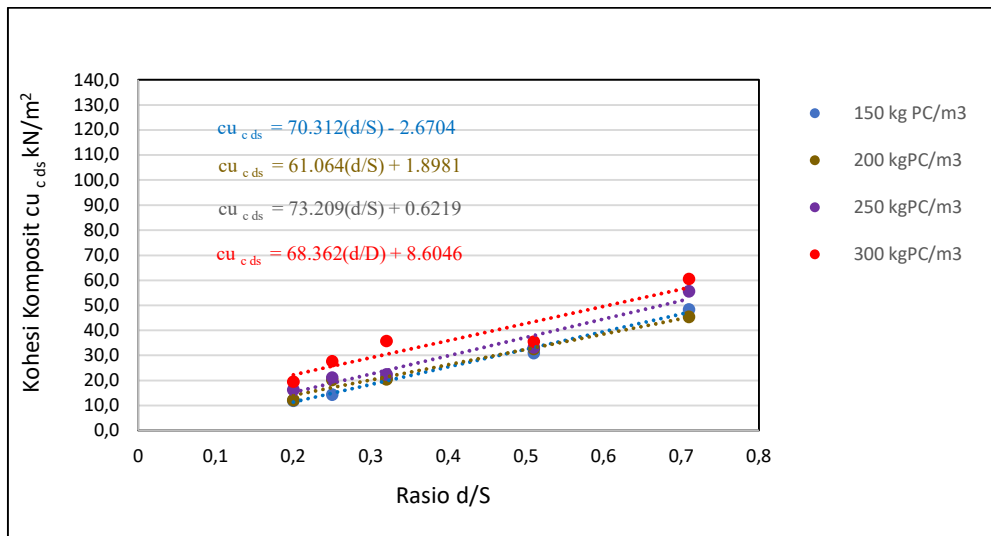
Empat persamaan linear dihasilkan antara kohesi komposit dengan rasio jarak d/S pada empat kandungan semen yang berbeda. Dimulai dari kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaan-persamaan linear tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.29.



**Gambar 6.27** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari.



**Gambar 6.28** Perubahan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari



**Gambar 6.29** Persamaan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari

**Tabel 6.10** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan uji geser langsung masa perawatan 28 hari

No Sampel & Kod		Kohesi komposit (kN/m <sup>2</sup> ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-28	9.696	20.638	32.091	38.530	51.872
2		16.730	11.262	19.267	32.579	26.252
3		-	8.107	9.951	17.678	22.457
1	D200-28	20.638	30.150	30.111	35.071	38.986
2		11.262	23.278	24.024	31.929	36.949
3		8.107	21.378	25.691	22.485	24.960
1	D 250-28	19.185	29.584	46.956	53.322	58.284
2		27.003	18.328	37.161	43.352	49.089
3		9.065	6.682	7.044	21.301	47.407
1	D 300-28	31.075	34.534	36.541	56.835	65.259
2		28.022	30.473	35.322	51.253	66.711
3		13.978	14.666	24.649	25.021	47.296

Dari uji geser langsung disetiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.10 pada masa perawatan 28 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan normal yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi komposit darin uji geser langsung terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan normal dari uji geser langsung arah horizontal pada Tabel 6.10 tersebut sama.

Akan tetapi bila pada Tabel 6.10 yang sama dengan Gambar 6.30, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.31.

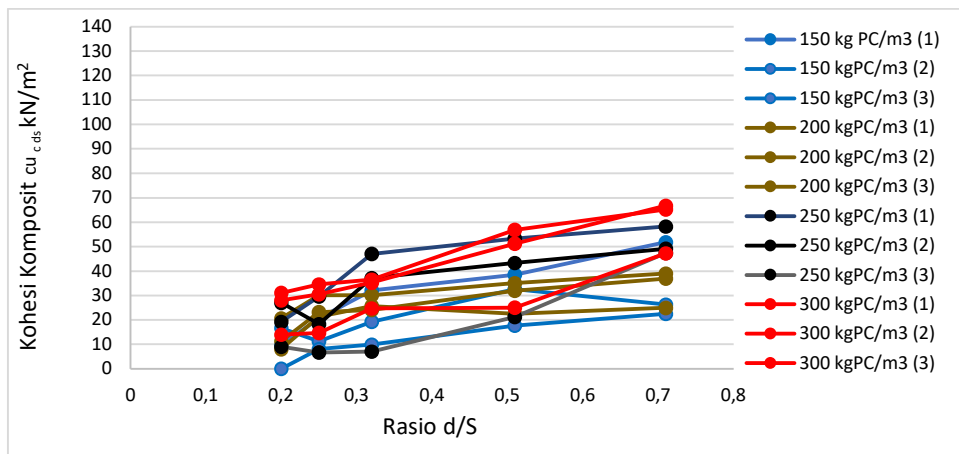
Empat persamaan linear dihasilkan antara kohesi komposit dengan rasio jarak d/S pada empat kandungan semen yang berbeda. Dimulai dari kandungan semen 150

kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaan-persamaan linear tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.32.

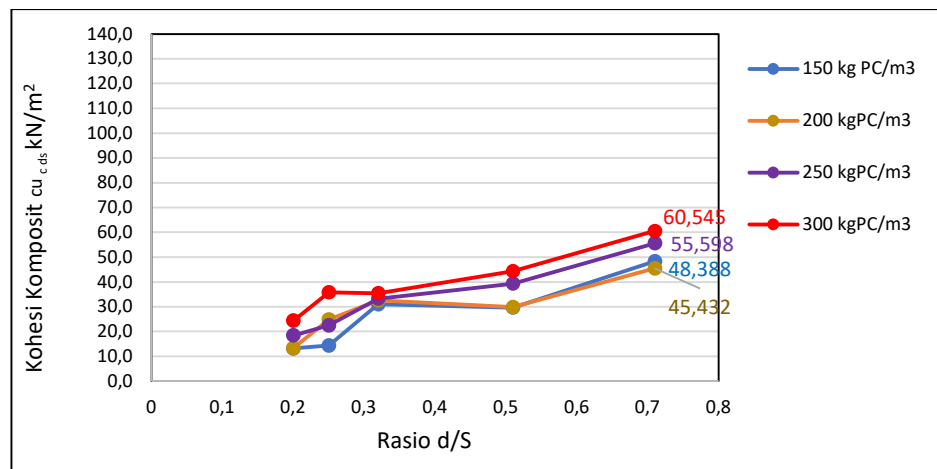
Pada masa perawatan 28 hari dengan uji geser langsung terjadi kohesi komposit minimum 6.9 kN/m<sup>2</sup> pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S 0.32. Manakala kohesi komposit maksimum 66.7 kN/m<sup>2</sup> terjadi pada kandungan semen 300 kg/m<sup>2</sup> dengan rasio d/S 0.71. Perubahan kenaikan kohesi komposit dari uji geser langsung pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6.10. Pada Gambar 6.30 dapat dilihat perubahan kohesi komposit semua sampel akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 28 hari. Sedangkan pada Gambar 6.31 dapat dilihat perubahan kohesi komposit rata-rata dari semua data pada masa perawatan 28 hari dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S.

Empat persamaan linear dihasilkan antara kohesi komposit dengan rasio jarak d/S pada empat kandungan semen yang berbeda. Dimulai dari kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaan-persamaan linear tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.32.

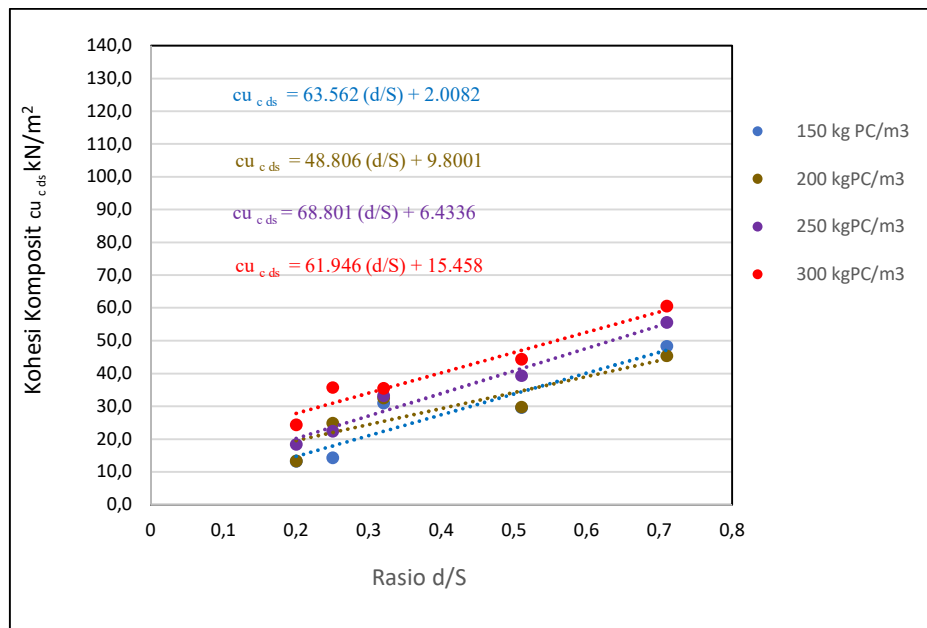
Kohesi komposit rata-rata maksimum pada masa perawatan 28 hari dengan uji riicuh langsung sangat ketara peningkatannya, pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> menjadi 48.39 kN/m<sup>2</sup> atau terjadi pertambahan 151.3 %. Pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, yaitu sebesar 45.54 kN/m<sup>2</sup> atau terjadi pertambahan 141.8 %, dan pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> menjadi 55.6 kN/m<sup>2</sup> atau terjadi pertambahan sebesar 175.3%. Manakala bila kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> menjadi 60.5 kN/m<sup>2</sup> atau terjadi penambahan 191.7 % dari kohesi semula jadi.



**Gambar 6.30** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.



**Gambar 6.31** Perubahan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari



**Gambar 6.32** Persamaan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari

**Tabel 6.11** Perubahan kohesi komposit kolom tanah semen dengan triaxial test masa perawatan 56 hari

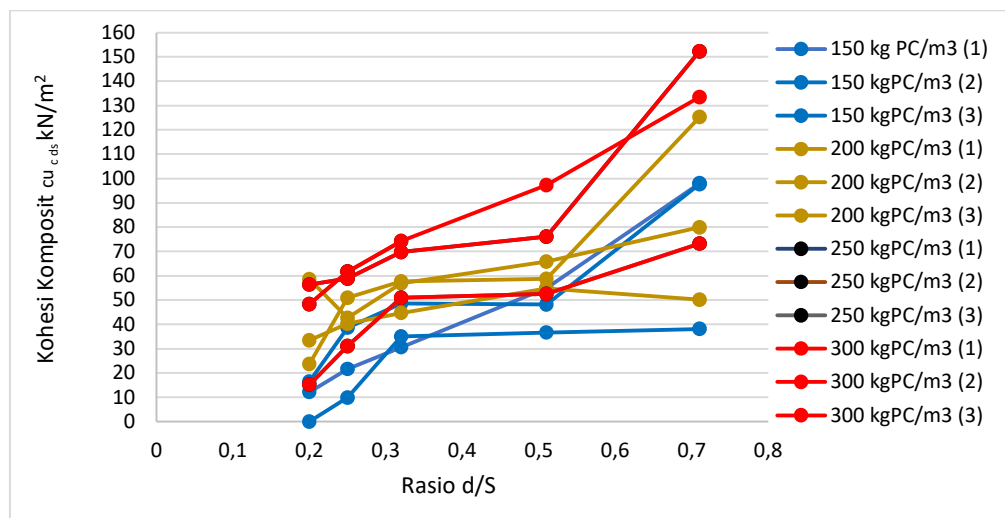
No Sampel & Kod		Kohesi komposit (kN/m <sup>2</sup> ) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-56	12.180	21.693	30.593	54.861	98.015
2		16.426	38.588	48.510	48.224	97.688
3		-	9.873	35.014	36.588	38.090
1	D 200-56	23.671	50.904	57.773	58.709	125.230
2		58.555	42.619	56.808	65.723	79.937
3		33.442	40.226	44.743	54.798	50.125
1	D 250-56	54.861	58.081	58.817	62.281	65.108
2		48.224	48.306	54.176	69.202	138.170
3		36.588	50.952	55.193	62.566	61.993
1	D 300-56	56.297	58.817	69.689	76.105	152.290
2		48.306	61.650	74.174	97.233	133.490
3		15.165	31.032	50.952	52.468	73.156

Dari uji geser langsung disetiap kandungan semen terdapat 3 data penelitian seperti terlihat pada Tabel 6.11 pada masa perawatan 56 hari. Dari pada 3 data hasil tersebut terlihat hasilnya terjadi perbezaan. Terdapat data kohesi komposit yang semakin kecil dari atas kebawah pada setia rasio d/S yang sama. Ini terjadi karena pemakaian tegangan normal yang berbeda-beza dari ketiga data tersebut, sehingga menghasilkan kohesi komposit yang berbeda.

Akan tetapi bila dilihat hasil di kandungan semen yang sama, maka kohesi komposit darin uji geser langsung terlihat konsisten bertambah dengan bertambahnya rasio jarak d/S. Ini terjadi karena tegangan normal dari uji geser langsung arah horizontal pada Tabel 6.11 tersebut sama.

Akan tetapi bila pada Tabel 6.11 yang sama dengan Gambar 6.33, apabila dilakukan hitungan rata-rata, maka terlihat pertambahan kohesi komposit semakin bertambah dengan pertambahan kandungan semen dan rasio d/S pada masa perawatan 7 hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.34.

Empat persamaan linear dihasilkan antara kohesi komposit dengan rasio jarak d/S pada empat kandungan semen yang berbeda. Dimulai dari kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Persamaan-persamaan linear tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.35.

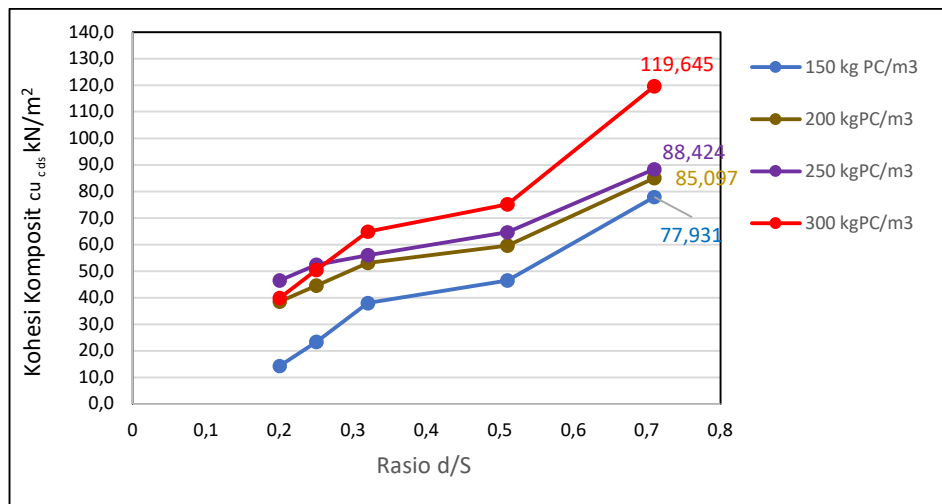




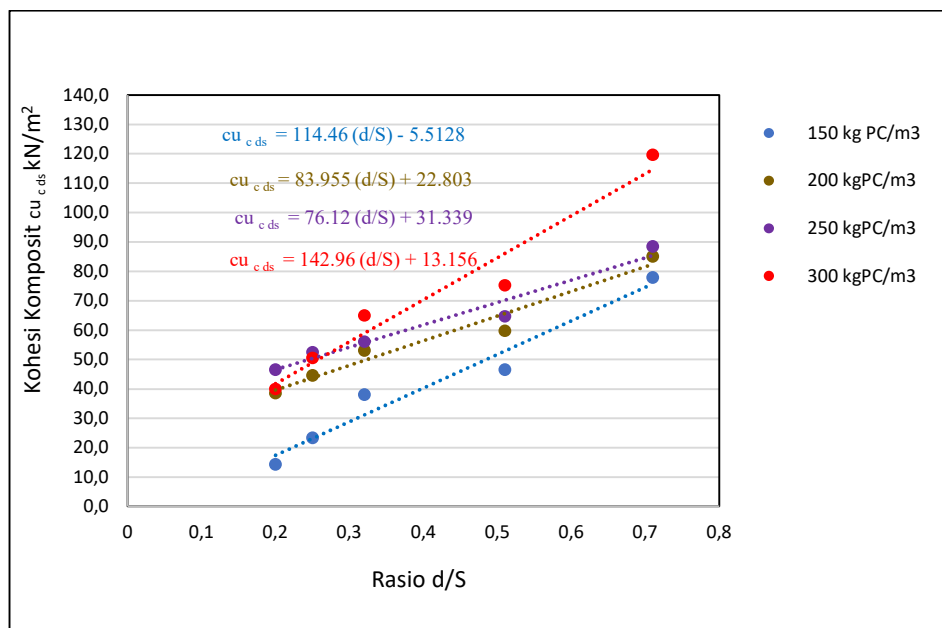
**Gambar 6.33** Perubahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.

Pada masa perawatan 56 hari dengan uji riicuh langsung terjadi kohesi komposit minimum  $9.9 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S 0.25. Manakala kohesi komposit maksimum  $152.3 \text{ kN/m}^2$  terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71. Perubahan kenaikan kohesi komposit dari semua sampel uji geser langsung pada masa perawatan 56 hari dapat dilihat pada Tabel 6.11. Manakala pada Gambar 6.33 dapat dilihat perubahan kohesi komposit semua sampel akibat perubahan rasio d/S pada masa perawatan 56 hari. Sedangkan pada Gambar 6.34 dapat dilihat perubahan kohesi komposit rata-rata dari semua data pada masa perawatan 56 hari dengan variasi kandungan semen serta variasi rasio d/S.

Kohesi komposit rata-rata maksimum pada masa perawatan 56 hari dengan uji geser langsung pada Gambar 6.34 sangat lebih ketara peningkatannya, pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  menjadi  $77.9 \text{ kN/m}^3$  atau terjadi pertambahan 249.7 %. Pada kandungan semen  $200 \text{ kgPC/m}^3$ , yaitu sebesar  $85.1 \text{ kN/m}^2$  atau terjadi pertambahan 273.7 %, dan pada kandungan semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$  menjadi  $88.4 \text{ kN/m}^2$  atau terjadi pertambahan sebesar 284.7%. Manakala bila kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  menjadi  $119.6 \text{ kN/m}^2$  atau terjadi penambahan 388.7 % dari kohesi semula jadi.



