

Perilaku *Settlement* Fondasi Tiang Beton Prategang yang Diinstalasi dengan Metode *Deep Soil Cement Mixing* dan Posisi Ujung Bawah Tiang Melayang di Atas Dasar Lubang

Masyhur Irsyam, Erza Rismantojo, Andhika Sahadewa, Abdi Pasya R.B.
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung

ABSTRAK: Metode *Deep Soil - Cement Mixing for precast pile* (DSCM-Pile) adalah suatu metode instalasi fondasi tiang beton prategang dengan cara melakukan kombinasi antara proses *pre-drilling* dan *soil-cement mixing*, sebelum proses instalasi fondasi tiang. Pada penelitian ini digunakan diameter *pre-drilling* sebesar 750 mm dengan posisi dasar lubang bor pada tanah keras, *spun pile* diameter 500 mm dan ujung bawah tiang diposisikan melayang setinggi 1,5 m dari dasar lubang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku fondasi DSCM-pile yang dibebani arah aksial tekan dengan mempelajari *interface* antara tanah – *soil-cement mixture* (SCM), *interface* antara *soil-cement mixture* (SCM) – tiang dan perilaku ujung bawah tiang yang duduk pada *soil-cement mixture*. Untuk keperluan penelitian ini dilakukan uji pembebanan statik aksial tekan tiang, procedure A: *Quick Load Test* yang dilengkapi dengan pemasangan instrumen *strain gauge* dan *telltale* di dalam badan tiang dan *soil-cement mixture*. sedangkan pada tanah dipasang alat *spider magnetic extensometer*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa deformasi dominan terjadi pada *interface* tiang - SCM dan terjadi pergerakan ke arah atas pada material SCM yang berada di sisi luar dinding *spun pile*. Pergerakan ke arah atas tersebut terjadi akibat desakan dari sebagian material SCM di bawah ujung tiang yang memampat akibat beban uji, dan posisinya yang diselimuti oleh tanah keras. Hasil dari pemodelan metode elemen hingga menunjukkan bahwa akibat dari pergerakan ke atas SCM tersebut menurunkan kapasitas daya dukung selimut tiang.

Kata Kunci: DSCM-Pile, daya dukung, end-bearing, friction, interface

ABSTRACT: The *Deep Soil - Cement Mixing for precast pile* (DSCM-Pile) method is a method of installing prestressed concrete pile foundations by combining the *pre-drilling* and *soil-cement mixing* processes, before pile foundation installation process. In this study, a *pre-drilling* diameter of 750 mm was used with the base of the drill hole on hard soil position, a *spun pile* diameter of 500 mm was used and the bottom end of the pile positioned floating 1.5 m from the base. The purpose of this research was to study the behaviour of the DSCM-Pile foundation that are loaded in the axial compression direction by studying the interface between “soil – *soil-cement mixture* (SCM)”, interface between the *soil-cement mixture* (SCM) – pile and the behavior of the pile tip which was sat on the *soil-cement mixture*. For the purposes of this research, a pile compression axial static loading test was carried out, procedure A: *Quick Load Test* with inside the pile and the *soil-cement mixture* was installed with the *strain gauge* and the *telltale* instruments, while on soil, a *spider magnetic extensometer* was installed. The results of this study indicated that the dominant deformation occurred at the pile - SCM interface and there was an upward movement of the SCM material at the outside position of the *spun pile* wall. The upward movement occurred due to the pressure of some of the SCM material below the pile tip which was compressed by the test load and its position is covered by hard soil. The results of the finite element method modeling show that the upward movement of the *soil-cement mixture* will reduce the friction capacity of pile.