**Gambar 6.34** Perubahan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari



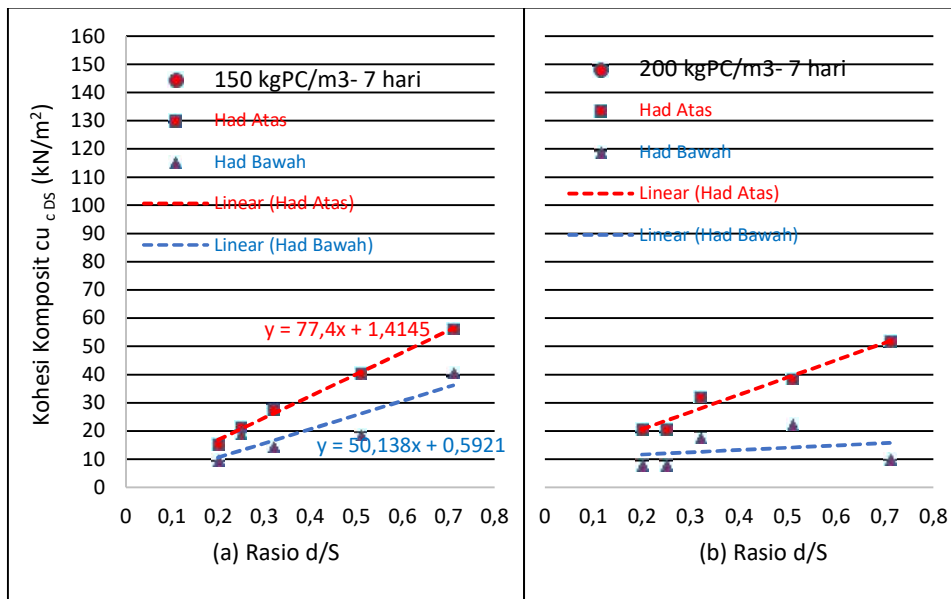
**Gambar 6.35** Persamaan kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari

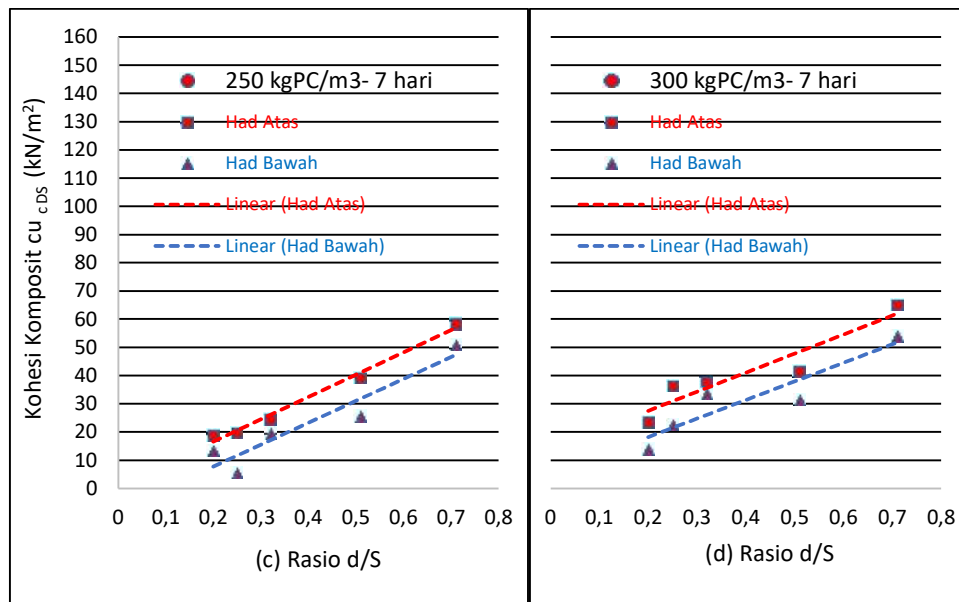
Persamaan penambahan kohesi komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi kandungan semen, variasi rasio d/S dan variasi masa perawatan dapat dilihat pada Tabel 6.12 berikut. Hasil persamaan tersebut diperoleh dari Gambar. 6.29 untuk masa perawatan 7 hari, Gambar 6.32 untuk masa perawatan 28 hari serta Gambar 6.35 untuk masa perawatan 56 hari. Persamaan tersebut hanya terjadi pada lempung semula jadi dengan kontistensi sangat lembut dengan penambahkuatan kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S.

**Tabel 6.12** Ikhtisar persamaan perubahan kejelekikan komposit model sampel kolom semen tanah dari uji geser langsung

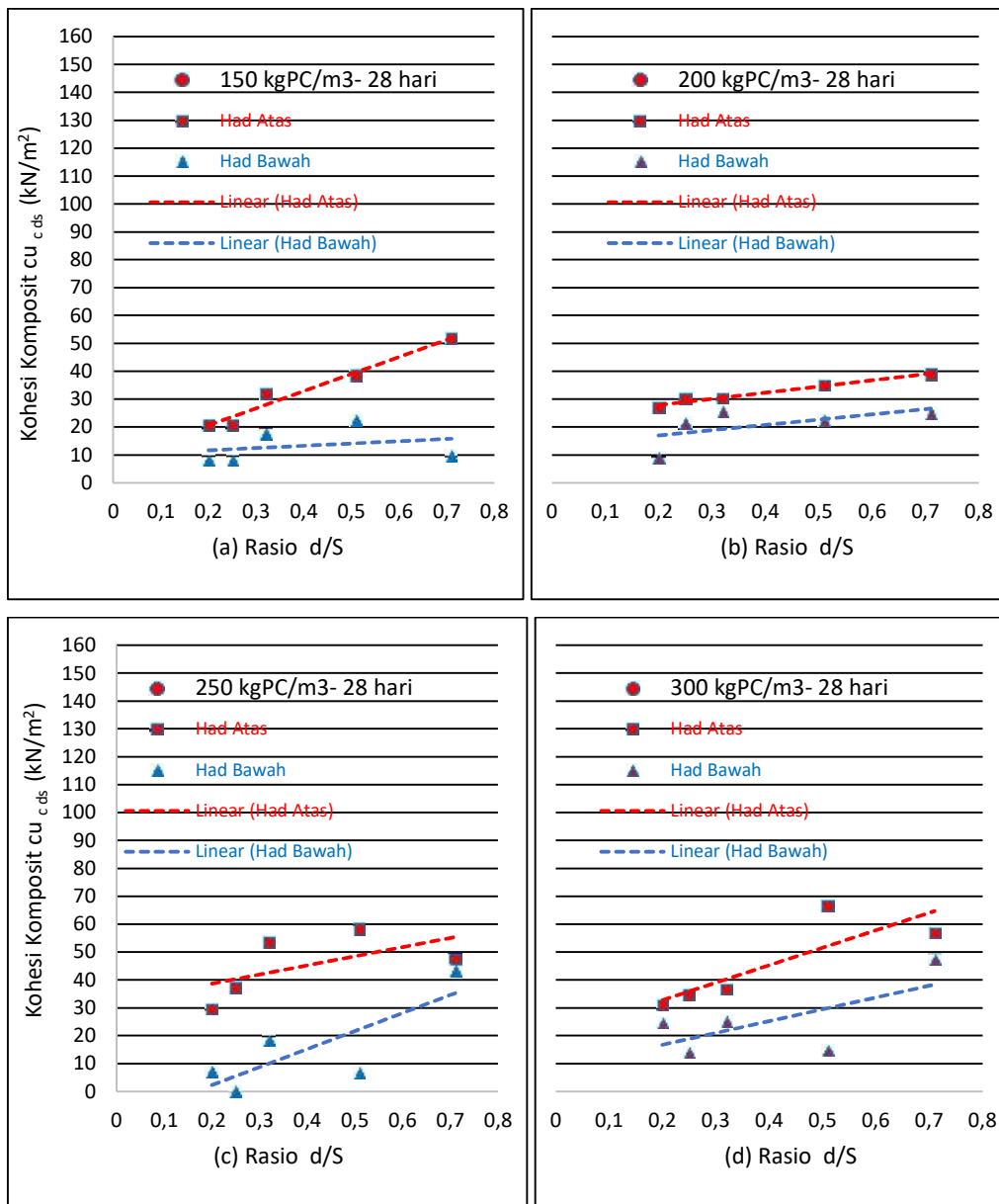
Masa Perawatan (hari)	Kandungan semen (kgPC/m <sup>3</sup> )	Persamaan kohesi komposit  $c_{u\ c\ ds}$ (kN/m <sup>2</sup> )
7	150	$c_{u\ c\ ds} = 70.312(d/S) - 2.6704$
7	200	$c_{u\ c\ ds} = 61.064(d/S) + 1.8981$

7	250	$c_{u_{c ds}} = 73.209(d/S) + 0.6219$
7	300	$c_{u_{c ds}} = 68.362(d/D) + 8.6046$
28	150	$c_{u_{c ds}} = 63.562 (d/S) + 2.0082$
28	200	$c_{u_{c ds}} = 48.806 (d/S) + 9.8001$
28	250	$c_{u_{c ds}} = 68.801 (d/S) + 6.4336$
28	300	$c_{u_{c ds}} = 61.946 (d/S) + 15.458$
56	150	$c_{u_{c ds}} = 114.46 (d/S) - 5.5128$
56	200	$c_{u_{c ds}} = 83.955 (d/S) + 22.803$
56	250	$c_{u_{c ds}} = 76.12 (d/S) + 31.339$
56	300	$c_{u_{c ds}} = 142.96 (d/S) + 13.156$

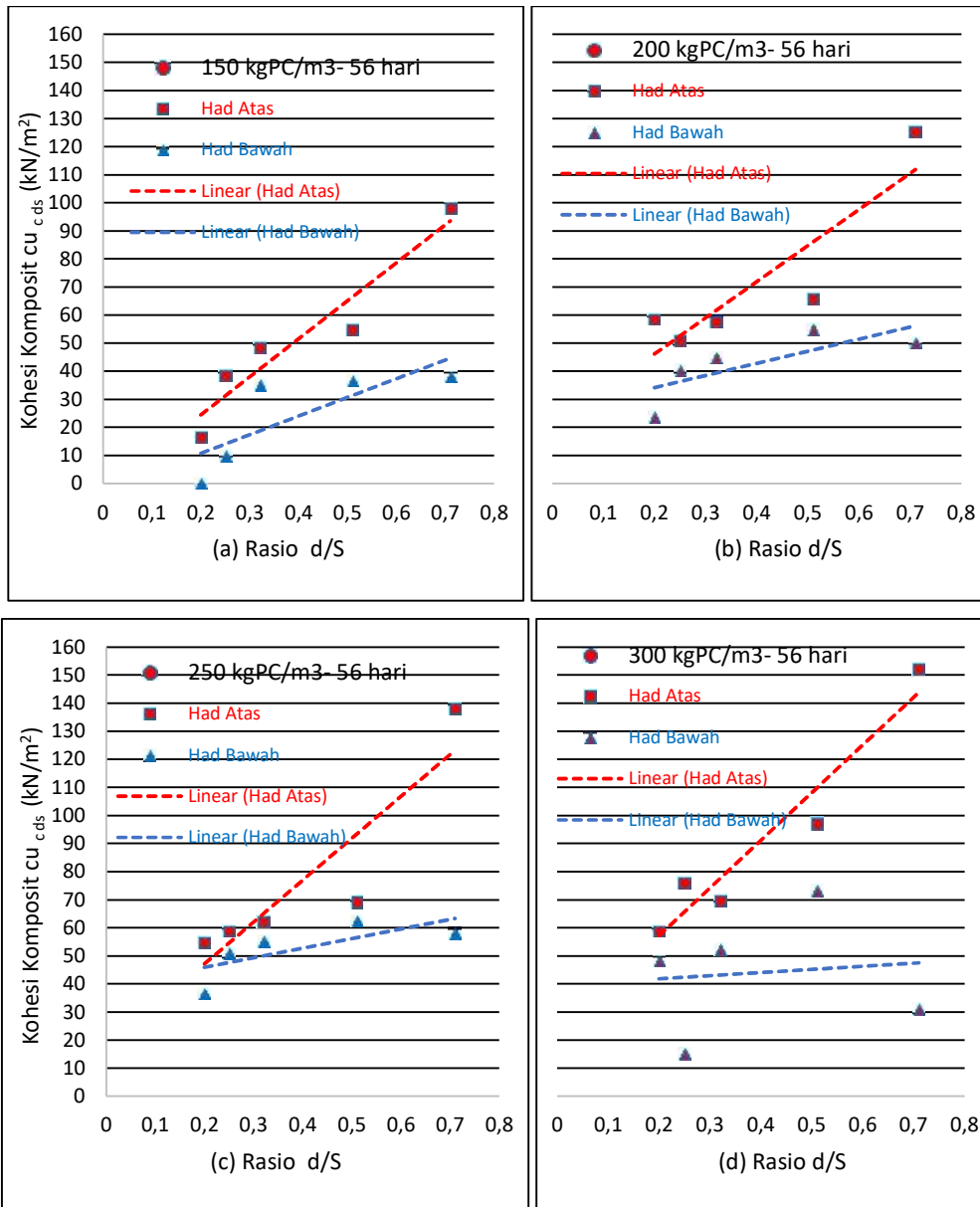




**Gambar 6.36** Had atas dan had bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 7 hari dengan uji geser langsung, (a)  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , (b)  $200 \text{ kgPC/m}^3$ , (c)  $250 \text{ kgPC/m}^3$  dan (d)  $300 \text{ kgPC/m}^3$



**Gambar 6.37** Had atas dan had bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 28 hari dengan uji geser langsung, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>





**Gambar 6.38** Had atas dan had bawah kohesi komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 56 hari dengan uji geser langsung, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>

Had kohesi komposit maksimum dan minimum dari hasil uji geser langsung pada masa uji 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.36, dimana pada Gambar 6.36 (a) had maksimum dan had minimum kohesi komposit pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Berurutan pada Gambar 6.36 (b) untuk kandungan semen 200 kg/m<sup>3</sup>, Gambar 6.36 (c) untuk kandungan semen 250 kg/m<sup>3</sup> dan pada Gambar 6.36 (d) untuk kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup>. Dari ke empat Gambar 6.36 tersebut tampak terjadinya peningkatan had kohesi komposit maksimum maupun minimumnya pada masa perawatan 7 hari dengan bertambah kandungan semen dan meningkatnya rasio d/S.

Rentang had kohesi komposit maksimum dan minimum dari uji geser langsung tampak konsisten kelakukannya akibat peningkatan masa perawatan 28 hari, namun terdapat perbedaan skala besarnya seperti pada Gambar 6.37. Seperti pada triaxial test, dari uji geser langsung secara ketara pula bahwa terjadinya rentang had kohesi maksimum dan minimum semakin bertambah dengan semakin besarnya rasio d/S. Hal tersebut juga terjadi pada masa perawatan 56 hari, seperti dapat dilihat pada Gambar 6.38. Terjadi sedikit perbedaan antara had kohesi komposit maksimum dan minimum akibat uji geser langsung pada kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> dengan masa perawatan 56 hari, dimana rentang had maksimum dan minimumnya tampak konsisten dengan bertambahnya rasio d/S, Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.38.

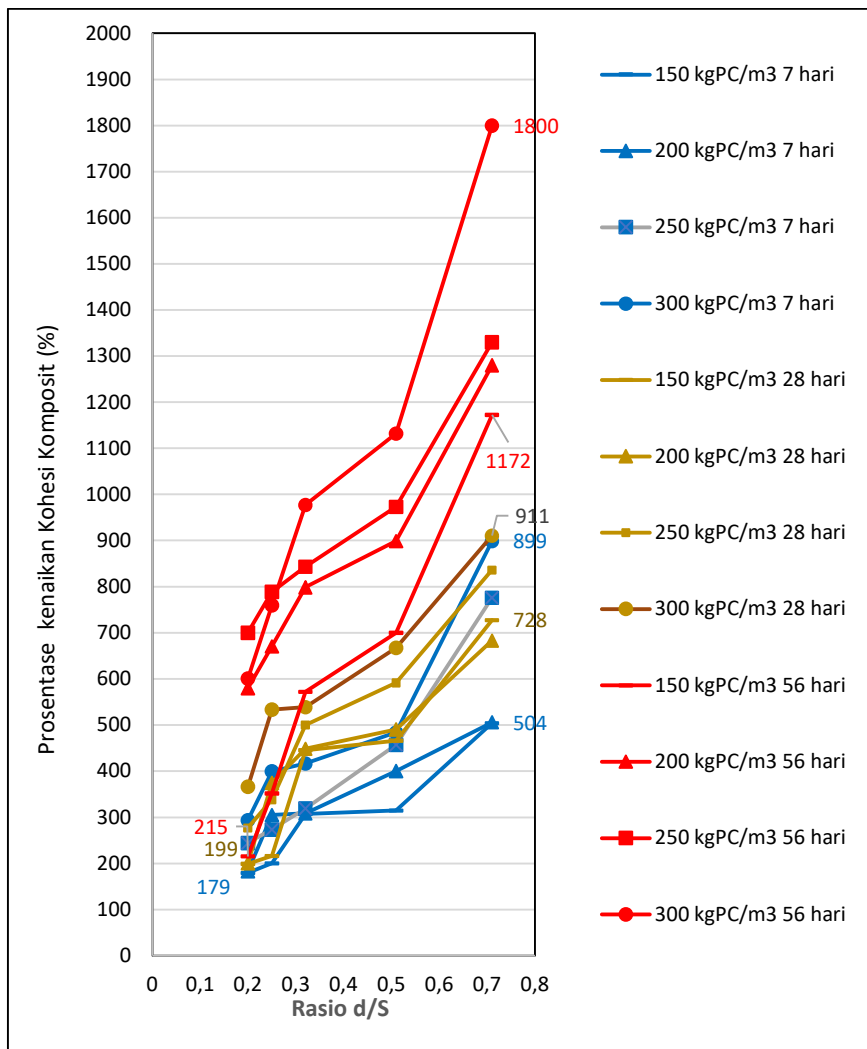
### **6.3.2 Prosentase Perubahan Kohesi Komposit Model Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung**

Prosentase perubahan kohesi komposit dari model kolom semen tanah dari uji geser langsung menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S, Pertambahan prosentase kohesi komposit juga terjadi dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>, Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6.39 berikut.

Prosentase pertambahan kohesi komposit dari geser langsung terjadi dengan merasiokan kohesi komposit dengan kohesi semula jadi lempung lembut Kroya. Prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari, yaitu sebesar 179 %, Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat dimasa perawatan yang sama dan kandungan semen yang sama hingga 504 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71. Bila kandungan semennya bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimum dan bertambah hingga 899 %.

Pada masa perawatan 28 hari, prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 199 %, Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat hingga 728 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimum dan bertambah hingga 911 %.

Pada masa perawatan 56 hari, prosentase kenaikan kohesi komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 215 %, Prosentase pertambahan kohesi komposit akan meningkat hingga 1172 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka prosentase pertambahan kohesi komposit akan maksimum dan bertambah hingga 1800 %. Prosentase pertambahan kohesi komposit dari uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 6.39 berikut.



**Gambar 6.39** Prosentase perubahan kohesi komposit model kolom semen tanah dengan uji geser langsung

### 6.3.3 Sudut Geser Dalam Komposit Kolom Semen Tanah Dari Uji Geser Langsung Model Kolom Semen Tanah

Kekuatan geser yang terjadi dari triaxial test dan uji geser langsung hasilnya tidaklah sama, karena perbezaan bidang satah kegagalan yang terjadi berbeda pada kedua uji tersebut. Pada umumnya kekuatan geser dari uji geser langsung akan terjadi lebih besar daripada kekuatan geser dengan triaxial test.

Rasio kekuatan geser rata-rata semula jadi lempung lembut Kroya yang terjadi dari triaxial test 0.132, sedangkan dari uji geser langsung sebesar 0.144. Sehingga prosentase perbezaan antara kekuatan geser uji geser langsung dengan uji tiga pasi pada lempung lembut semula jadi sebesar 9.1 %.

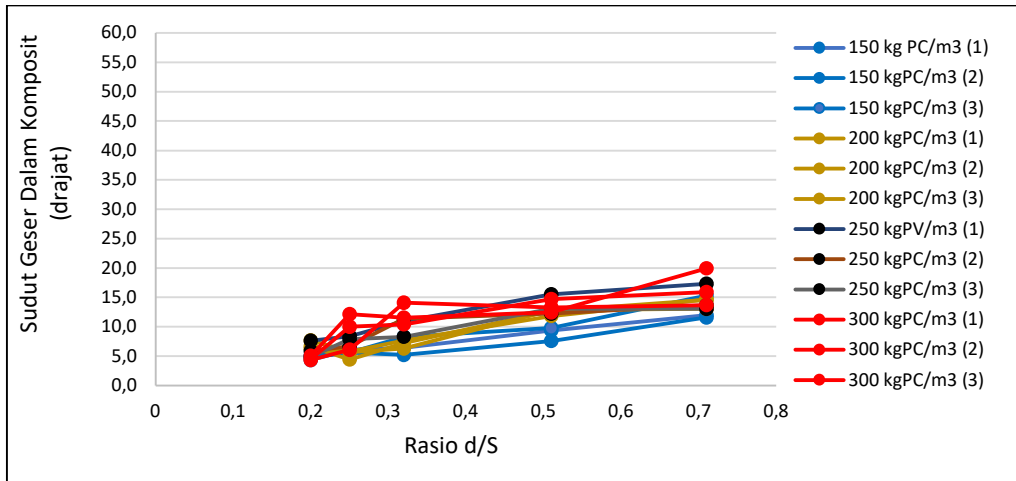
Sudut geser dalam komposit akan bertambah secara signifikan melalui penambahbaikan berupa kolom semen tanah melalui uji geser langsung dengan sampel model kolom semen tanah. Hingga pada masa perawatan 7 hari dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> sudut geser dalam komposit ( $\phi_{uds}$ ) minimum sebesar 4.4°. Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio yang sama sebesar 7.7° terjadi pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.13 dan Gambar 6.40 yang merupakan hasil dari semua model sampel kolom semen tanah dengan uji geser langsung pada masa perawatan 7 hari.