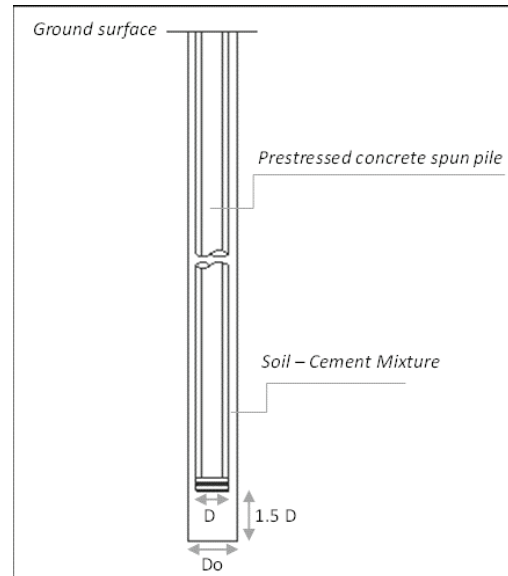
Keywords: DSCM-Pile, bearing capacity, end-bearing, friction, interface

1 PENDAHULUAN

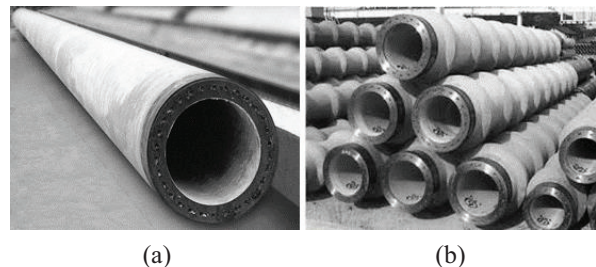
Dewasa ini perkembangan teknologi beton pracetak di Indonesia cukup pesat, termasuk salah satunya adalah fondasi tiang yang dibuat dengan teknologi beton pracetak prategang (*precast prestressed concrete*). Fondasi tiang beton pracetak prategang menjadi favorit karena fondasi tersebut dibuat secara fabrikasi sehingga stok material dan perakitan tulangan tidak membutuhkan lahan khusus di proyek, seperti halnya pada proses pembuatan fondasi beton cast in site. Keunggulan lainnya adalah mutu fondasi lebih terjamin karena mudahnya sistem pengontrolan material dan pengawasan proses produksi dari awal hingga akhirnya fondasi beton pracetak prategang tersebut cukup umur untuk dikirim dengan aman ke lokasi proyek. Bentuk penampang fondasi tiang beton pracetak dapat dibuat beragam, seperti: segitiga masif, bujursangkar masif, dan bulat berongga (*prestressed concrete spun pile*). Khusus *prestressed concrete spun pile*, dengan penampang yang berongga, maka volume beton yang digunakan menjadi lebih efisien dibandingkan dengan fondasi beton pracetak lainnya dengan penampang masif.

Metode instalasi *Deep Soil Cement Mixing Pile* (DSCM-Pile) adalah salah satu solusi untuk proyek-proyek yang mensyaratkan penggunaan fondasi tiang pracetak tetapi pada saat proses instalasi tiang, tidak boleh terjadi getaran dan kebisingan. DSCM-Pile adalah metode instalasi *prestressed concrete spun pile* dengan cara melakukan kombinasi antara proses *pre-drilling* dengan rasio antara diameter bor terhadap diameter tiang berkisar 1,2 s/d 1,5 dan proses *soil cement mixing* sebelum fondasi tiang dimasukkan ke dalam lubang bor, Gbr. 1. Proses *pre-drilling*, bertujuan untuk menggemburkan tanah (tidak dikeluarkan / dibuang) dan proses *soil cement mixing* adalah suatu metode stabilisasi tanah sehingga setelah tiang dimasukkan ke dalam lubang, tanah yang telah digemburkan tersebut akan menjadi padat dan keras seiring proses hidrasi semen. ujung bawah tiang diposisikan menggantung 1.5 dari diameter tiang dari dasar lubang. Jenis *prestressed concrete spun pile* yang digunakan pada metode ini adalah *straight spun pile* dan *nodular spun pile*, Gbr. 2.

Di Jepang sistem fondasi yang diinstalasi dengan metode ini disebut *Hyper-straight pile* dan ada beberapa negara lain yang juga menggunakan sistem fondasi ini dengan nama dan sebutan yang berbeda.



Gbr. 1. DSCM pile.