Pada Gambar 6.40 menunjukkan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 7 hari dengan uji geser langsung, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.40 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan akibat kenaikan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum 4.4° terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala sudut geser dalam komposit maksimum 19.9° terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, atau terjadi perbezaan sebesar 352%

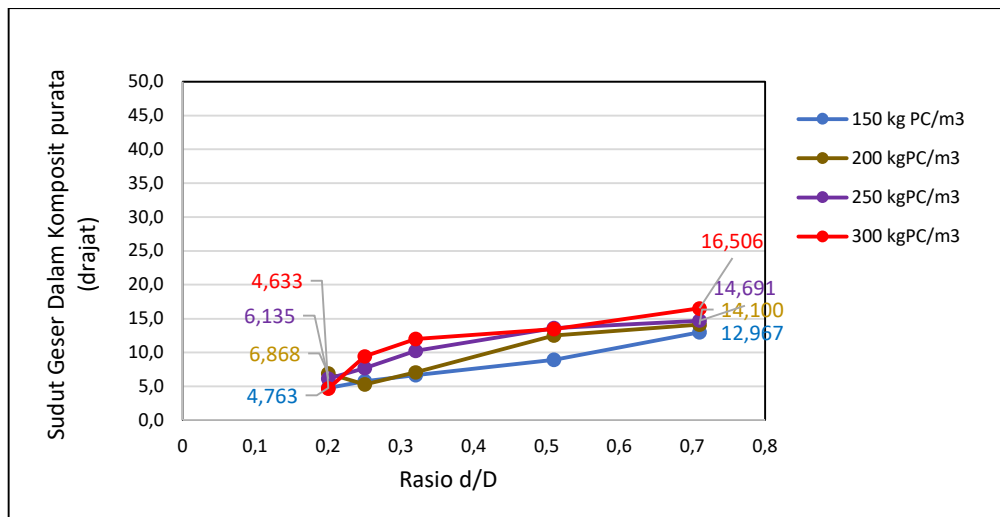
**Tabel 6.13** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan uji geser langsung masa perawatan 7 hari

No Sampel & Kod		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-7	4.379	6.088	6.394	9.366	12.003
2		4.783	5.652	5.220	7.584	11.608
3		5.129	5.561	8.303	9.767	15.290
1	D 200-7	6.637	4.435	7.246	12.703	14.568
2		6.297	5.652	6.297	12.860	13.067
3		7.668	5.771	7.680	11.850	14.665
1	D 250-7	7.618	8.410	10.980	15.551	17.321
2		5.867	6.727	11.399	12.233	13.685
3		4.919	7.882	8.298	13.073	13.067

1	D 300-7	5.050	12.156	11.514	12.463	19.948
2		4.350	6.082	14.095	13.273	13.685
3		4.498	9.989	10.394	14.686	15.885



**Gambar 6.40** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari.



**Gambar 6.41** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari

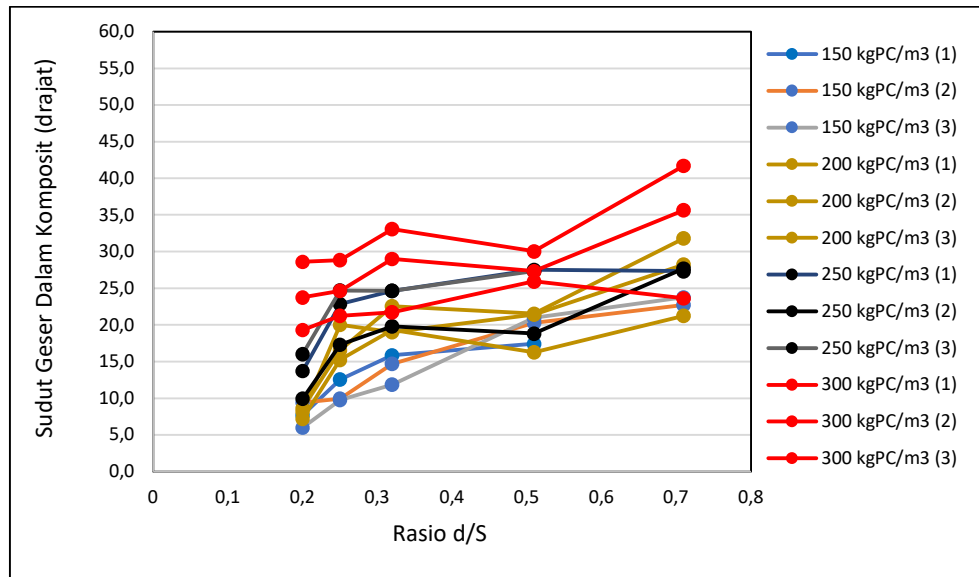
Pada Gambar 6.41 menunjukkan sudut geser dalam komposit rata-rata pada masa perawatan 7 hari dengan uji geser langsung. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $4.7^\circ$  meningkat menjadi  $13^\circ$  pada rasio d/S 0.71 atau terjadi pertambahan 176.6%. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $200 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $6.9^\circ$  meningkat menjadi  $14.1^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 104.3 %. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $250 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $6.1^\circ$  meningkat menjadi  $14.7^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 141 %. Manakala sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $4.6^\circ$  meningkat menjadi  $16.5^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 258.7 %. Dari Gambar 6.3.15, dapat disimpulkan bahwa kenaikan terbesar sudut gesera dalam komposit dengan uji geser langsung pada masa perawatan 7 hari terjadi pada kandungan semen semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , yaitu 258.7 %.

**Tabel 6.14** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan uji geser langsung masa perawatan 28 hari

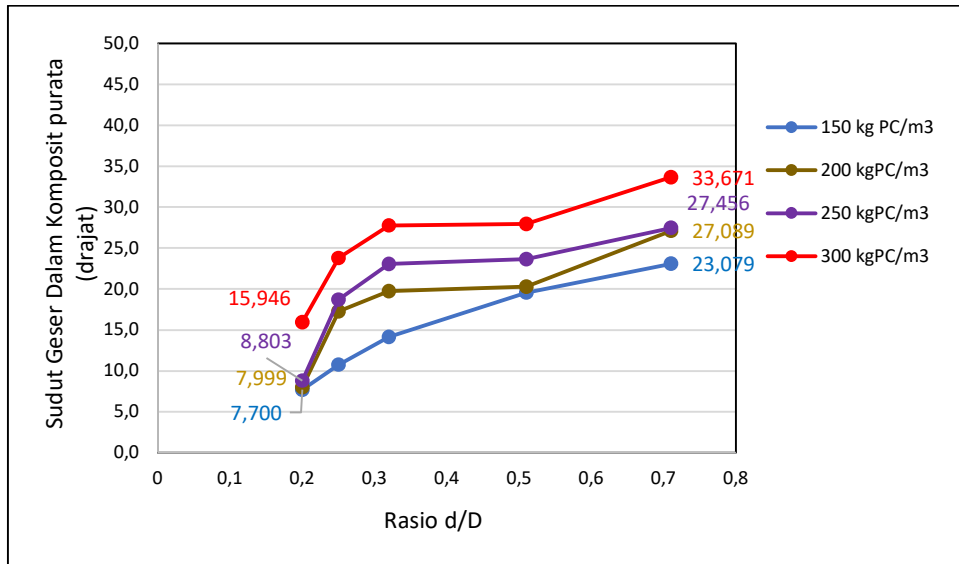
No Sampel & Kod		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-28	7.697	12.583	15.848	17.425	22.768
2		9.388	9.933	14.718	20.286	22.705
3		6.014	9.778	11.888	20.943	23.764
1	D 200-28	8.611	16.572	22.573	21.516	31.799
2		7.207	15.237	19.303	16.271	21.257
3		8.180	19.999	19.017	21.411	28.211
1	D 250-28	13.734	22.861	24.674	27.508	27.328
2		9.933	17.295	19.796	18.806	27.711
3		2.741	16.023	24.683	24.650	27.328
1	D 300-28	28.614	28.843	33.079	30.037	41.710
2		19.303	21.262	21.748	25.942	23.644
3		23.759	24.664	29.019	27.332	35.660

Pada masa perawatan 28 hari dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup> sudut geser dalam komposit ( $\phi_{cds}$ ) minimum sebesar 2.7°. Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio yang sama sebesar 41.7° terjadi pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.14 dan Gambar 6.42 yang merupakan hasil dari semua model sampel kolom semen tanah dengan uji geser langsung pada masa perawatan 28 hari.

Pada Gambar 6.42 menunjukkan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 28 hari dengan uji geser langsung, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.42 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan akibat kenaikan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum 2.7° terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala sudut geser dalam komposit maksimum 41.7° terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, atau terjadi perbezaan sebesar 1444 %



**Gambar 6.42** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari.



**Gambar 6.43** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 28 hari

Pada Gambar 6.43 menunjukkan sudut geser dalam komposit rata-rata pada masa perawatan 28 hari dengan uji geser langsung. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu 7.7° meningkat menjadi 23.1° pada rasio d/S 0.71 atau terjadi pertambahan 200 %. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 200 kg/m<sup>3</sup> yaitu 8° meningkat menjadi 27.1° pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 238.8 %. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 250 kg/m<sup>3</sup> yaitu 8.8° meningkat menjadi 27.5° pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 212.5 %. Manakala sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 300 kg/m<sup>3</sup> yaitu 15.9° meningkat menjadi 33.7° pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 111.9 %. Dari Gambar 6.43, dapat disimpulkan bahwa kenaikan terbesar sudut gesera dalam komposit dengan uji geser langsung pada masa perawatan 28 hari terjadi pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, ialah 238.8 %.

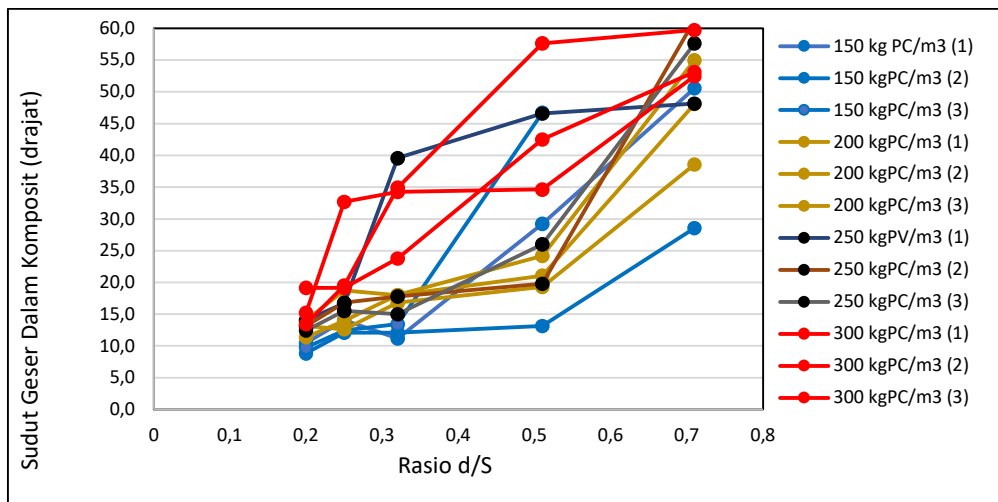


**Tabel 6.15** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom tanah semen dengan uji geser langsung masa perawatan 56 hari

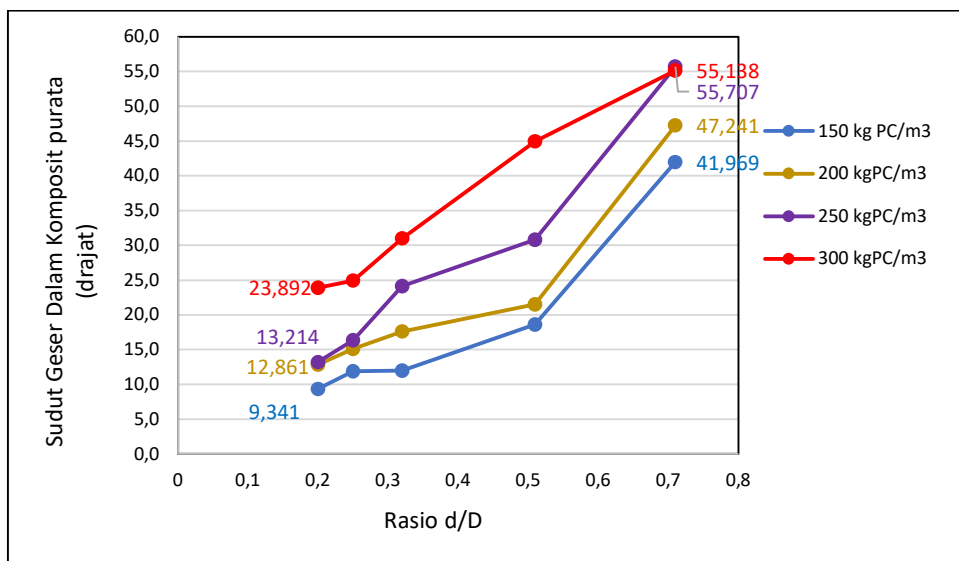
No Sampel & Kod		Sudut Geser Dalam komposit (drajat) Pada Rasio d/S				
		0.2	0.25	0.32	0.51	0.71
1	D 150-56	10.466	14.068	11.223	29.246	50.605
2		8.846	12.080	12.080	13.143	28.579
3		8.712	9.772	12.430	13.452	46.722
1	D 200-56	14.068	18.745	18.002	21.093	48.136
2		13.143	12.610	16.782	19.298	38.578
3		11.371	13.971	18.028	24.199	55.009
1	D 250-56	14.068	16.708	39.585	46.620	48.162
2		13.143	16.782	17.800	19.791	61.318
3		12.430	15.530	15.002	26.002	57.640
1	D 300-56	19.150	19.150	23.774	42.535	53.168
2		15.237	32.699	34.249	34.631	52.495
3		13.452	19.506	34.924	57.640	59.750

Pada masa perawatan 56 hari dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> sudut geser dalam komposit ( $\phi_{cds}$ ) minimum sebesar 8.7°. Sedangkan bilangan maksimumnya pada rasio yang sama sebesar 61.4° terjadi pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.15 dan Gambar 6.44 yang merupakan hasil dari semua model sampel kolom semen tanah dengan uji geser langsung pada masa perawatan 56 hari.

Pada Gambar 6.44 menunjukkan perubahan sudut geser dalam komposit dari semua sampel model kolom semen tanah pada masa perawatan 56 hari dengan uji geser langsung, dimana pada setiap variasi rasio d/S dan kandungan semen terjadi 3 sampel model kolom semen tanah. Dari Gambar 6.14 tersebut dapat dilihat bahwa sudut geser dalam komposit terjadi peningkatan akibat kenaikan rasio d/S maupun peningkatan kandungan semen. Sudut geser dalam komposit minimum 8.7° terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>. Manakala sudut geser dalam komposit maksimum 61.3° terjadi pada rasio d/S 0.71 dengan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, atau terjadi perbezaan sebesar 604.6 %



**Gambar 6.44** Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari.



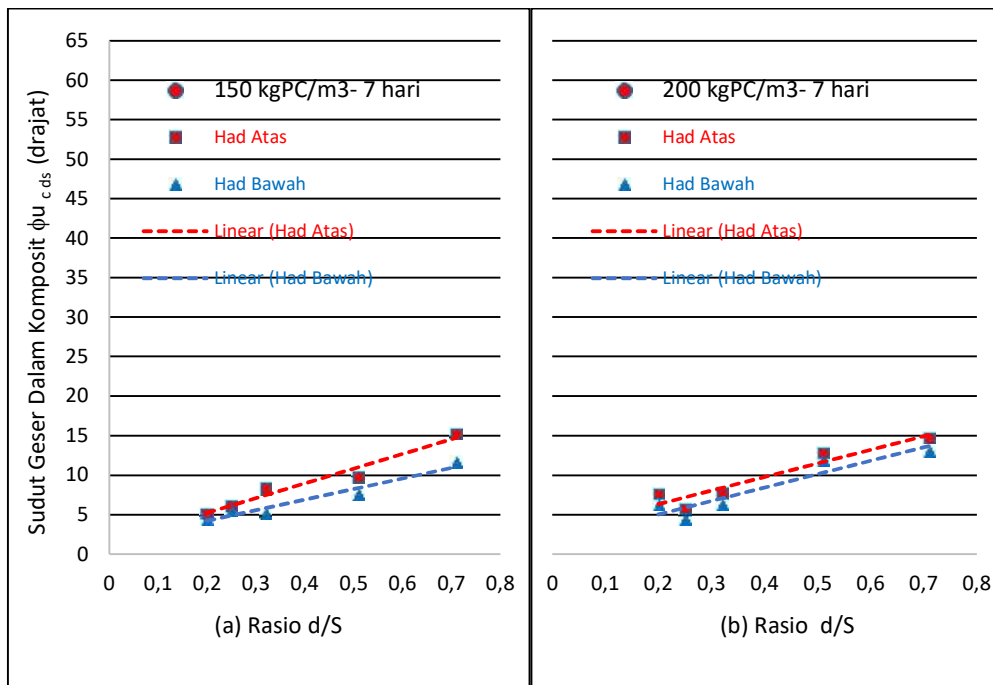
**Gambar 6.45** Perubahan sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 56 hari

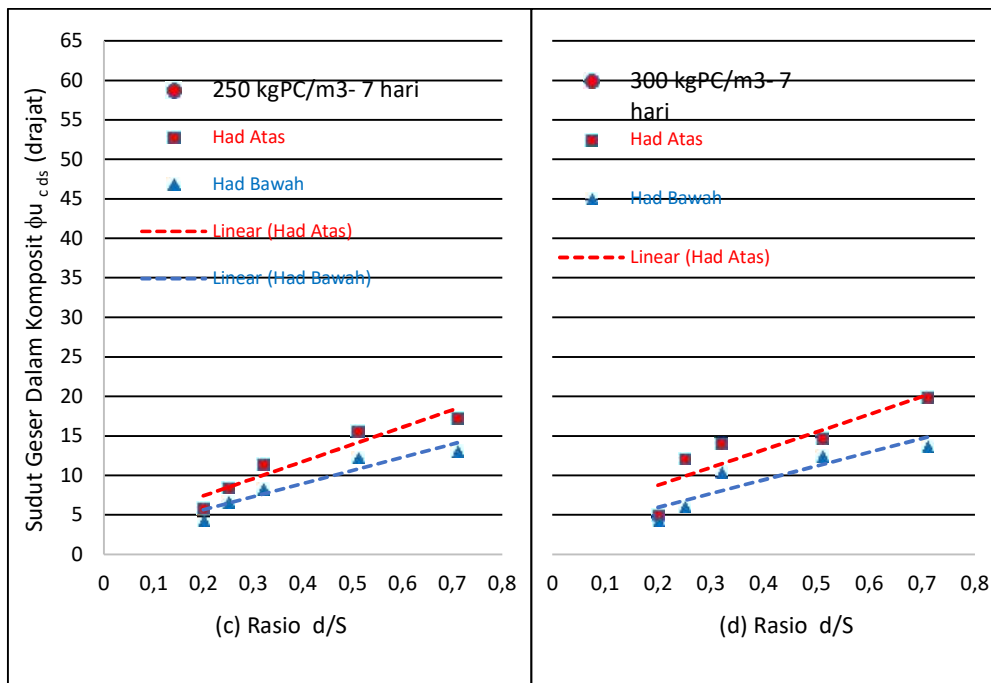
Pada Gambar 6.45 menunjukkan sudut geser dalam komposit rata-rata pada masa perawatan 56 hari dengan uji geser langsung. Sudut geser dalam komposit rata-

rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $9.3^\circ$  meningkat menjadi  $42^\circ$  pada rasio d/S 0.71 atau terjadi pertambahan 351.6 %. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $200 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $12.9^\circ$  meningkat menjadi  $47.2^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 265.9 %. Sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $250 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $13.2^\circ$  meningkat menjadi  $55.7^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 322 %. Manakala sudut geser dalam komposit rata-rata pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $23.9^\circ$  meningkat menjadi  $55.1^\circ$  pada rasio d/S bertambah 0.71 atau terjadi pertambahan 130.5%. Dari Gambar 6.45, dapat disimpulkan bahwa kenaikan terbesar sudut geser dalam komposit dengan uji geser langsung pada masa perawatan 56 hari terjadi pada kandungan semen semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$ , ialah 322 %.

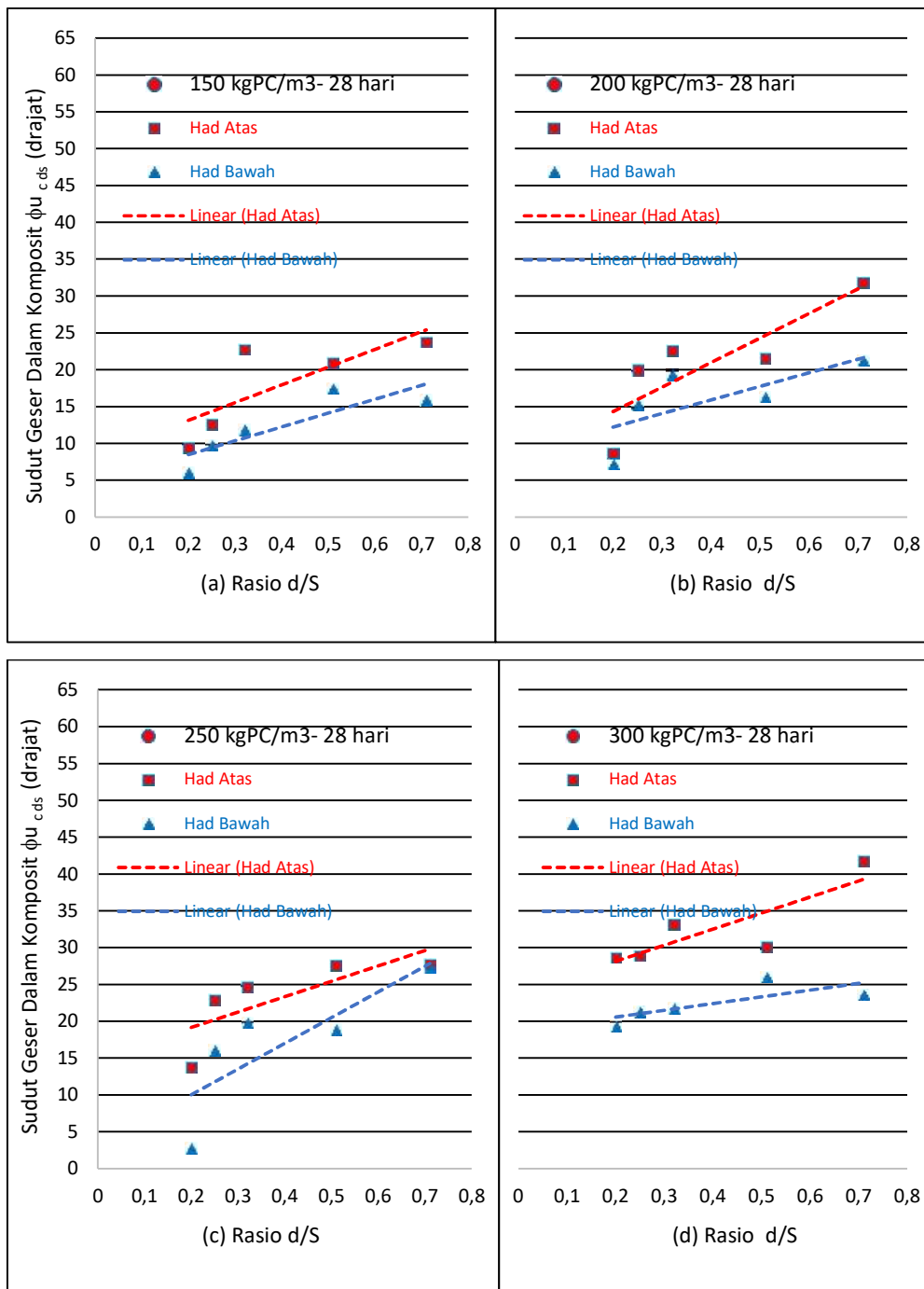
Had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum dari hasil uji geser langsung pada masa uji 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.46, dimana pada Gambar 6.46 (a) had maksimum dan had minimum sudut geser dalam komposit pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ . Berurutan pada Gambar 6.46 (b) untuk kandungan semen  $200 \text{ kg/m}^3$ , Gambar 6.46 (c) untuk kandungan semen  $250 \text{ kg/m}^3$  dan pada Gambar 6.46 (d) untuk kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ . Dari ke empat Gambar 6.46 tersebut tampak terjadinya peningkatan had sudut geser dalam komposit maksimum maupun minimumnya pada masa perawatan 7 hari dengan bertambah kandungan semen dan meningkatnya rasio d/S.

Rentang had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum tampak konsisten kelakukannya akibat peningkatan masa perawatan 28 hari, namun terdapat perbezaan dari skala besarnya seperti pada Gambar 6.47. Secara signifikan pula bahwa terjadinya rentang had sudut geser dalam maksimum dan minimum semakin bertambah dengan semakin besarnya rasio d/S. Hal tersebut juga terjadi pada masa perawatan 56 hari, seperti dapat dilihat pada Gambar 6.48.



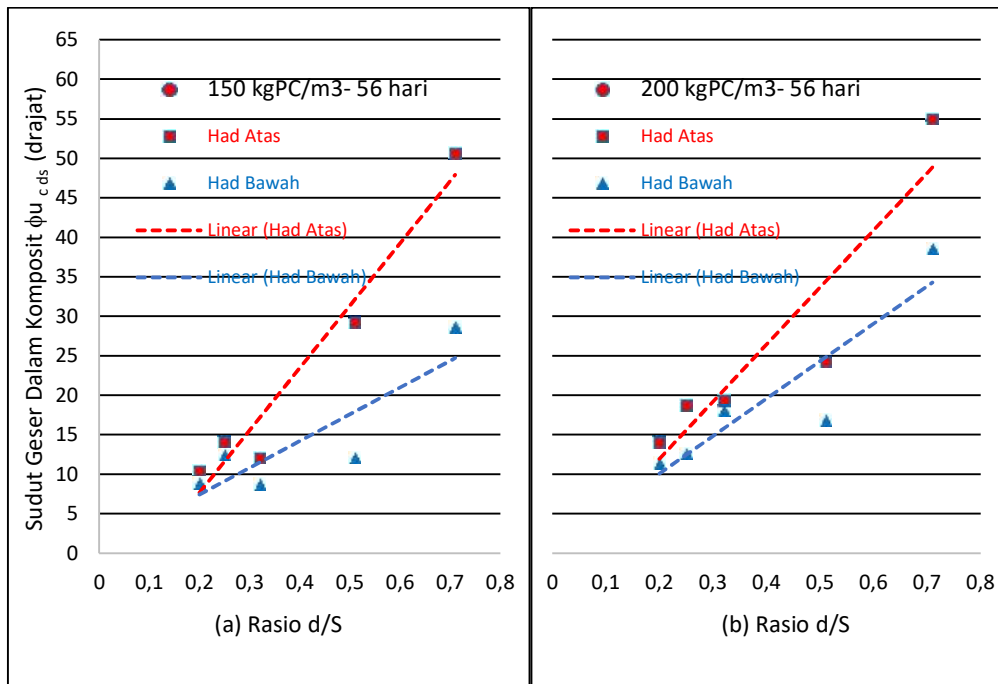


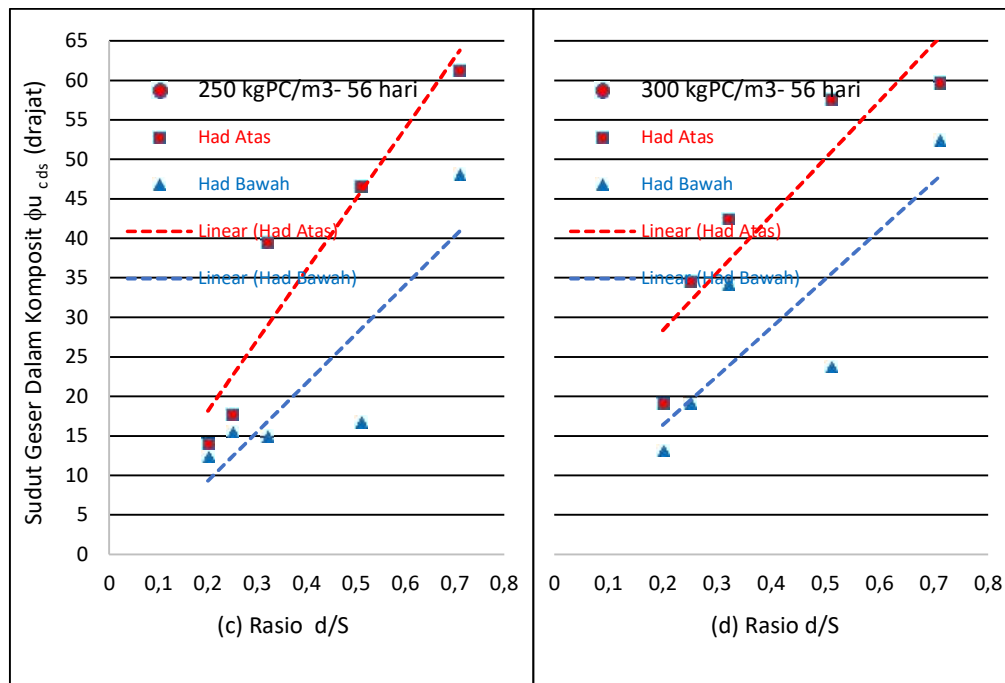
**Gambar 6.46** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 7 hari, dari uji geser langsung (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>



**Gambar 6.47** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 28 hari

dari uji geser langsung, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>





**Gambar 6.48** Had atas dan had bawah sudut geser dalam komposit rata-rata kolom semen tanah terhadap Rasio  $d/S$  dan kandungan semen pada masa perawatan 56 hari dari uji geser langsung, (a) 150 kgPC/m<sup>3</sup>, (b) 200 kgPC/m<sup>3</sup>, (c) 250 kgPC/m<sup>3</sup> dan (d) 300 kgPC/m<sup>3</sup>

### 6.3.4 Prosentase Perubahan Sudut Geser Dalam Komposit Model Kolom Semen Tanah Dengan Uji Geser Langsung

Prosentase perubahan sudut geser dalam komposit dari model kolom semen tanah dari uji geser langsung menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio  $d/S$ , Pertambahan prosentase sudut geser dalam komposit juga terjadi dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>, Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6.49.

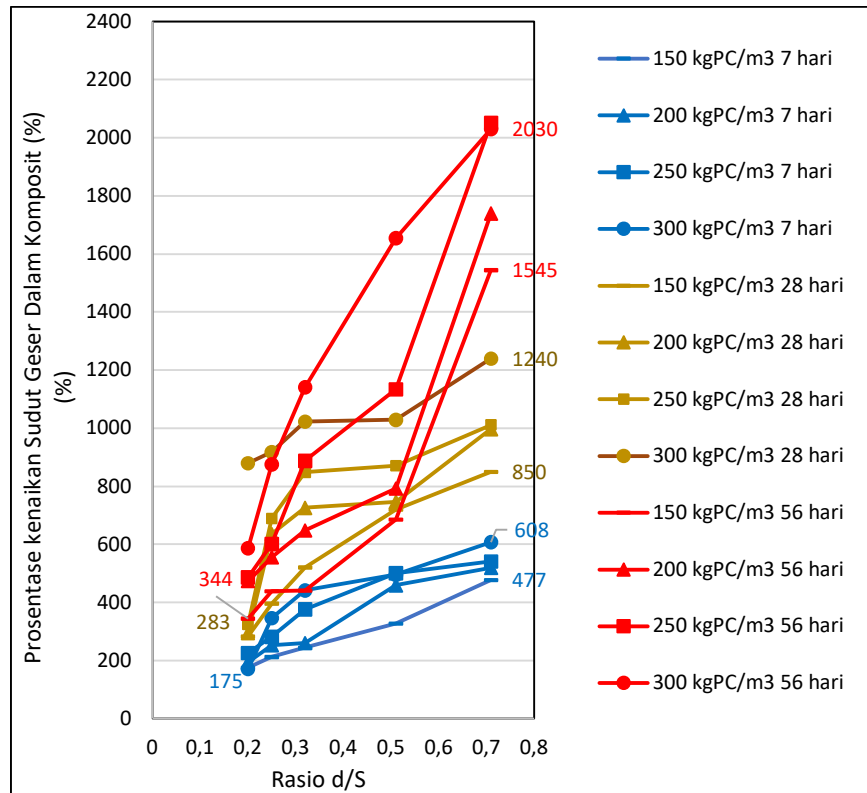
Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit dari uji geser langsung terjadi dengan merasiokan sudut geser dalam komposit dengan sudut geser dalam semula jadi uji rich langsung lempung lembut Kroya. Pada masa perawatan 7 hari,



prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu sebesar 175 %, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat dimasa perawatan yang sama dan kandungan semen yang sama hingga 477 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71. Bila kandungan semennya bertambah hingga  $300 \text{ kgPC/m}^3$  maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 608 %.

Pada masa perawatan 28 hari, prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu sebesar 283 %, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat hingga 850 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga  $300 \text{ kgPC/m}^3$  maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 1240 %.

Pada masa perawatan 56 hari, prosentase kenaikan sudut geser dalam komposit minimum terjadi pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen  $150 \text{ kg/m}^3$  yaitu sebesar 344 %, Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan meningkat hingga 1545 % bila terjadi pertambahan rasio d/S hingga 0.71 pada kandungan semen yang sama. Bila kandungan semen bertambah hingga  $300 \text{ kgPC/m}^3$  maka prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimuml dan bertambah hingga 2030 %. Prosentase pertambahan sudut geser dalam komposit dari uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 6.49 berikut.



**Gambar 6.49** Prosentase perubahan sudut geser dalam komposit model kolom semen tanah dengan uji geser langsung

#### 6.4 Modulus Elastisitas Komposit Model Kolom Semen Lempung Lembut Kroya

Dari triaxial test model kolom semen tanah didapatkan kurva tegangan regangan dari setiap sampel dengan variasi rasio d/S, kandungan semen serta masa perawatan. Setiap satu sampel dilakukan dengan tiga tegangan keliling yang berbeda, sehingga setiap kurva dapat diperoleh modulus elastisitas ( $E$ ). Modulus elastisitas yang diperoleh berupa modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i_c}$ ), modulus elastisitas sekan komposit ( $E_{s_c}$ ),

Modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i_c}$ ) diperoleh dari garis kemiringan kurva pada initial tegangan regangan, yang merupakan rasio antara tegangan dengan regangan saat semula tegangan terjadi. Manakala modulus elastisitas sekan komposit

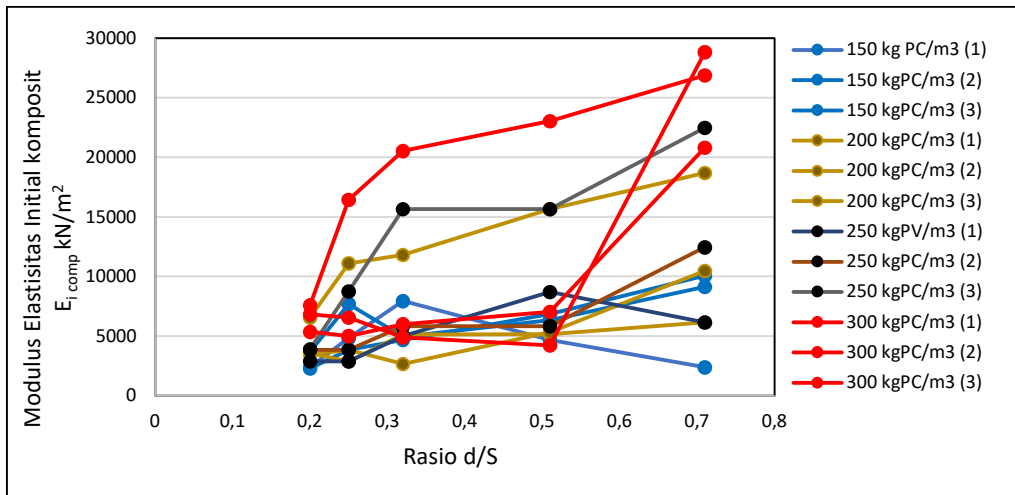
( $E_{sc}$ ) adalah garis kemiringan kurva yang diperoleh dari titik awal tegangan semula menuju tegangan maksimuml pada kurva, dan merupakan rasio antara tegangan maksimuml dengan regangan saat tegangan maksimuml terjadi.

#### 6.4.1. Modulus Elastisitas Initial Komposit ( $E_{ic}$ )

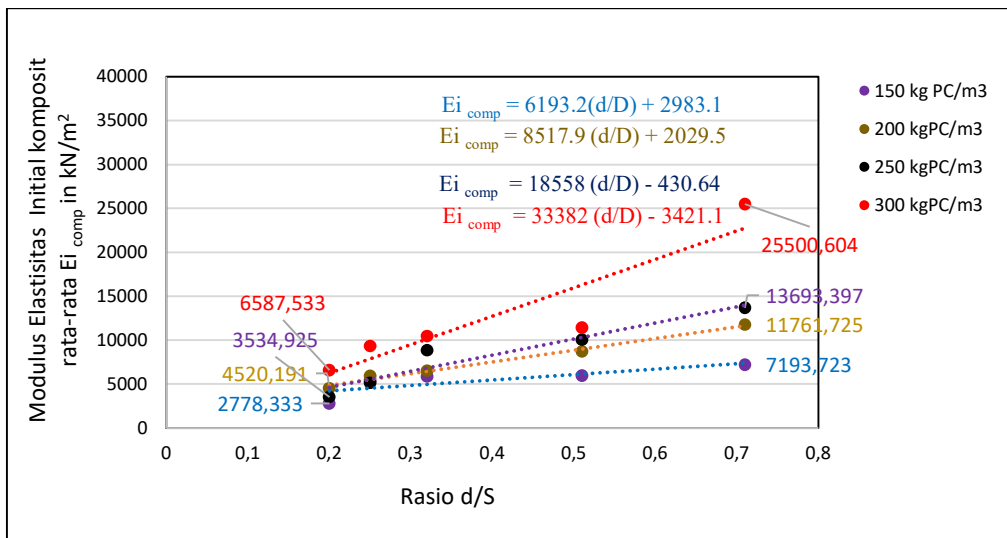
Modulus elastisitas initial komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.50. Modulus elastisitas initial komposit rata-rata dan persamaan modulus elastisitas initial komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.51.

Pada masa perawatan 7 hari dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $2778 \text{ N/m}^2$  menjadi sebesar  $7193 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 158.9%. Sementara pada kandungan semen  $200 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $4520 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $11761 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 160.2%. Pada kandungan semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $3453 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $13693 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 296.6%. Manakala pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $6587 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $25500 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 287.1%. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 7 hari pertambahan modulus elastisitas initial komposit yang maksimuml terjadi pada kandungan semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$ , sebesar 296.6%. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.51.

Empat persamaan modulus elastisitas initial komposit ( $E_{icomp}$ ) yang merupakan fungsi rasio jarak d/S diperoleh dari persemaan linear dari Gambar 6.51. Persamaan tersebut terjadi pada masa perawatan sampel 7 hari, dan setiap persamaan terjadi pada setiap masing-masing kandungan semen.