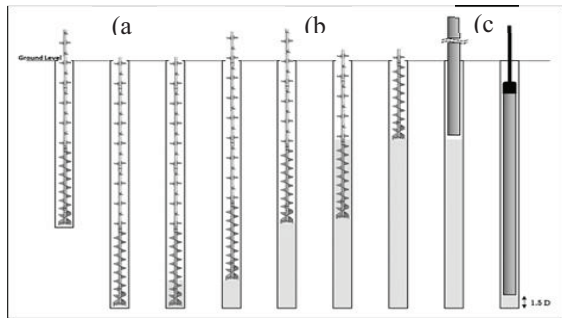
Gbr. 2. Prestressed Concrete Spun Pile. (a) Straight Spun Pile (b) Nodular Spun Pile.

2 METODE INSTALASI DSCM-PILE

Detail tahapan-tahapan instalasi DSCM-Pile adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penghancuran tanah di dalam lubang hingga kedalaman rencana, dengan menggunakan batang bor yang terdiri dari screw auger pada posisi ujung dengan panjang ± 2.5 m dan di atasnya terdapat batang – batang pengaduk, Gbr. 3(a).
2. Sambil menarik kembali batang bor ke atas, dilakukan penyemprotan pasta air-semen sambil dilakukan pengadukan (batang bor berputar sambil naik turun) dengan tanah yang telah digemburkan, Gbr. 3(b).
3. Proses memasukkan *spun pile* dilakukan dengan cara membebani *spun pile* dengan beban mesin bor instalasi, sehingga tiang akan turun menembus pasta *soil – cement mixture* (SCM) yang terisi di dalam lubang hingga mencapai kedalaman yang telah direncanakan. Apabila terdapat penghalang, *spun pile* diturunkan sambil

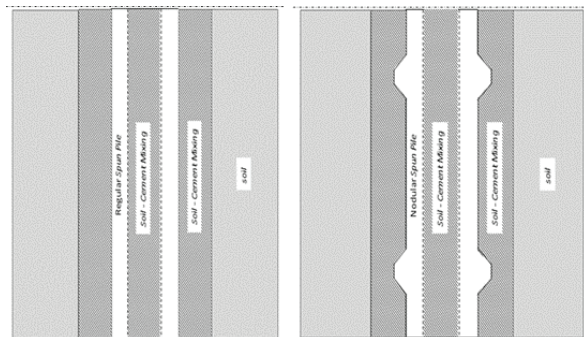
diputar secara perlahan untuk membantu merusak penghalang tersebut, Gbr. 3(c).



Gbr. 3. Metode Instalasi DSCM Pile.

3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari mekanisme daya dukung DSCM-Pile pada kondisi tanah kohesif dengan cara meneliti secara detail mengenai perilaku 2 (dua) layer *interface* yang terdapat pada sistem fondasi ini, Gbr. 4, yaitu *interface pile – SCM*, *interface SCM – tanah* dan perilaku material SCM di bawah ujung tiang yang diposisikan melayang setinggi 1.5 kali diameter *spun pile* dari dasar lubang bor.



Gbr. 4. Interface DSCM Pile.

Sementara ini, perhitungan kapasitas daya dukung DSCM-Pile mengacu pada fondasi *Hyper-straight*, yang tertera di dalam peraturan *Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Notification No. 1113, No. 6, No. 1, Japan (2001)*.

Persamaan daya dukung empiris fondasi *Hyper-straight* tersebut adalah:

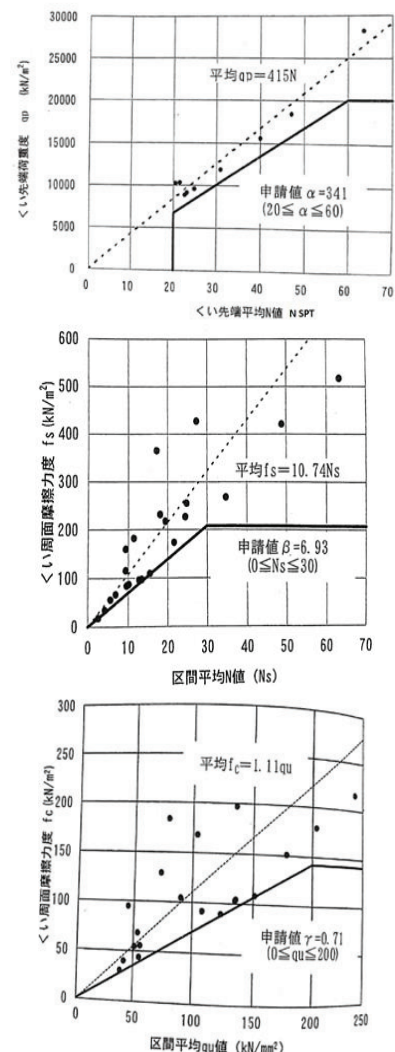
1. Tanah kohesif

$$R_u = \alpha \cdot N_{avep} \cdot A_p + \gamma \cdot q_{ave_s} \cdot A_s \text{ (kN)} \quad (1)$$