**Gambar 6.50** Modulus elastisitas initial komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari.

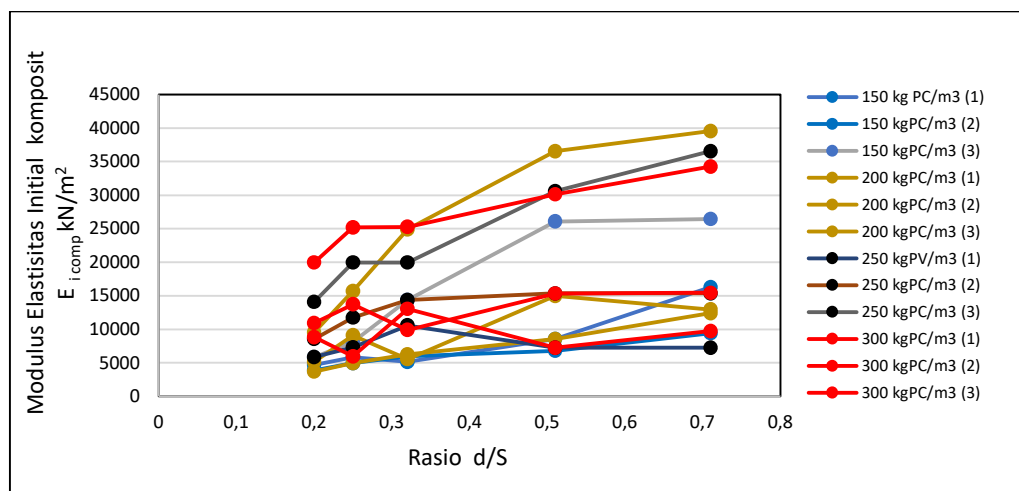


**Gambar 6.51** Modulus elastisitas initial rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari.

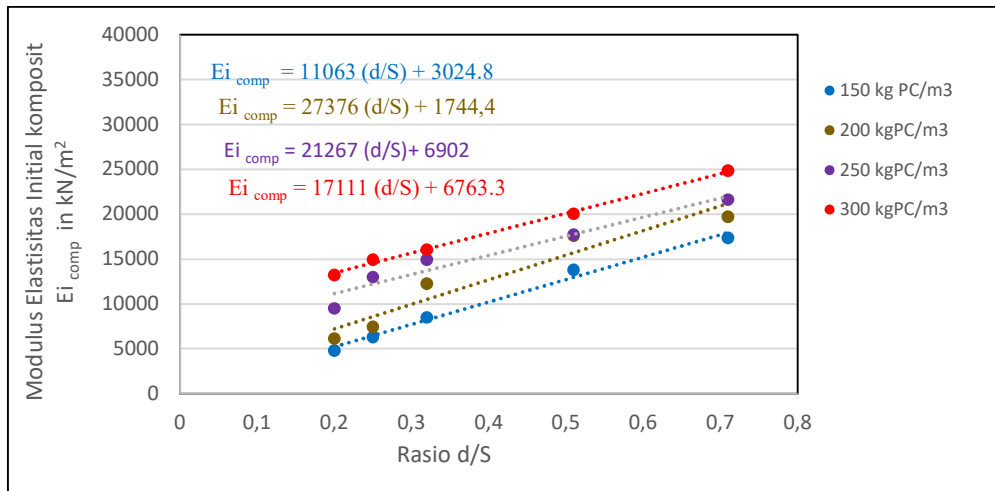
Modulus elastisitas initial komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6.52. Modulus elastisitas initial komposit rata-rata dan persamaan modulus elastisitas

initial komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6.53

Pada masa perawatan 28 hari dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 4807 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 17384 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi penambahan sebesar 261.6%, Sementara pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 6150 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 21641 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi penambahan sebesar 251.9 %. Pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 9506 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 19733 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi penambahan sebesar 107.6 %. Manakala pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 13256 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 19819 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi penambahan sebesar 49.6 %. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 28 hari penambahan modulus elastisitas initial komposit yang maksimuml terjadi pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, sebesar 261.9 %. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.53 berikut.



**Gambar 6.52** Modulus elastisitas initial komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 28 hari.

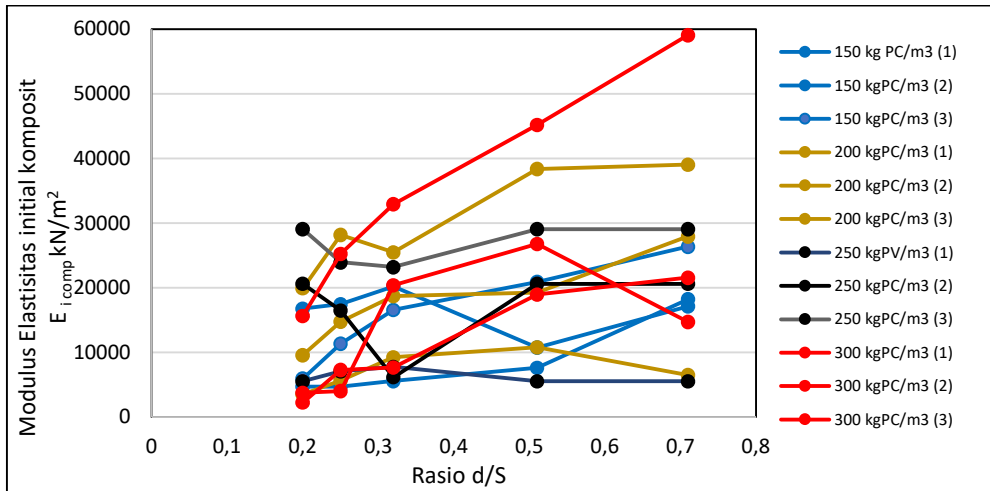


**Gambar 6.53** Modulus elastisitas initial rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 28 hari

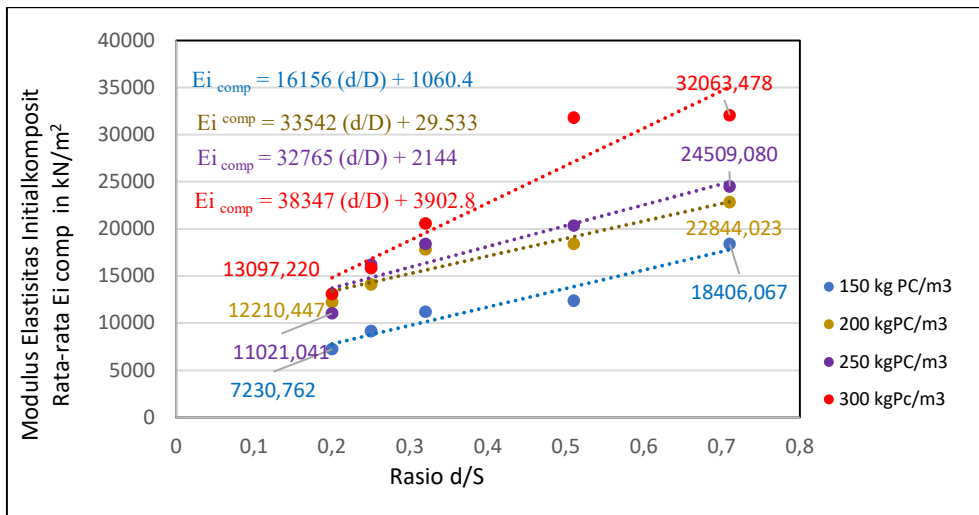
Modulus elastisitas initial komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.4.5. Manakala modulus elastisitas initial komposit rata-rata dan persamaan modulus elastisitas initial komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.4.6.

Pada masa perawatan 56 hari dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 7230 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 18406 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 154.6 %, Sementara pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 12210 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 22844 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 87.1 %. Pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 11021kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 24509 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 122.4 %. Manakala pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas initial komposit pada rasio 0.20 sebesar 15839 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 30307 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 91.34 %. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 56 hari pertambahan modulus elastisitas initial komposit yang maksimuml

terjadi pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, sebesar 154.6 %. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.4.6 berikut.



**Gambar 6.54** Modulus elastisitas initial komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 56 hari.



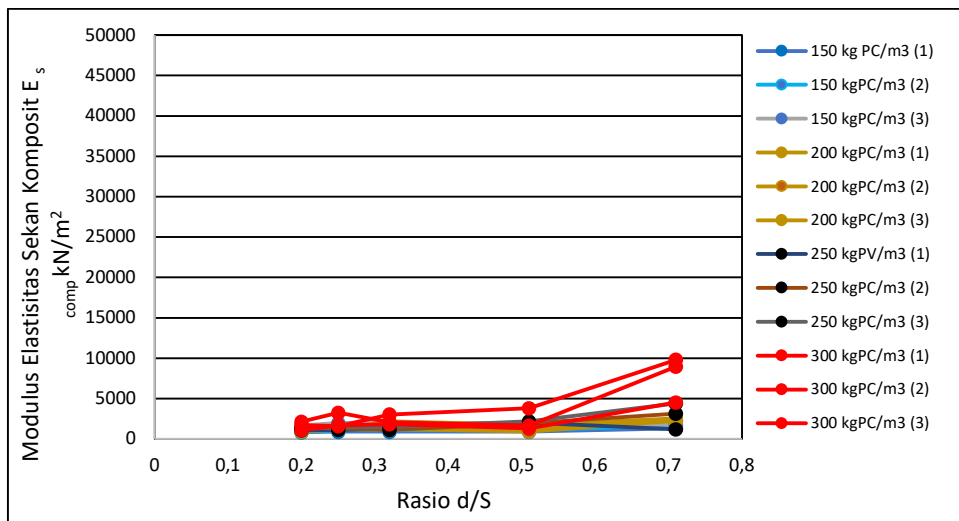
**Gambar 6.55** Modulus elastisitas initial rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 56 hari

#### 6.4.2 Modulus Elastisitas Sekan Komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ )

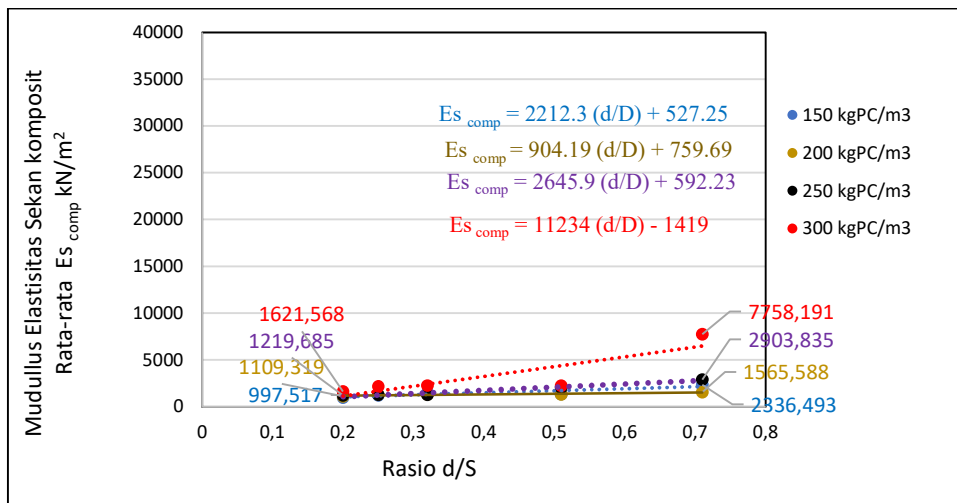
Modulus elastisitas sekan komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.56. Manakala modulus elastisitas sekan komposit rata-rata dan persamaan modulus elastisitas sekan komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.7. Dapat dilihat bahwa modulus awal sekan umumnya lebih kecil dari pada modulus elastisitas initial. Secara keseluruhan perbezaan modulus awal initial dengan modulus elastisitas sekan dari triaxial test pada model sampel kolom semen tanah dapat dilihat pada Gambar 6.62.

Pada masa perawatan 7 hari dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar  $997 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $2336 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 134.3 %. Sementara pada kandungan semen  $200 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar  $1109 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $1565 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 41.1 %. Pada kandungan semen  $250 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar  $1219 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $2903 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 138.1 %. Manakala pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar  $1621 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $7758 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 378.6 %. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 7 hari pertambahan modulus elastisitas sekan komposit yang maksimuml terjadi pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , sebesar 378.6 %. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.57 berikut.





**Gambar 6.56** Mudullus elastisitas sekan komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari

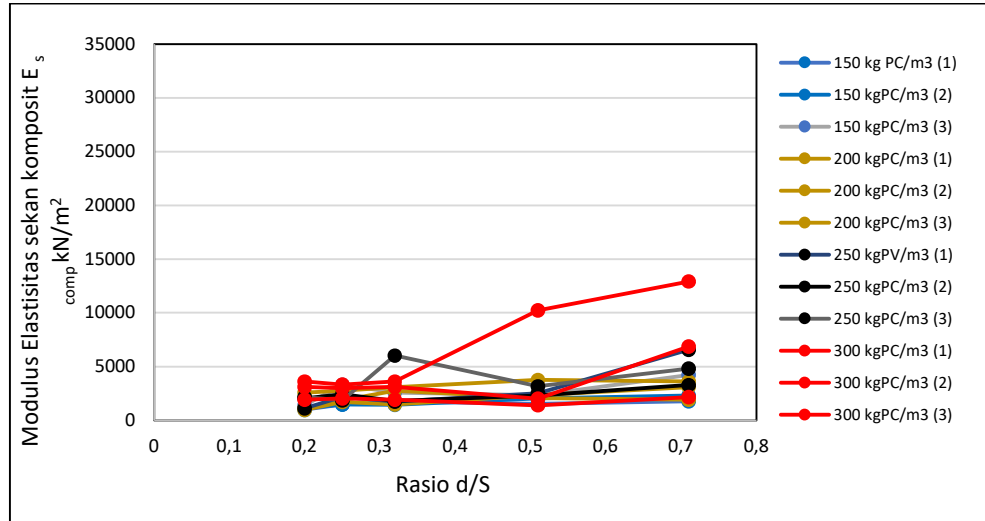


**Gambar 6.57** Modulus elastisitas sekan rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari

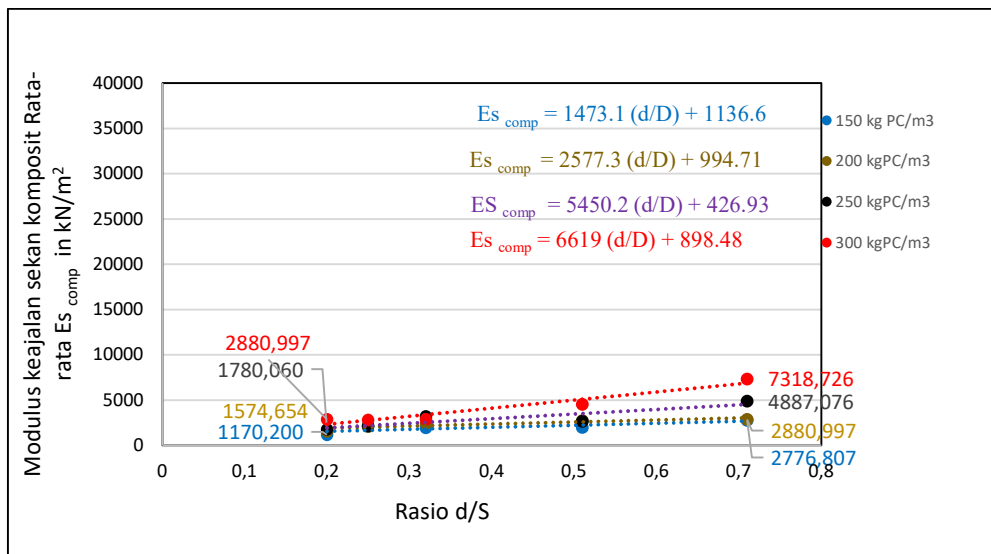
Perubahan modulus elastisitas sekan komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6.58 Manakala modulus elastisitas sekan komposit rata-rata dan persamaan

modulus elastisitas sekan komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6.59.

Pada masa perawatan 28 hari dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 1170 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 2776 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 137.4 %. Sementara pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 1574 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 2880 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 83 %. Pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 1780 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 4887 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 174.6 %. Manakala pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 2880 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 73188 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 154.1 %. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 28 hari pertambahan modulus elastisitas sekan komposit yang maksimuml terjadi pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>, sebesar 174.6 %. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.59 berikut.



**Gambar 6.58** Modulus elastisitas sekan komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawtan 28 hari

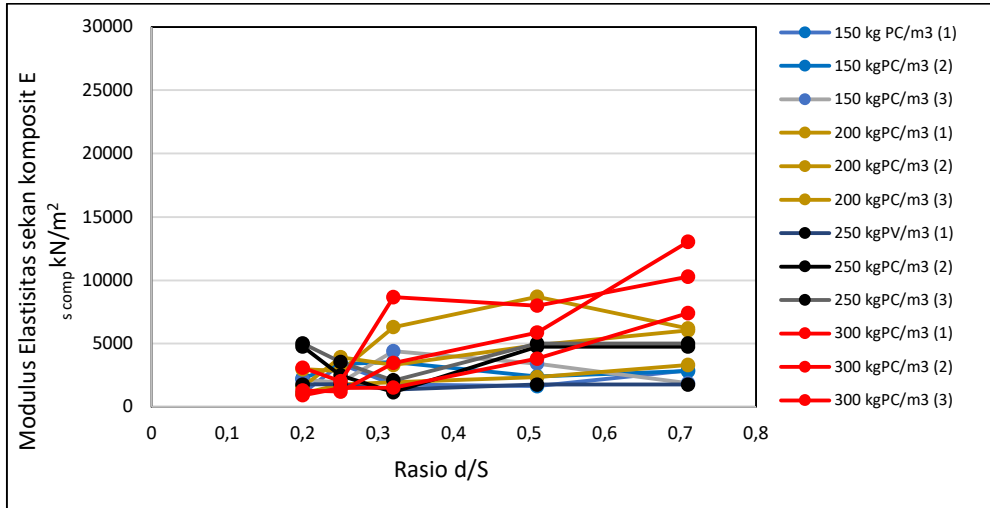


**Gambar 6.59** Modulus Elastisitas sekan rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 28 hari

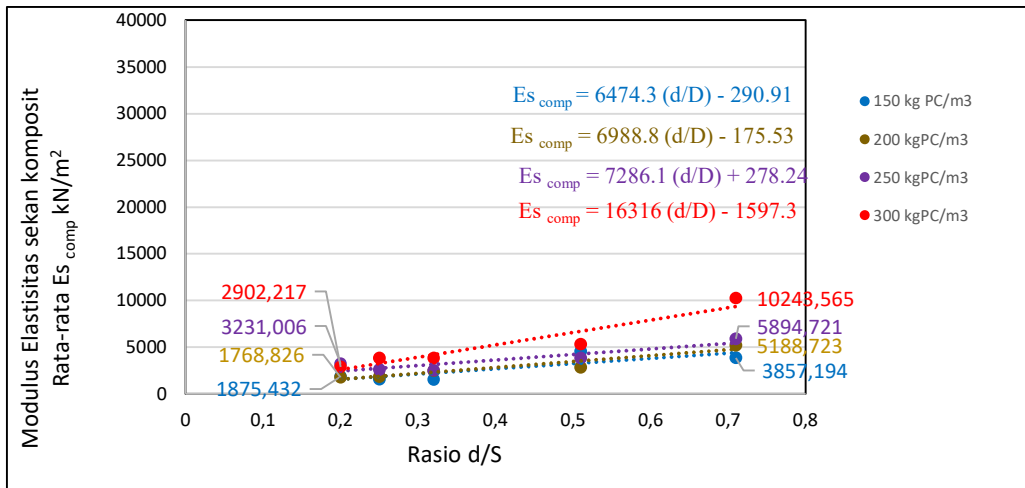
Perubahan pada modulus elastisitas sekan komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan triaxial test pada masa perawatan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.61. Manakala modulus elastisitas sekan komposit rata-rata dan persamaan modulus elastisitas sekan komposit dengan fungsi dari rasio d/S pada masa perawatan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6.62.

Pada masa perawatan 56 hari dengan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 1875 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 3857 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 105.7 %. Sementara pada kandungan semen 200 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 1768 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 5188 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 193.4 %. Pada kandungan semen 250 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 3231 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 5894 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 82.4 %. Manakala pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas sekan komposit pada rasio 0.20 sebesar 2902 kN/m<sup>2</sup> menjadi sebesar 10248 kN/m<sup>2</sup> pada rasio d/S 0.71, atau terjadi pertambahan sebesar 253.1 %. Dapat disimpulkan bahwa pada masa perawatan 56 hari pertambahan modulus elastisitas sekan komposit yang maksimuml

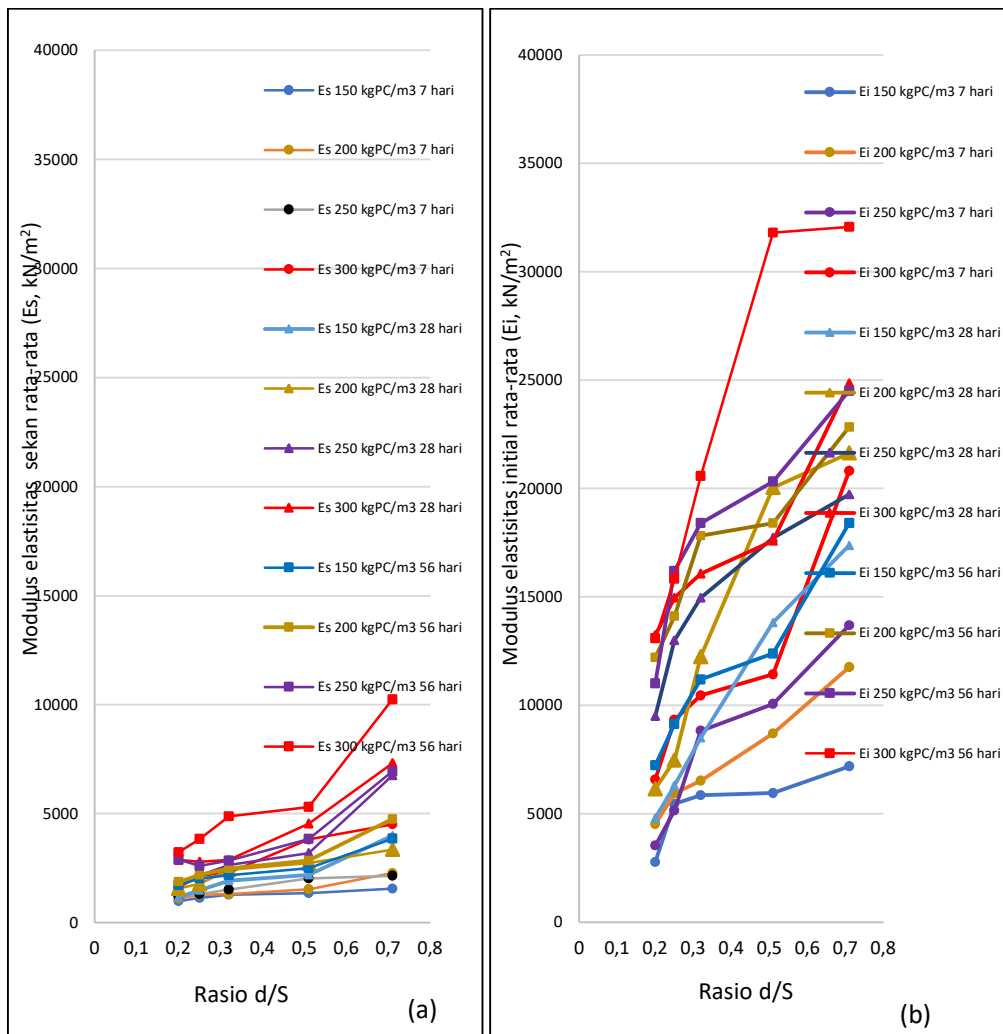
terjadi pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, sebesar 253.1 %. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.4.61 berikut.