2. Tanah non-kohesif

$$R_u = \alpha \cdot N_{avep} \cdot A_p + \beta \cdot N_{ave_s} \cdot A_s \text{ (kN)} \quad (2)$$

dimana A adalah luas ujung *spun pile* = $0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \text{ (m}^2\text{)}$, A_s adalah luas selimut *spun pile* = $\pi \cdot D \cdot L_e \text{ (m}^2\text{)}$, α adalah koefisien daya dukung ujung tiang, Gbr. 5 (a), β adalah koefisien daya dukung selimut tiang untuk tanah non-kohesif, Gbr. 5 (b), γ adalah koefisien daya dukung selimut tiang untuk tanah kohesif, Gbr. 5 (c), D adalah diameter luar *spun pile* (m), L_e adalah panjang *spun pile* yang tertanam (m), q_u adalah kuat tekan tanah tak terkekang / *unconfined compression test* (kN/m²), L_e adalah panjang *spun pile* yang tertanam (m) dan N adalah *Standard Penetration Test value*.



Gbr. 5. Koefisien α , β dan γ Daya Dukung Fondasi *Hyper-straight*.

Persamaan daya dukung empiris tersebut belum tentu cocok jika langsung diaplikasikan untuk kondisi tanah di Indonesia.

4 KONDISI GEOLOGI

Survey geologi dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi tanah di lokasi pengujian.

Tabel 1. Tipikal Kondisi Tanah di Lokasi Penelitian.

Depth (m)	Soil Description	N-SPT Value Average
0 - 8.6	Stiff brown and yellow clay	11
8.6 - 9.6	Very stiff brown clay	32
9.6 - 11	Brown tuff and gravel	40
11 - 12	Hard grey sandy clay	41
12 - 13	Grey clayey tuff	23
13 - 15	Medium dense clayey sand	61
15 - 17	Very dense grey clayey sand	100
17 - 20	Grey claystone	76
20 - 21	Hard grey sandy clay with gravel	89
21 - 24	Very stiff grey sandy clay	33

5 MATERIAL SOIL-CEMENT MIXTURE (SCM)

Komposisi SCM adalah ± 400 liter pasta air semen dengan water-cement ratio (w/c) = 0,6 untuk volume 1 m³ tanah.

Kekuatan SCM didapat dari hasil uji *Unconfined Compression Strength* (UCS) dengan cara membuat kolom SCM sedalam rencana fondasi tiang dengan masa perawatan 28 hari. Pengambilan sampel untuk uji UCS tersebut dilakukan dengan cara *drill core sampling* sesuai kedalaman-kedalaman yang ditentukan.

Tabel 2. Kuat Tekan *Soil-Cement Mixture* (SCM).

No.	Depth (m)	γ (kN/m ³)	q_u (kN/m ²)	c_u (kN/m ²)
1	4 - 5	11,20	4413	2206
2	7 - 8	12,20	2452	1226
3	9 - 10	13,10	4413	2206
4	13 - 14	12,80	2354	1177
5	14 - 15	15,50	2844	1422

6 FONDASI TIANG DAN PENGUJIAN

Penelitian ini dilakukan secara *fullscale test*, dengan melakukan uji pembebanan statik aksial tekan fondasi tiang yang mengacu pada standar ASTM D1143 / D1143 M, Prosedur A yaitu *Quick Load Test* (QL) dengan kriteria maksimum penurunan kepala tiang sebesar

15 % dari diameter tiang = 75 mm dan pengujian dilakukan minimal 28 hari setelah pelaksanaan instalasi fondasi.

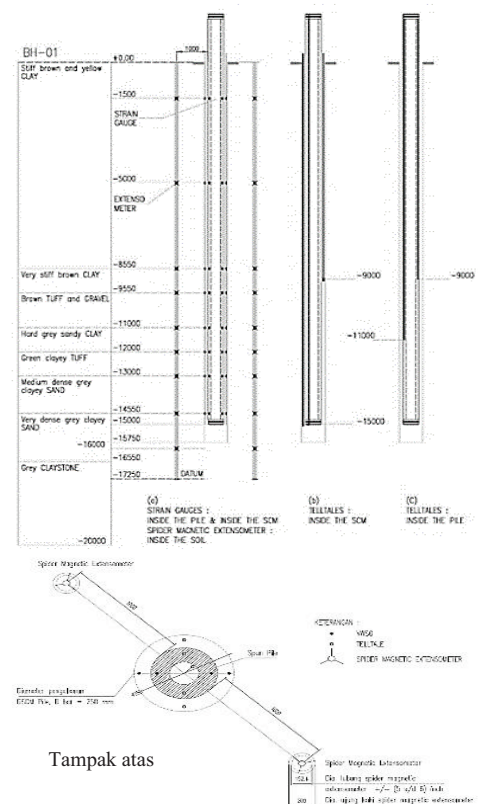
Jenis fondasi tiang pracetak yang digunakan adalah *prestressed concrete straight spun pile* dengan spesifikasi :

- Diameter luar = 500 mm
- Tebal = 90 mm
- Panjang tiang tertanam = 15 m dan
- Kuat tekan silinder beton umur 28 hari, $f'_c = 62$ MPa.

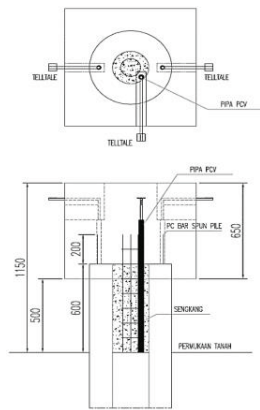
Instrumen pendukung uji pembebanan berupa :

1. *Strain gauges*, dipasang di dalam tiang dan di dalam *soil – cement mixture*.
2. *Telltale*, dipasang di dalam tiang, di dalam *soil – cement mixture* dan di ujung bawah tiang.
3. *spider magnetic extensometer*, dipasang di dalam tanah

Posisi dan jumlah pemasangan instrumen pendukung tersebut disesuaikan dengan jenis tanah, batas lapisan tanah dan posisi muka air tanah.



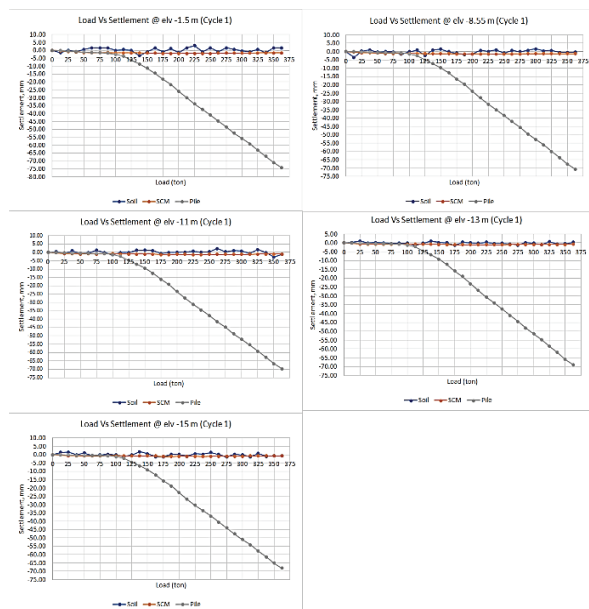
Gbr. 6. Posisi Pemasangan Peralatan Pembacaan Data Uji Pembebanan.



Gbr. 7. Detail *Pile Cap* (Dimensi dalam mm).