**Gambar 6.60** Modulus elastisitas sekan komposit dari triaxial test taing semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 56 hari



**Gambar 6.61** Modulus elastisitas sekan rata-rata komposit dari triaxial test kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 28 hari



**Gambar 6.62** (a) Modulus elastisitas sekan rata-rata komposit dan (b) modulus elastisitas tangan semula komposit dari triaxial test model sampel kolom semen tanah pada variasi masa perawatan, rasio  $d/S$  dan kandungan semen.

## **BAB 7**

### **BAB 4 KORELASI PARAMETER LEMPUNG LEMBUT DENGAN PARAMETER LEMPUNG KOMPOSIT DALAM KESTABILAN PENAMBAHBAIKAN CERUN**

#### **7.1 Pendahuluan**

Di dalam rekabentuk timbunan yang memerlukan penambahbaikan menggunakan metoda kolom semen tanah, parameter yang diperlukan oleh mekanik lempung komposit adalah kekuatan geser komposit dan modulus elastisitas komposit. Magnitud kohesi komposit dan sudut geser dalam komposit serta modulus elastisitas komposit dapat dikira melalui metoda model sampel kolom semen tanah. Terlebih dahulu perlu ditetapkan rasio d/S dan kandungan semen yang akan dilakukan di dalam pembinaan rekabentuk penambahbaikan tanah.

Korelasi diantara rasio kohesi kolom semen tanah dan kohesi tanah asal dengan kohesi komposit pada rasio d/S dan kandungan semen tertentu diperlukan untuk memperolehi kohesi komposit. Begitu juga dengan korelasi diantara rasio sudut geser dalam kolom semen tanah dan sudut geser dalam tanah asal, sudut geser dalam komposit pada rasio d/S dan kandungan semen tertentu diperlukan untuk memperolehi sudut geser dalam komposit. Hal yang sama juga dilakukan untuk memperolehi modulus elastisitas komposit.

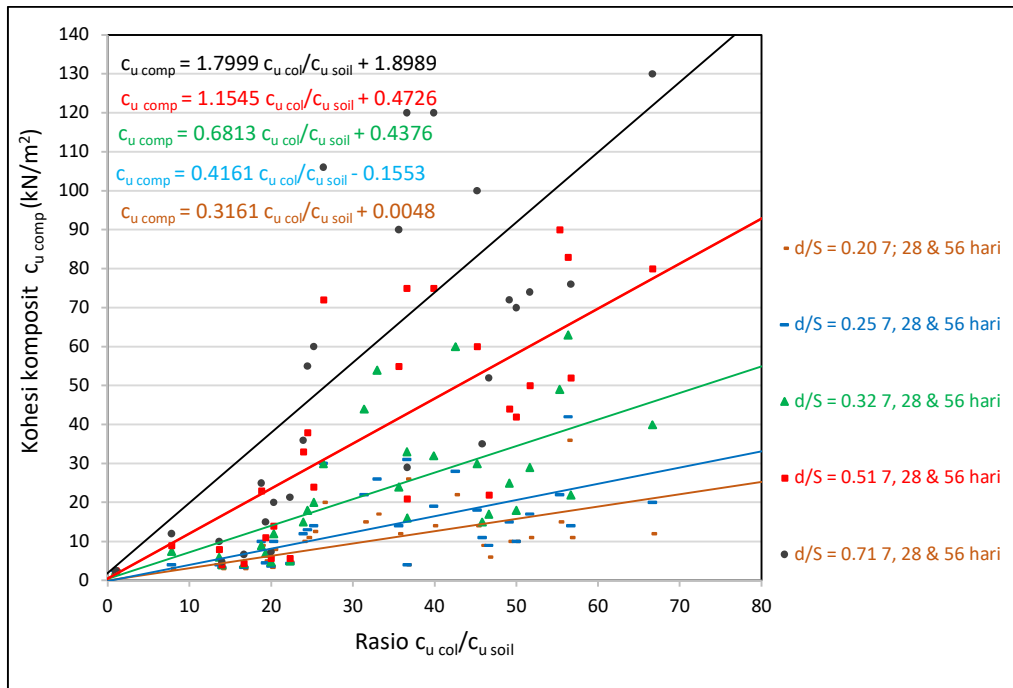
#### **7.2 Korelasi Kekuatan Geser Komposit**

Untuk keperluan analisis kestabilan cerun dengan menggunakan penambahbaikan menggunakan kolom semen tanah, parameter kekuatan geser komposit dari material lempung semula jadi dengan kolom semen tanah sangat diperlukan untuk analisis geoteknik. Kohesi komposit dan sudut geser dalam komposit dapat ditentukan melalui hubungan dengan rasio kekuatan geser kolom semen dengan kekuatan geser lempung asal pada rasio  $d/S$  tertentu.

### 7.2.1 Korelasi Kohesi Komposit

Kohesi komposit kolom semen tanah ( $c_{u \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio kohesi semen lempung ( $c_{u \text{ col}}$ ) dengan kohesi lempung lembut asal ( $c_{u \text{ soil}}$ ) melalui 5 persamaan yang terdapat pada Gambar 7.1. Setiap persamaan diperoleh dari rasio  $d/S$  yang berbeda. Semakin besar rasio  $d/S$  yang digunakan, serta semakin bertambahnya rasio kohesi semen lempung ( $c_{u \text{ col}}$ ) dengan kohesi lempung lembut asal ( $c_{u \text{ soil}}$ ), maka semakin besar nilai kohesi komposit kolom semen tanah. Semua persamaan kohesi komposit kolom semen tanah terhadap rasio kohesi semen lempung ( $c_{u \text{ col}}$ ) dengan kohesi lempung lembut asal ( $c_{u \text{ soil}}$ ) dapat dilihat Pada Tabel 7.1 berikut.

Kesimpulannya bahwa untuk memperoleh kohesi komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio antara kohesi campuran lempung lembut semen dengan kohesi lempung lembut semua jadi. Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio  $d/S$  yang akan digunakan, maka dapat ditentukan kohesi komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Gambar 7.1, atau dapat menggunakan Tabel 7.1.



**Gambar 7.1** Korelasi antara kohesi komposit ( $c_{u\ comp}$ ) kolom semen tanah dengan rasio kohesi lempung semen dengan kohesi lempung lembut semula jadi ( $c_{u\ col}/c_{u\ soil}$ ).

**Tabel 7.1** Persamaan kohesi komposit kolom semen tanah fungsi dari rasio  $c_{u\ col}/c_{u\ soil}$

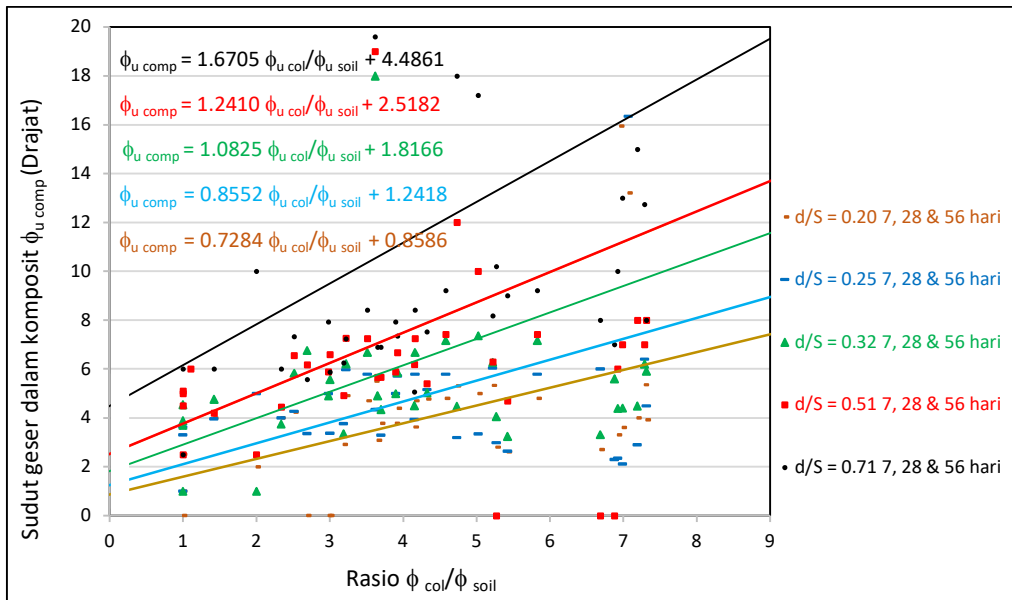
Bil	Persamaan kohesi komposit kolom semen tanah  ( $c_{u\ comp}$ )	Rasio d/S
1	$c_{u\ comp} = 0.3161 c_{u\ col}/c_{u\ soil} + 0.0048$	0.20



2	$c_{u \text{ comp}} = 0.4161 c_{u \text{ col}}/c_{u \text{ soil}} - 0.1553$	0.25
3	$c_{u \text{ comp}} = 0.6813 c_{u \text{ col}}/c_{u \text{ soil}} + 0.4376$	0.32
4	$c_{u \text{ comp}} = 1.1545 c_{u \text{ col}}/c_{u \text{ soil}} + 0.4726$	0.51
5	$c_{u \text{ comp}} = 1.7999 c_{u \text{ col}}/c_{u \text{ soil}} + 1.8989$	0.77

### 7.2.2 Korelasi Sudut Geser Dalam Komposit

Sudut geser dalam komposit kolom semen tanah ( $\phi_{u \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio sudut geser dalam semen lempung ( $\phi_{u \text{ col}}$ ) dengan sudut geser dalam lempung lembut asal ( $\phi_{u \text{ soil}}$ ) melalui 5 persamaan yang terdapat pada Gambar 7.2. Setiap persamaan diperoleh dari rasio d/S yang berbeda. Semakin besar rasio d/S yang digunakan, serta semakin bertambahnya rasio sudut geser dalam semen lempung ( $\phi_{u \text{ col}}$ ) dengan sudut geser dalam lempung lembut asal ( $\phi_{u \text{ soil}}$ ), maka semakin besar nilai sudut geser dalam komposit kolom semen tanah. Semua persamaan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah terhadap rasio sudut geser dalam semen lempung ( $\phi_{u \text{ col}}$ ) dengan sudut geser dalam lempung lembut asal ( $\phi_{u \text{ soil}}$ ) dapat dilihat pada Tabel 7.2 berikut. Kesimpulannya bahwa untuk memperoleh sudut geser dalam komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio antara sudut geser dalam campuran lempung lembut semen dengan sudut geser dalam lempung lembut semua jadi. Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio d/S yang akan digunakan, maka dapat ditentukan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Gambar 7.2, atau dapat menggunakan Tabel 7.2.



**Gambar 7.2.2** Korelasi antara sudut geser dalam komposit ( $\phi_{u \text{ comp}}$ ) dengan rasio sudut geser dalam kolom semen dengan sudut geser dalam lempung lembut ( $\phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}}$ ).

**Tabel 7.2** Persamaan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah fungsi dari rasio  $\phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}}$

$\phi_{u \text{ soil}}$

Bil	Persamaan sudut geser dalam komposit  ( $\phi_{u \text{ comp}}$ )	Rasio d/S
1	$\phi_{u \text{ comp}} = 0.7284 \phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}} + 0.8586$	0.20
2	$\phi_{u \text{ comp}} = 0.8552 \phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}} + 1.2418$	0.25

3	$\phi_{u \text{ comp}} = 1.0825 \phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}} + 1.8166$	0.32
4	$\phi_{u \text{ comp}} = 1.2410 \phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}} + 2.5182$	0.51
5	$\phi_{u \text{ comp}} = 1.6705 \phi_{u \text{ col}}/\phi_{u \text{ soil}} + 4.4861$	0.77

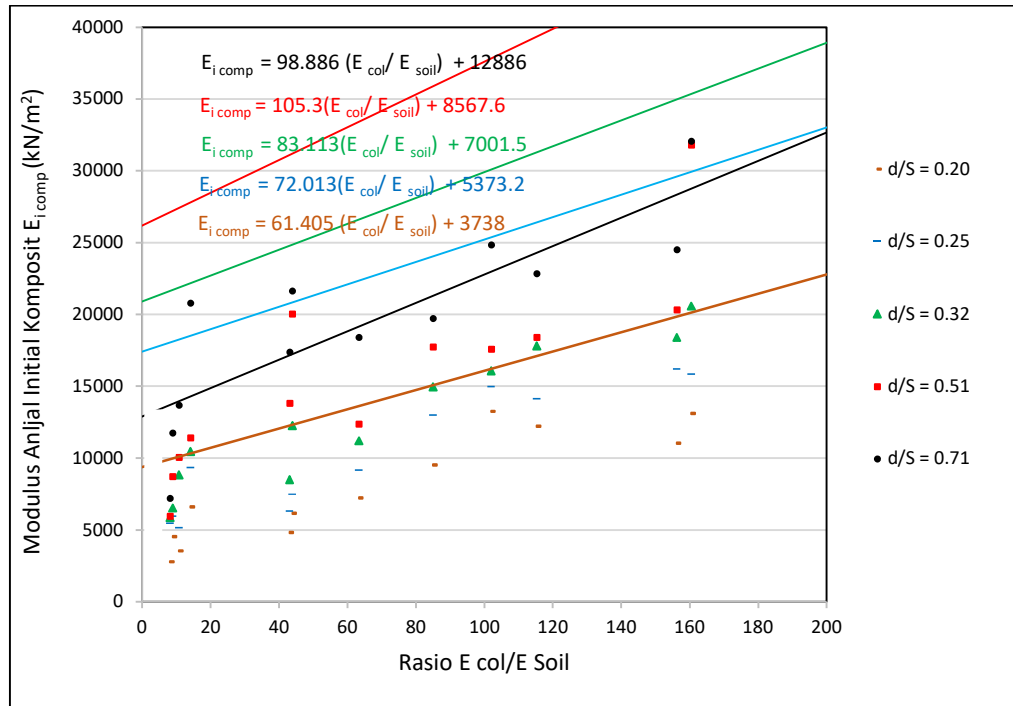
### 7.3 Korelasi Modulus Elastisitas Komposit ( $E_{\text{comp}}$ )

Pada bahagian ini akan disyorkan persamaan korelasi perubahan modulus elastisitas komposit ( $E_{\text{comp}}$ ) kolom semen tanah terhadap rasio modulus elastisitas kolom-asal. Dimana rasio modulus elastisitas kolom-asal adalah rasio antara modulus elastisitas kolom semen ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus elastisitas asal lempung ( $E_{\text{soil}}$ ). Modulus elastisitas komposit dapat dibezakan melalui modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ) dan modulus elastisitas sekan komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ ). Perbezaan ini dilakukan karena di dalam analisis rekabentuk geoteknik ada kalanya diperlukan modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ) untuk analisis linear dengan tegangan rendah. Sedangkan untuk mendapatkan kapasiti disain menggunakan teori nonlinear diperpulan modulus elastisitas sekan komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ ).

#### 7.3.1 Korelasi Modulus Elastisitas Initial Komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ )

Modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah ( $E_{i \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio modulus elastisitas semen lempung ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus elastisitas lempung lembut asal ( $E_{\text{soil}}$ ) melalui 5 persamaan seperti pada Gambar 7.3. Setiap persamaan diperoleh dari setiap rasio d/S yang berbeda. Modulus elastisitas initial komposit akan meningkat dengan peningkatan rasio modulus elastisitas kolom ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus semula tanah ( $E_{\text{soil}}$ ). Peningkatan ini juga terjadi dengan peningkatan rasio d/S. Semua persamaan modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah terhadap rasio modulus elastisitas kolom-asal dapat dilihat Pada Judual 7.3 berikut.

Kesimpulannya bahwa untuk memperoleh modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio modulus elastisitas kolom-asal. Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio d/S yang akan terjadi, maka dapat ditentukan modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Gambar 7.3, atau melalui Tabel 7.3.



**Gambar 7.3** Korelasi antara modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i\ comp}$ ) dengan rasio modulus elastisitas lempung semen dengan modulus elastisitas lempung lembut semula jadi ( $E_{col}/E_{soil}$ ).

**Tabel 7.3** Persamaan modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah fungsi dari rasio  $E_{col}/E_{soil}$

Bil	Persamaan modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah ( $E_{i\ comp}$ )	Rasio d/S

1	$E_{i \text{ comp}} = 61.405 E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}} + 3738$	0.20
2	$E_{i \text{ comp}} = 107.30 E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}} + 8567.6$	0.25
3	$E_{i \text{ comp}} = 83.113 E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}} + 7001.5$	0.32
4	$E_{i \text{ comp}} = 1.1545 E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}} + 0.4726$	0.51
5	$E_{i \text{ comp}} = 98.886 E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}} + 12886$	0.77

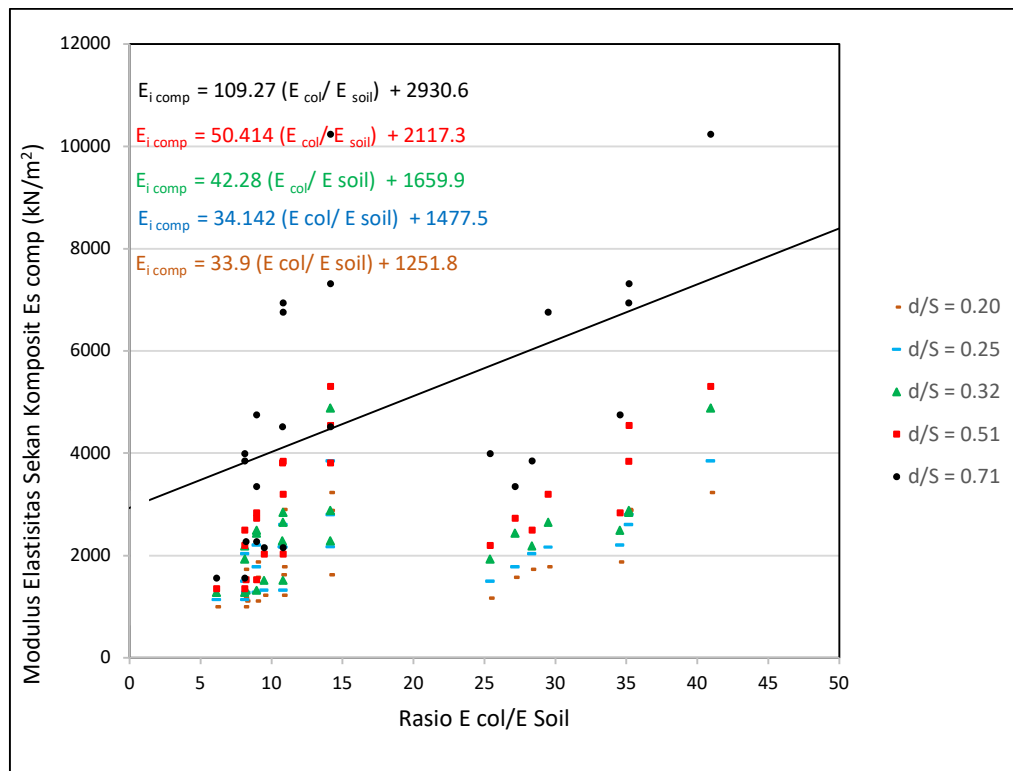
### 7.3.2 Korelasi Modulus Elastisitas Sekan Komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ )

Modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah ( $E_{s \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio modulus elastisitas kolom-asal ( $E_{\text{col}}/ E_{\text{soil}}$ ) dengan 5 persamaan seperti pada Gambar 7.4 Setiap persamaan diperoleh dari setiap rasio d/S yang berbeda. Modulus elastisitas sekan initial komposit akan mingkat dengan peningkatan modulus elastisitas taing-asal ( $E_{\text{col}}/E_{\text{soil}}$ ). Peningkatan ini juga terjadi dengan peningkatan kepada rasio jarak d/S. Semua persamaan modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah terhadap rasio modulus elastisitas kolom-asal dapat dilihat Pada Tabel 7.4 berikut.

Kesimpulannya bahwa untuk memperoleh modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah ( $E_{s \text{ comp}}$ ), perlu ditentukan dahulu rasio modulus elastisitas kolom-asal ( $E_{\text{col}}/E_{\text{soil}}$ ). Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio d/S yang akan digunakan, maka dapat ditentukan modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Tabel 7.4, atau dapat menggunakan Gambar 7.4.

**Tabel 7.4** Persamaan modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah fungsi dari rasio $E_{col}/E_{soil}$ 

Bil	Persamaan modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah ( $E_{s\ comp}$ )	Rasio d/S
1	$E_{s\ comp} = 33.900 E_{col}/ E_{soil} + 1251.8$	0.20
2	$E_{s\ comp} = 34.142 E_{col}/ E_{soil} + 1477.5$	0.25
3	$E_{s\ comp} = 42.280 E_{col}/ E_{soil} + 1659.9$	0.32
4	$E_{s\ comp} = 50.414 E_{col}/ E_{soil} + 2117.3$	0.51
5	$E_{s\ comp} = 109.27 E_{col}/ E_{soil} + 2930.6$	0.77



**Gambar 7.3.2** Korelasi antara modulus elastisitas sekan komposit ( $E_s \text{ comp}$ ) dengan rasio modulus elastisitas kolom semen dengan modulus elastisitas lempung lembut ( $E_{\text{ col}}/E_{\text{ soil}}$ ).

## BAB VIII

### KESIMPULAN

#### 8.1 Kesimpulan Penelitian Rasio Kekuatan Geser

Dari uji triaksial dan uji geser langsung pada model sampel kolom semen tanah, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Rasio kekuatan geser pada model sampel kolom semen tanah ini tergantung pada masa perawatan yang berlaku, serta variasi rasio d/S dan kandungan semennya. Di dalam uji triaksial model sampel kolom semen tanah, menunjukkan bahwa rasio kekuatan geser ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) adalah paling minimum pada keadaan sampel dengan rasio d/S dan kandungan semen yang paling kecil. Rasio kekuatan geser akan meningkat dengan naiknya rasio d/S serta kenaikan kandungan semen pada sampel komposit kolom semen tanah serta masa perawatan dari 7 hari hingga 28 hari dan akhirnya 56 hari (Tabel 5.1-5.3 dan Gambar 5.1-5.3).
2. Rasio kekuatan geser minimum ialah 0.158 pada kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada rasio d/S sebesar 0.20 dengan perawatan 7 hari (Tabel 5.4-5.6 dan Gambar 5.8-5.10). Manakala rasio kekuatan geser maksimum ialah 5.202 pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S sebesar 0.71 dengan masa perawatan 56 hari.
3. Uji kekuatan geser dengan triaksial menunjukkan bahwa masa perawatan secara umumnya menjadi factor terhadap terjadinya peningkatan rasio kekuatan geser. Kenaikan rasio kekuatan geser pada masa perawatan 7 hari kepada 28 hari adalah lebih besar bila dirasioikan kenaikan pada masa perawatan 28 hari ke 56 hari (Gambar 5.14). Perbedaan kenaikan rasio kekuatan geser tersebut berlaku untuk semua rasio d/S.
4. Perubahan rasio kekuatan geser dari pada uji geser langsung memiliki kelakuan yang serupa dengan perubahan rasio kekuatan geser dari uji triaksial. Secara umumnya perubahan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung terhadap masa perawatan sampel kolom semen tanah menunjukkan bahwa perubahan dari masa perawatan 7 hari hingga masa perawatan 28 hari adalah lebih besar apabila dibandingkan dari 28 hari ke 56 hari masa perawatan. Besar dan perubahan kenaikan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung lebih besar bila dibandingkan kenaikan perubahan rasio kekuatan geser dari uji triaksial.



5. Perbezaan parameter kekuatan geser pada uji semula lempung lembut Kroya. terjadinya karena terdapat perbezaan pola keruntuhan antara uji triaksial dan uji geser langsung di dalam penentuan kekuatan geser. Pada Tabel 5.7 purata rasio kekuatan geser hasil uji triaksial lempung lembut Kroya adalah 0.132, manakala untuk hasil uji geser langsung bernilai 0.144 seperti pada Tabel 5.8. Peratusan perubahannya ialah lebih besar 9,1% rasio kekuatan geser dari uji langsung pada pada uji triaksial.
6. Peratus kenaikan rasio kekuatan geser dari uji triaksial dirasiokan kepada rasio kekuatan geser semula lempung lembut Kroya. Peratus kenaikan ini berlaku karena peningkatan terhadap kandungan semen, masa perawatan dan rasio d/S. Peratus kenaikan minimum dari uji triaksial berlaku pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> ketika perawatan 7 hari dan rasio d/S = 0.20 ialah 112.4%. Peratus kenaikan tertinggi ialah 1048.3% berlaku pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, pada masa perawatan 56 hari dengan rasio d/S sebesar 0.71 (Tabel 5.9 dan Gambar 5.22).
7. Peratus kenaikan rasio kekuatan geser dari uji geser langsung dirasiokan terhadap rasio kekuatan geser semula lempung lembut Kroya. Peratus kenaikan ini berlaku akibat dari peningkatan kepada kandungan semen, peningkatan masa perawatan dan peningkatan rasio d/S. Peratus kenaikan paling rendah dari uji geser langsung yang berlaku pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari dan rasio d/S = 0.20 ialah 182.9%. Peratus kenaikan paling tertinggi ialah 2204.3% berlaku pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup>, pada masa perawatan 56 hari dengan rasio d/S sebesar 0.71 (Tabel 5.10, Gambar 5.23a, Gambar 5.2b).
8. Secara umum dapat terlihat bahwa peratus kenaikan kekuatan geser dari uji geser langsung adalah lebih besar dari pada kenaikan peratus rasio kekuatan geser dengan uji triaksial. Perbezaan peratus kenaikan rasio kekuatan geser antara uji geser langsung dengan uji triaksial dari keseluruhannya dengan julat antara 30% hingga 210%.

## 8.2 Kesimpulan Kekuatan Geser Komposit dan Modulus Komposit

Kekeuatan geser komposit dari uji triaksial dan geser langsung model sampel kolom semen tanah dan modulus anjal dari uji triaksial dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penelitian faktor kekuatan geser komposit model kolom semen tanah dari uji triaksial. Kekuatan geser komposit model kolom tanah semen dari uji triaksial. Perubahan kekuatan geser yang merupakan kekohesian komposit ( $c_{comp}$ ) dan sudut geser dalam komposit ( $\phi_{comp}$ ) akan dilakukan pada kolom semen tanah dengan empat variasi kandungan semen, tiga variasi masa perawatan dan lima variasi rasio d/S. Kekuatan geser dilakukan melalui uji triaksial dan uji geser langsung.
2. Pada sampel model kolom semen tanah, apabila semakin besar kandungan semen, masa perawatan akan menjadi lebih lama dan semakin besar rasio d/S peningkatan kekohesian komposit ( $c_{comp}$ ). Pada masa perawatan 7 hari, dengan uji triaksial kekohesian komposit minimum adalah  $3 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$  dengan rasio d/S 0.20 atau kenaikan 100% dari kekohesian semula jadi. Manakala kekohesian komposit maksimum adalah  $36 \text{ kN/m}^2$  pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71.
3. Perubahan kekohesian komposit kolom semen tanah dengan uji triaksial akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari ditampilkan dalam Gambar 6.1, 6.3, dan 6.5. Sedangkan Purata perubahan kekohesian komposit kolom semen tanah dengan uji triaksial akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari ditampilkan pada Gambar 6.2, 6.4, dan 6.6.
4. Manakala kekohesian komposit maksimum  $40 \text{ kN/m}^2$  berlaku pada kandungan semen  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan rasio d/S 0.71 dan masa perawatan 56 hari atau kenaikan lebih dari 1300% dari kekohesian semula jadi. Had atas dan bawah kekohesian komposit purata kolom semen tanah terhadap Rasio d/S dan kandungan semen pada masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari uji triaksial, (a)  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , (b)  $200 \text{ kgPC/m}^3$ , (c)  $250 \text{ kgPC/m}^3$  dan (d)  $300 \text{ kgPC/m}^3$  ditampilkan pada Gambar 6.7-6.9.

5. Peratus perubahan kekohesian komposit dari model kolom semen tanah dari uji triaksial menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S. Pertambahan peratus kekohesian komposit juga berlaku dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> (Gambar 6.13). Peratus kenaikan kekohesian komposit minimum berlaku pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari. Bila kandungan semen bertambah 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka peratus pertambahan kekohesian komposit akan maksimum dan bertambah hingga 4000 % pada masa perawatan 56 hari dan d/s sebesar 0.71 (Gambar 6.13).
6. Lempung lembut Kroya semula jadi yang memiliki kekuatan geser yang sangat kecil kekohesian ( $c_u$ ) maupun sudut geser dalam ( $\phi_u$ ) akan bertambah kekuatan geser kompositnya bila berlaku penambahkuatan dengan kolom semen tanah. Sudut geser dalam lempung lembut semula jadi yang pada umumnya kecil atau mendekati bilangan sifar (0). Sudut geser dalam komposit akan bertambah secara ketara melalui penambahbaikan berupa kolom semen tanah melalui uji triaksial dengan sampel model kolom semen tanah.
7. Hingga pada masa perawatan 7 hari dengan rasio d/S 0.20 dan kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> sudut geser dalam komposit ( $\phi_{uc}$ ) minimum sebesar 2.3°. Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji triaksial akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dirangkum dalam Gambar 6.14, 6.17, dan 6.20.
8. Persamaan sudut geser dalam komposit purata kolom semen tanah dengan uji triaksial akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari disajikan dalam Gambar 6.16, 6.19, dan 6.20. Peningkatan sudut geser dalam komposit maksimum pada masa perawatan 56 hari, yang berlaku pada kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> sebesar 14.5° dan s/d 0.71. Had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum dari hasil uji triaksial pada masa uji 7 hari, 28 hari, dan 56 hari disummarykan pada Gambar 6.23, 6.24, dan 6.25.
9. Persamaan penambahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji triaksial akibat variasi kandungan semen, rasio d/S dan masa perawatan

dapat dilihat pada Tabel 6.8. Peratusan perubahan sudut geser dalam komposit dari model kolom semen tanah dari uji triaksial menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S, pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> (Gambar 6.26). Pada masa perawatan 7 hari, peratus kenaikan sudut geser dalam komposit minimum berlaku pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 90%. Bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> dan perawatan 56 hari serta d/s sebesar 0.71 maka peratus pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimum dan bertambah hingga 394 %.

10. Kekohesian komposit dan sudut geser dalam komposit akan model sampel kolom semen tanah melalui uji geser langsung yang telah dilakukan untuk menentukan perubahan akibat variasi rasio d/S 0.20 hingga d/S 0.71, kandungan semen dari 150, 200, 250 dan 300 kgPC/m<sup>3</sup>, masa perawatan sampel mulai dari 7 hari, 28 hari hingga 56 hari. Pada sampel model kolom semen tanah melalui uji geser langsung memiliki kelakuan yang sama dengan uji triaksial, namun dengan skala yang berbeza, Semakin besarnya kandungan semen, semakin lama masa perawatan dan semakin besar rasio d/S berlaku peningkatan kekohesian komposit ( $c_{comp}$ ). Pada masa perawatan 7 hari, dengan uji geser langsung berlaku kekohesian komposit minimum 9.8 kN/m<sup>2</sup> pada kandungan semen 150 kgPC/m<sup>3</sup> dengan rasio d/S 0.20. Kekohesian komposit purata maksimum pada masa perawatan 56 hari (Gambar 6.34) pada rasio d/S 0.71, dan kandungan semen 300 kgPC/m<sup>3</sup> menjadi 119.6 kN/m<sup>2</sup> atau berlaku penambahan 388.7 % dari kekohesian semula jadi.
11. Persamaan penambahan kekohesian komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi kandungan semen, variasi rasio d/S dan variasi masa perawatan dapat dilihat pada Tabel 6.12. Had kekohesian komposit maksimum dan minimum dari hasil uji geser langsung pada masa uji 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.36, 6.37, dan 6.38.
12. Peratusan perubahan kekohesian komposit dari model kolom semen tanah dari uji geser langsung menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S, pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan

kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup>. Peratus kenaikan kekohesian komposit minimum berlaku pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> pada masa perawatan 7 hari, yaitu sebesar 179 %. Pada masa perawatan 56 hari, bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka peratus pertambahan kekohesian komposit akan maksimum dan bertambah hingga 1800 %.

13. Kekuatan geser yang berlaku dari uji triaksial dan uji geser langsung hasilnya tidaklah sama, karena perbezaan bidang satah kegagalan yang berlaku berbeza pada kedua uji tersebut. Pada umumnya kekuatan geser dari uji geser langsung akan berlaku lebih besar daripada kekuatan geser dengan uji triaksial.
14. Perubahan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah dengan uji geser langsung akibat variasi rasio d/S dan kandungan semen dengan masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari, ditampilkan dalam Gambar 6.40, 6.42, dan 6.44. Had sudut geser dalam komposit maksimum dan minimum dari hasil uji geser langsung pada masa uji 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.46, 6.47, dan 6.48.
15. Peratus perubahan sudut geser dalam komposit dari model kolom semen tanah dari uji geser langsung menunjukkan pertambahan akibat variasi rasio d/S, Pertambahan peratus sudut geser dalam komposit juga berlaku dengan pertambahan masa perawatan dari 7 hari hingga 56 hari dan pertambahan kandungan semen dari 150 hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> (Gambar 6.49). Pada masa perawatan 7 hari, peratus kenaikan sudut geser dalam komposit minimum berlaku pada rasio d/S 0.20 dengan kandungan semen 150 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 175 %. Pada masa perawatan 56 hari, rasio d/S hingga 0.71, bila kandungan semen bertambah hingga 300 kgPC/m<sup>3</sup> maka peratus pertambahan sudut geser dalam komposit akan maksimum dan bertambah hingga 2030 % ( Gambar 6.49).
16. Dari uji triaksial model kolom semen tanah didapatkan lengkung tegasan terikan dari setiap sampel dengan variasi rasio d/S, kandungan semen serta masa perawatan. Siap satu sampel dilakukan dengan tiga tegasan keliling yang berbeza, sehingga setiap lengkung dapat diperoleh modulus anjal (E). Modulus

anjalan yang diperolehi berupa modulus anjal initial komposit ( $E_{ic}$ ), modulus anjal sekan komposit ( $E_{sc}$ ),

17. Modulus anjal initial komposit ( $E_{ic}$ ) diperolehi dari garis kemiringan lengkung pada initial tegasan terikan, yang merupakan rasio antara tegasan dengan terikan saat semula tegasan berlaku. Manakala modulus anjal sekan komposit ( $E_{sc}$ ) adalah garis kemiringan lengkung yang diperolehi dari titik awal tegasan semula menuju tegasan maksimum pada lengkung, dan merupakan rasio antara tegasan maksimum dengan terikan saat tegasan maksimum berlaku. Modulus anjal initial komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan uji triaksial pada masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.50, 6.52, dan 6.54. Pada masa perawatan 7 hari dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus anjal initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $2778 \text{ N/m}^2$  menjadi sebesar  $7193 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau berlaku pertambahan sebesar 158.9%. Manakala pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus anjal initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $6587 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $25500 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau berlaku pertambahan sebesar 287.1 %. Sedangkan modulus anjal initial purata komposit kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.51, 6.53, dan 6.55. Pada masa perawatan 56 hari dengan kandungan semen  $150 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus anjal initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $7230 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $18406 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau berlaku pertambahan sebesar 154.6 %. Pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$ , modulus anjal initial komposit pada rasio 0.20 sebesar  $15839 \text{ kN/m}^2$  menjadi sebesar  $30307 \text{ kN/m}^2$  pada rasio d/S 0.71, atau berlaku pertambahan sebesar 91.34 %.
18. Modulus anjal sekan komposit dari semua sampel model kolom semen tanah dengan uji triaksial pada masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.56, 6.58, dan 6.60. Sedangkan modulus anjal sekan purata komposit kolom semen tanah dengan variasi rasio d/S dan kandungan semen, masa perawatan 7 hari, 28 hari, dan 56 hari ditampilkan pada Gambar 6.57, 6.58,

dan 6.61. Perawatan 56 hari pertambahan modulus anjal sekan komposit yang maksimum berlaku pada kandungan semen  $300 \text{ kgPC/m}^3$  pada rasio d/S 0.71.

### 8.3 Hasil Penelitian Korelasi Parameter Kekuatan Geser Komposit Dan Modulus Elastisitas Komposit

Hasil penelitian korelasi antara kekuatan geser komposit dan modulus elastisitas komposit dengan kekuatan geser dan modulus elastisitas semula lempung dapat dilihat sebagai berikut:

1. Di dalam rekabentuk timbunan yang memerlukan penambahbaikan menggunakan metoda kolom semen tanah, parameter yang diperlukan oleh mekanik lempung komposit adalah kekuatan geser komposit dan modulus elastisitas komposit. Magnitud kohesi komposit dan sudut geser dalam komposit serta modulus elastisitas komposit dapat dikira melalui metoda model sampel kolom semen tanah. Penulis telah berhasil mempropose korelasi parameter lempung lembut dengan parameter lempung komposit dalam kestabilan penambahbaikan cerun.
2. Kohesi komposit kolom semen tanah ( $c_{u \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio kohesi semen lempung ( $c_{u \text{ col}}$ ) dengan kohesi lempung lembut asal ( $c_{u \text{ soil}}$ ) untuk berbagai rasio d/S (Gambar 7.1). Semakin besar rasio d/S yang digunakan, serta semakin bertambahnya rasio kohesi semen lempung ( $c_{u \text{ col}}$ ) dengan kohesi lempung lembut asal ( $c_{u \text{ soil}}$ ), maka semakin besar nilai kohesi komposit kolom semen tanah. Sehingga untuk *design engineer*, untuk memperoleh kohesi komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio antara kohesi campuran lempung lembut semen dengan kohesi lempung lembut semua jadi dan rasio d/S yang akan digunakan, melalui persamaan pada Gambar 7.1.
3. Sudut geser dalam komposit kolom semen tanah ( $\phi_{u \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio sudut geser dalam semen lempung ( $\phi_{u \text{ col}}$ ) dengan sudut geser

dalam lempung lembut asal ( $\phi_{u \text{ soil}}$ ) melalui berbagai rasio  $d/S$  yang berbeda. Semakin besar rasio  $d/S$  yang digunakan, serta semakin bertambahnya rasio sudut geser dalam semen lempung ( $\phi_{u \text{ col}}$ ) dengan sudut geser dalam lempung lembut asal ( $\phi_{u \text{ soil}}$ ), maka semakin besar nilai sudut geser dalam komposit kolom semen tanah. Sehingga untuk *design engineer*, untuk memperoleh sudut geser dalam komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio antara sudut geser dalam campuran lempung lembut semen dengan sudut geser dalam lempung lembut semua jadi. Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio  $d/S$  yang akan digunakan, maka dapat ditentukan sudut geser dalam komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Gambar 7.2, atau dapat menggunakan Tabel 7.2.