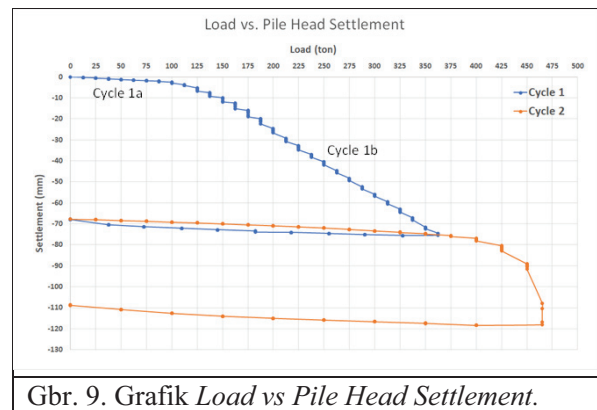
7 DEFORMASI PADA INTERFACE DSCM-PILE

Setelah beban uji 100 ton, deformasi hanya terjadi pada *interface pile – SCM*. Hal ini karena modulus elastisitas material SCM di bawah ujung *spun pile* ($9,81E4 \text{ kN/m}^2$) lebih kecil dari modulus elastisitas tanah keras ($1,2E5 \text{ kN/m}^2$) yang menyelubungi SCM tersebut, sehingga material SCM di bawah ujung *spun pile* mengalami *settlement* akibat beban uji yang ditrasfer ke bawah melalui *spun pile*, Gbr. 8.



Gbr. 8. Grafik Perbandingan Deformasi yang Terjadi pada *Spun Pile*, SCM dan Tanah.

8 LOAD VS PILE HEAD SETTLEMENT



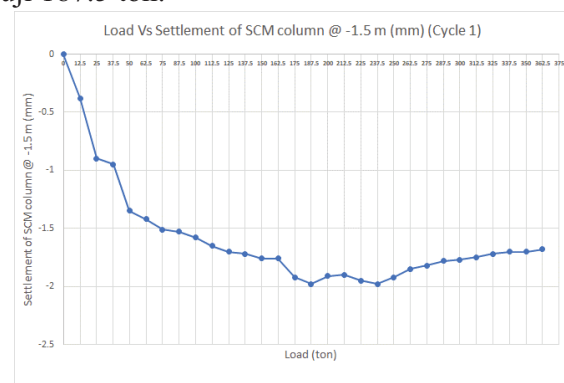
Gbr. 9. Grafik *Load vs Pile Head Settlement*.

Pada grafik *load vs pile head settlement*, tahap *cycle 1*, penurunan kepala tiang akibat pembebanan uji terjadi secara *linear-elastic*.

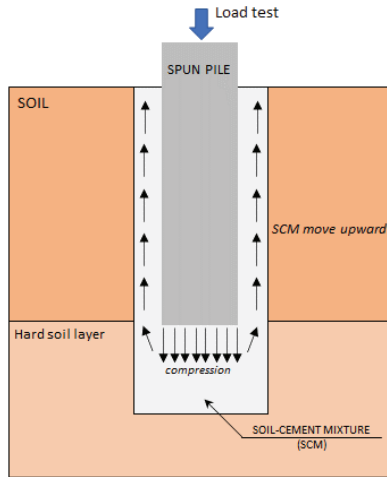
Fenomena unik pada *cycle 1* adalah *elastic settlement* terjadi dua tahap dengan interval penurunan yang berbeda, yaitu *cycle 1a*, pada tahap pembebanan 0 – 125 ton dan *cycle 1b*, pada tahap pembebanan 125 – 362.5 ton. Interval *penurunan* yang terjadi tahap *cycle 1a* lebih kecil dari tahap *cycle 1b*.

Fenomena tersebut terjadi karena material SCM di bawah ujung *spun pile* mengalami *settlement* dan posisinya yang diselubungi oleh tanah keras, menyebabkan sebagian material SCM bergerak ke atas dan mendesak material SCM pada sisi luar dinding fondasi tiang, sehingga menurunkan kapasitas tegangan geser *interface pile – SCM*.

Hasil pembacaan Telltale, Pergerakan material SCM ke atas mulai terjadi pada beban uji 187.5 ton.



Gbr. 10. Grafik *Load Vs Settlement of SCM column @ -1.5 m (Cycle 1)*.



Gbr. 11. Ilustrasi Pergeseran SCM di Sisi Fondasi Tiang.