4. Modulus elastisitas komposit dapat dibedakan melalui modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ) dan modulus elastisitas sekan komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ ). Perbezaan ini dilakukan karena di dalam analisis rekabentuk geoteknik ada kalanya diperlukan modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ) untuk analisis linear dengan tegangan rendah. Sedangkan untuk mendapatkan kapasitas disain menggunakan teori nonlinear diperlukan modulus elastisitas sekan komposit ( $E_{s \text{ comp}}$ ). Penulis telah berhasil mempropose persamaan korelasi perubahan modulus elastisitas komposit ( $E_{\text{comp}}$ ) kolom semen tanah terhadap rasio modulus elastisitas kolom-asal. Dimana rasio modulus elastisitas kolom-asal adalah rasio antara modulus elastisitas kolom semen ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus elastisitas asal lempung ( $E_{\text{soil}}$ ).
5. Penulis juga telah mengajukan koreksi untuk mendapatkan korelasi modulus elastisitas initial komposit ( $E_{i \text{ comp}}$ ). Modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah ( $E_{i \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio modulus elastisitas semen lempung ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus elastisitas lempung lembut asal ( $E_{\text{soil}}$ ) untuk berbagai rasio  $d/S$  (Gambar 7.3). Modulus elastisitas initial komposit akan meningkat dengan peningkatan rasio modulus elastisitas kolom ( $E_{\text{col}}$ ) dengan modulus semula tanah ( $E_{\text{soil}}$ ). Peningkatan ini juga terjadi dengan peningkatan rasio  $d/S$ . Sehingga untuk *design engineer*, untuk memperoleh modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah, perlu ditentukan dahulu rasio



modulus elastisitas kolom-asal. Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio  $d/S$  yang akan terjadi, maka dapat ditentukan modulus elastisitas initial komposit kolom semen tanah melalui persamaan pada Gambar 7.3.

6. Modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah ( $E_{s \text{ comp}}$ ) dapat ditentukan melalui rasio modulus elastisitas kolom-asal ( $E_{\text{col}}/E_{\text{soil}}$ ) dengan berbagai  $d/S$  (Gambar 7.4). Modulus elastisitas sekan initial komposit akan meningkat dengan peningkatan modulus elastisitas taing-asal ( $E_{\text{col}}/E_{\text{soil}}$ ). Peningkatan ini juga terjadi dengan peningkatan kepada rasio jarak  $d/S$ . Sehingga untuk *design engineer*, untuk memperoleh modulus elastisitas sekan komposit kolom semen tanah ( $E_{s \text{ comp}}$ ), perlu ditentukan dahulu rasio modulus elastisitas kolom-asal ( $E_{\text{col}}/E_{\text{soil}}$ ). Dengan menetapkan terlebih dahulu rasio  $d/S$  yang akan digunakan.

## REFERENSI

- Akinwumi I.I., A. I. (2015). Effect of Corncob ash on the geotechnical of Lateritic soil stabilized with Portlant sementInternational Journal of Geomatic and Geosciences . Volume 5, No. 3, 2015.
- Alatas I.M. (1991). Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen, . Thesis S2 Graduate, ITB, 1991 (Unpublished).

- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B. . (1992). Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Alatas I.M. (1991). Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen, Thesis S2 Graduate, ITB, 1991 (Unpublished).
- Amr A. Hemada, A. M. G. a. T. T. A.-F. (2021). Assessment of the Efficiency of Rigid Inclusions as a Settlement Control System – Case Study International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering ICASGE'21.
- Anand J. Puppala, R. S. M., and Soheil Nazarian. (2022). Full-Scale Field Studies to Evaluate Deep Soil Mixing in Stabilizing Expansive Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- ASTM D 422-72. (1989). Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. Annual Book for ASTM Standard.
- ASTM D 653-88. (1989). Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids. In Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM D 854-83. (1989). Test Method for Specific Gravity of Soils. In Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM D 2216-80. (1989). Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil Rock, and Soil-Aggregate Mistures. In Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM D 2435-04. (2011). Standard Test Methods for One-Dimensional Konsolidasi Properties of Soils Using Incremental Loading. American Standard for Testing Bahan.
- ASTM D 2850-87. (1989). Test Method for Unconsolidated Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression. In Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM D 4318-84. (1989). Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasicity Index of Soils. In Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM D 6528-17. (2017). Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils. American Standard for Testing Bahan.

- Atijit Sukponya, A. J. (2016). Large simple shear testing of soft Bangkok clay stabilized with soil–semen-columns and its application  
The Japanese Geotechnical Society. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.
- Bauer Pratama Indonesia PT, Promisco PT. (2016). Tinjauan Teknis Deep Soil Mixing (DSM) Pada Pembangunan Double Track KA Lintas Puwokerto-Kroya Final Project Report.
- Brian C. Metcalfe, P. E., Kord J. Wissmann, Ph.D., P.E., Stephen S. Weyda, P.E., and Bruce Bush. (2020). Ground Improvement for Foundation Support in Organic Soils Geo-Congress 2020 GSP 315.
- Buddhima Indraratna, J. C. (2005). Ground Improvement — Case Histories. ELSEVIER GEO-ENGINEERING BOOK SERIES ISIPADU 3.
- Chana Phutthananon, P. J., Sutee Nakin, Sompote Youwai, Mohammad Hajiaziz, Pitthaya Jamsawang. (2022). State parameter governing the mechanical properties of semen-treated clays. Marine Georesources & Geotechnology.
- Cheang W. (2013). Initial Stress and Phy-C Reduction Analysis. Computational Geotechnics Course (2D Plaxixs Course). Bandung-Indonesia, 9-11 December 2013.
- Damrizal Damoerin, W. A. P., Yunita Utami. (2015). IMPROVING SHEAR STRENGTH OF CLAY BY USING SEMEN COLUMN REINFORSEMEN UNDER CONSOLIDATED UNDRAINED TEST International Journal of Technology (2015) 4: 709-717 ISSN 2086-9614.
- E. Jampole, M. A., E. Miranda, M. ASCE, and G. Deierlein, F. ASCE. (2018). Effective Incremental Ground Velocity for Estimating the Peak Sliding Displasemen of Rigid Structures to Pulse-Like Earthquake Ground Motions J. Eng. Mech., 2018, 144(12): 04018113.
- Engineering Journal of the University of Qatar, Vol. 14,2001, pp 61-76. Sankar Bhattacharja, a. J. I. B. (2003). Comparative Performance of Portland Cement and Lime Stabilization of Moderate to High Plasticity Clay Soils Research and Development Bulletin RD125, Portland Cement Association PCA R&D Serial No. 2435 2003.

- Fangtong Wang, K. L., Yong Liu. (2022). Optimal water-semen ratio of semen-stabilized soil Construction and Building Bahans Isipadu 320, 21 February 2022, Elsevier.
- Guanbao Yea, Q. Z., Zhen Zhanga, Hongtao Chang. (2015). Centrifugal modeling of a composite foundation combined with soil–semen columns and prefabricated vertical drains. The Japanese Geotechnical Society. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.
- Heinz J. Priebe. (1995). The Design of Vibro Replasemen GROUND ENGINEERING, Technical paper GT 073-13 E.
- Ho D.Y.F, F. D. G. (1982). A Multistage Triaxial Test for Unsaturated Soil. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol.5 No.1/2, March/June 1982, pp 18-25.
- Hong-Son Nguyen, Y. A., Takuma Kizuki, Hiroyuki Maeba, Shinya Inazumi<sup>2</sup>. (2020). INTEGRATION OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICT) INTO SEMEN DEEP MIXING METHOD. International Journal of GEOMATE, Oct., 2020, Vol.19, Issue 74, pp.194–200 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.74.9329> Geotechnique, Construction Bahans and Environment.
- Hormdee D, K. N., Angsuwotai, P. (2012). Evaluation on The Results of Multistage Shear Test. Int. J. Of GEOMATE, March 2012, Vol.2, No.1, (SI No.3), PP.140-143.
- Huu-Dao Do, V.-N. P., Cao-Tho Phan, Anand Puppala, and Erwin Oh. (2020). Full-Scale Experimental Study on the Single and Group of Soil Semen Columns under Vertical Load Applying for Buildings Geotechnical Testing Journal, ASTM.
- I. Meepon, P. V. a. P. J. (2016). Behaviors of soil semen columns and stiffened soil semen column wall in shallow excavation Lowland Technology International 2016; 18 (3): 197-208 International Association of Lowland Technology (IALT): ISSN 1344-9656.

- Izabela Karpisz, J. P., Leszek Cichy and Dariusz Sobala. (2018). Study of the effect of semen amount on the soil-semen sample strength IOP Conf. Series: Bahans Science and Engineering 365 (2018).
- J. Wehr, M. T., and W. Sondermann. (2013). DESIGN RISKS OF GROUND IMPROVEMENT METHODS INCLUDING RIGID INCLUSIONS Geotechnical Society of Singapore (GeoSS). Published by Research Publishing. ISBN: 978-981-07-4948-4: doi:10.3850/978-981-07-4948-4 371.
- Jinchun Chai, J. C. (2012). Lateral displacements due to installation of soil-semen columns ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels 31 May & 1 June 2012.
- Khairun Nissa Mat Said, A. S. A. R., Ng Kok Shien and Nor Zurairahetty, Mohd Yunus. (2019). Load Transfer Mechanism of Group of Floating Soil-Semen Column In mproving Soft Ground IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 220 (2019) 012003.
- Klaudia Jendrysik1, M. K., and Hubert Szabowicz. (2018). Preliminary results of dry Deep Soil Mixing soil-semen composite testing MATEC Web of Conferences 251, 01025 (2018).
- L. Bałachowski and J. Konkol. (2021). Pore Water Pressure Development in Soft Soil due to Installation and Loading of Controlled Modulus Columns J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2021, 147(12): 06021014.
- Le Van Tuan, Y. Z., ShuXin Deng, Phung Vinh An, Ha Thanh Lan,. (2015). Numerical Analysis of the Influence of Replasemen Area Ratio in Foundation Reinforced with Soil Semen Columns EJGE, Vol. 20 [2015], Bund. 9.
- Li Liu, T. D., Yongfeng Deng, Liangtong Zhan, Suksun Horpibulsuk, Qiong Wang. (2022). Stabilization nature and unified strength characterization for semen-based stabilized soils Construction and Building Bahans, Isipadu 336, 20 June 2022, Elsevier.
- Liang Chern Chow, J. G. B., Alex Potter-Weight, and Andrew J. Eller;. (2020). An Overview of Performance Monitoring for Drilled Full Displasemen Type Rigid Inclusions under Highway Embankments Geo-Congress 2020 GSP 321.

- Liang Chern Chow, J. H., and Gregory R. Reuter,. (2020). Field Monitoring of Negative Skin Friction on Rigid Inclusion Columns under Embankment Geo-Congress 2020 GSP 315.
- M. Bouassida and J. P. Carter, M. A. (2014). Optimization of Design of Column-Reinforced Foundations. *Int. J. Geomech.*,
- M. Khosravi, M. P., A. Soroush, S. Zaregarizi , W. Y. Hung, A. Nabizadeh. (2020). DYNAMIC CENTRIFUGE TEST OF AN EMBANKMENT UNDERLAIN A LIQUIFIABLE SOIL AND ISOLATED SOIL-SEMEN COLUMNS 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020.
- Mark Bolton, J. N., Erwin Oh. (2015). Effect of Soil Semen Replasemen Ratio on Settlement Reduction *EJGE*, Vol. 20 [2015], Bund. 4.
- Mark Bolton, J. N., Erwin Oh. (2016). Effect of Semen Column Spacing And Replasemen Ratio on Embankment Bearing Capacity: A Queensland Case Study  
*International Journal of GEOMATE*, Oct., 2016, Vol. 11, Issue 26, pp. 2589-2594  
*Geotec., Const. Mat. & Env.*, ISSN: 2186-2982(Print), 2186-2990(Online), Japan. Minh Ngan Vu , Q. H. L. (2020). Large soil-semen column applications in Vietnam © Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020.
- Mustafa Fahmi Hasan, H. C. (2022). Physical-mechanical penilaiant of full scale soil semen column conctructed in clay soil. Case Studie in Construction Bahan 16 2022, journal homepag: [www.elsevier.com/locate/cscm](http://www.elsevier.com/locate/cscm).
- Nam S. (2011). Determination of the shear strength of unsaturated soils using the multistage direct shear test. *Engineering Geology* 122 (2011) 272–280.
- Natalia Zuievskaya, V. G., and Valentyn Korobiichuk. (2021). Modeling of the effect of a high-pressure jet of semen mortar on the surrounding soil environment when performing jet grouting columns using jet technology *E3S Web of Conferences* 280, 03001, ICSF 2021.
- Nguyen Thai Linh, M. D. N., Pham Hoang Kien. (2020). EXPERIMENTAL STUDY ON THE SETTLEMENT OF SOIL SEMEN COLUMN COMBINED HIGH

- STRENGTH GEOGRID *Transport and Communications Science Journal*, Vol 71, Issue 2 (02/2020), 101-112.
- Nguyen Thai Linh, N. D. M., Nguyen Hai Ha. (2021). ANALYSIS OF IMPACTING FACTORS FOR SOIL-SEMENT COLUMN COMBINED HIGH STRENGTH GEOGRID. *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 72, Issue 1 (01/2021), 9-15.
- Pengpeng Ni, Y. Y., Songyu Liu. (2019). Bearing capacity of composite ground with soil-ment columns under earth fills: Physical and numerical modeling Elsevier B.V. on behalf of The Japanese Geotechnical Society.
- Pham Van Ngoc, B. T., Jinsong Huang , Geserard Kelly. (2017). Long-term strength of soil-ment columns in coastal areas. Production and hosting by Elsevier B.V. on behalf of The Japanese Geotechnical Society.
- Plaxis. (2004). Finite Element Code for Soil and Rock Analyses.
- Prakash K. G, A. K. (2022). Stability of Embankment Constructed on Soft Soil Treated with Soil–Sement Columns. *Transportation Infrastructure Geotechnology* <https://doi.org/10.1007/s40515-022-00237-3>.
- Promisco PT, Bauer Pratama Indonesia PT, (2016). Document Review Design Deep Soil Mixing Jalur KA Purwokerto-Kroya Soil Investigation Report.
- Ramzi Taha, A. A.-R., Ali AI-Harthy, and Hilal AI-Siyabi. (2001). USE OF CEMENT BY-PASS DUST IN SOIL STABILIZATION
- Radoslaw L. Michalowski, F. A., Andrzej Wojtasik, Adam Duda, Antoni Florkiewicz, and Dowon Park, S.M.ASCE. (2018). Failure and Remedy of Column-Supported Embankment: Case Study. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 2018, 144(3): 05017008
- Raja S. Madhyannapu , A. J. P. (2015). “Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils” *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*
- Raju, V. R. (2015). Ground Improvement Techniques For Keretapi Embankments. Keller Grundbau GmbH, Technical paper 10-59E.
- Rui Rui, P. D., Jie Han, Ph.D., P.E., F.ASCE, S. J. M. van Eekelen, Ph.D., and Yi Wan. (2019). Experimental Investigation of Soil-Arching Development in

- Unreinforced and Geosynthetic-Reinforced Pile-Supported Embankments J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2019, 145(1): 04018103.
- Ryohei Ishikuraa, N. Y., Michael J. Brownb. (2016). An estimation method for predicting final konsolidasi settlement of ground improved by floating soil semen columns, The Japanese Geotechnical Society. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.
- S. Pongsivasathit, P. V. a. J. C. C. (2017). Settlement-time curve calculation of soil-semen column and slab improved soft clay deposit Lowland Technology International 2017; 19 (2): 99-110 International Association of Lowland Technology (IALT): ISSN 1344-9656.
- S.J.M. van Eekelen, A. B., A.F. van Tol. (2015). Validation of analytical models for the design of basal reinforced piled embankments Geotextiles and Geomembranes Isipadu 43, Issue 1, February 2015, Pages 56-81.
- Salisa Chaiyaput, N. A., Namthip Kingnoi, Trong Nghia-Nguyen, Jiratchaya Ayawanna. (2022). Effect of perawatan conditions on the strength of soil semen Case Studies in Construction Bahans, Isipadu 16, June 2022, Elsevier.
- Samuel Jonah Abbey, S. N., Barisua Ebenezer Ngekepe. (2015). Understanding the Performance Of Deep Mixed Column Improved Soils -A Review INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY (IJCIET), Isipadu 6, Issue 3, March (2015), pp. 97-117.
- Scuhanics B, D. A. (2013). Development of Automatic Control of Multi Stage Triaxial Test at The University of Miskolc. Geosciences and Engineering, Vol. 2, No. 3 (2013), pp. 37-43.
- Simon, B. (2012). General report S5 Rigid Inclusions and Stone Columns. ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels May 31st & June 1st 2012.
- Suthan Pooranampillai, P. D., Edmonton, Dominic Parmantier. Karen Dawson, P.E. and Seungcheol Shin. (2012). A CASE HISTORY ON THE DESIGN, CONSTRUCTION, AND FIELD QUALITY CONTROL OF SEMEN DEEP SOIL MIXING



- Thanakorn Chompoorat, T. T., Anupong Khamplod, Suched Likitlersuang. (2022). Improving mechanical properties and shrinkage cracking characteristics of soft clay in deep soil mixing. *Construction and Building Bahans*, Isipadu 316, 17 January 2022, 125858 Elsevier
- V. R. Raju, A. A., A. Arulgambar. (2010). Ground Treatment using Dry Deep Soil Mixing for a Keretapi Embankment in Malaysia Keller (M) Sdn. Bhd, Ranhill,.

# PROPOSAL

## I. JUDUL PENELITIAN :

**PARAMETER TANAH KOMPOSIT DARI MODEL KOLOM TANAH SEMEN  
PADA LAPISAN TANAH DASAR *DOUBLE TRACK* KERETA API DI ATAS  
TANAH LEMPUNG LUNAK**

## II. PERSONNAL

DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc (Team Leader- ISTN)  
Ir. Antonius Setiawan M.BA (Ph.D Candidate UTM- PT.BPI)  
Ir. Yuama I Basarah Ph.D (PT. BAUER Pratama Indonesia)  
Ir. Wawan Kusmaya MT (Dosen S-1- ISTN)  
Marco Ibrahim ST (Mahasiswa Magister Teknik Sipil ISTN)  
Randityo Suryoputro Widiutomo ST (PT. BAUER Pratama Indonesia)

## III. PERIODE PENELITIAN

1 November 2021 hingga 31 Maret 2023

## IV. BIAYA PENELITIAN

Rp. 110.000.000,- (Seratus sepuluh juta rupiah)

## V. LOKASI PENELITIAN

Jakarta dan Kroya (Jawa Tengah)

PT.BPI - PIHAK KEDUA



(Antonius Setiawan MBA)

Jakarta , Desember 2021

Team Teader a/n PIHAK PERTAMA



(DR. Ir. Idrus M Alatas M.Sc)

## BIAYA PENELITIAN

No	Kegiatan	Unit	Volume	Harga Satuan	Harga
I	PERSIAPAN				
	Pengadaan Steel Box Sampler	box	12	125,000	1,500,000
	Pengadaan Steel Cube Sampler	spl	180	25,000	4,500,000
	Pengadaan Terpal Tenda	unit	1	250,000	250,000
	Pengadaan Cube soil Cement	set	1	400,000	400,000
	Pengadaan Alat Tulis- Kertas	ls	1	200,000	200,000
	Pengadaan Wooden Box Sample	table	3	350,000	1,050,000
					-
II	SITE SURVEY Kroya I				-
	Sewa Mobil Box	hr	6	400,000	2,400,000
	Bensin dan Tol	ls	1	1,200,000	1,200,000
	Operator CPT	md	6	200,000	1,200,000
	Operator Test Pit	md	6	250,000	1,500,000
	Sewa Mesh	ls	1	2,000,000	2,000,000
	Pengujian Shallow Bor	ttk	2	600,000	1,200,000
	UDS Sampline	tb	4	250,000	1,000,000
	Akomodasi	ls	1	4,000,000	4,000,000
					-
III	Laboratorium Testing I				-
	Test Properties Lengkap	tb	4	750,000	3,000,000
	Triaxial SCC Sample Model	test	180	150,000	27,000,000
	Diect Shear Sample Model	test	180	100,000	18,000,000
					-
IV	SITE Investigation ke-2				-
	Bor Dalam @ 10 meter	m	5	400,000	2,000,000
	SPT @ 1 m	test	50	150,000	7,500,000
	UDS Sampling @ 1 m	tb	50	200,000	10,000,000
	Sewa Kendaraan	ls	1	2,000,000	2,000,000
	Akomodasi	ls	1	4,000,000	4,000,000
V	Olah Data				
	Triaxial SCC Sample Model	test	50	50,000	2,500,000
	Diect Shear Sample Model	test	50	50,000	2,500,000
VI	Biaya Jurnal International Q-4 Scopus	ls	1	9,100,000	9,100,000
	<b>TOTAL BIAYA</b>			<b>Rp</b>	<b>110,000,000</b>