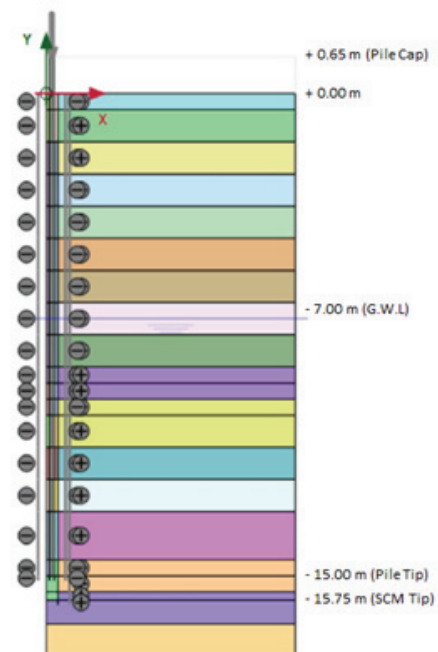
Pada saat beban uji mencapai 362,5 ton, *settlement* pada kepala tiang mencapai persyaratan deformasi yang ditetapkan, yaitu 15% dari diameter tiang = 75 mm. Karena pada tahap *cycle 1*, penurunan yang terjadi masih elastis, maka dilakukan *release* beban dan dilakukan pembebanan kembali pada tahap *cycle 2*, agar diketahui pola dan perilaku keruntuhan yang terjadi.

Pada *cycle 2*, tahap pembebanan 0 – 400 ton, perilaku penurunan kepala tiang terhadap pembebanan adalah *linear-elastic*. Setelah pembebanan dilanjutkan hingga dicapai beban maksimum keruntuhan, yaitu sebesar 465 ton, perilaku penurunan kepala tiang terhadap pembebanan adalah *elastoplastic*.

9 ANALISA HASIL PENGUJIAN

Perilaku interaksi antara *pile* – SCM dan SCM – tanah hasil dari uji pembebanan, dianalisis dengan metode elemen hingga menggunakan program komputer PLAXIS[®].

Struktur DSCM-Pile dimodelkan *axisymmetry* dengan jumlah elemen sebanyak 15 nodal. *Interface* dipasang di antara *pile* – SCM dan SCM – tanah. Model material yang digunakan untuk tanah dan SCM adalah *Mohr – Coulomb* sedangkan struktur fondasi DSCM-Pile dimodelkan *linear elastic*. Posisi muka air tanah rata-rata dari hasil pengukuran di lapangan pada kedalaman ± 7 m dari permukaan tanah asli.



Gbr. 12. Pemodelan Metode Elemen Hingga.

Tabel 3. Parameter Tanah.

Depth (m)	Soil Description	Nvalue ave	c_u kN/m ²	ϕ degree	c' kN/m ²	ϕ' degree	μ	E' kN/m ²
0 - 8.6	Stiff brown and yellow clay	11	67	0	1,1	21	0,3	2,3E+04
8.6 - 9.6	Very stiff brown clay	32	192	0	3,2	30	0,3	5,0E+04
9.6 - 11	Brown tuff and gravel	40	0	43	0	43	0,3	2,6E+04
11 - 12	Hard grey sandy clay	41	243	0	4,1	30	0,3	1,0E+05
12 - 13	Grey clayey tuff	23	138	0	2,3	30	0,3	5,0E+04
13 - 15	Medium dense clayey sand	61	0	48	0	48	0,3	8,0E+04
15 - 17	Very dense grey clayey sand	100	0	59	0	59	0,3	1,0E+05
17 - 20	Grey claystone	76	450	0	8	30	0,3	1,0E+05
20 - 21	Hard grey sandy clay with gravel	89	532	0	8,9	30	0,3	1,0E+05
21 - 24	Very stiff grey sandy clay	33	199	0	3	30	0,3	6,7E+04

Tabel 4. Parameter *Soil-cement Mixture* (SCM).

Depth (m)	Soil Desc.	c_u (kN/m ²)	ϕ degree	μ	E' kN/m ²
0 - 1.5	SCM 1	1880	0	0,3	3,3E+05
1.5 - 9	SCM 2	1880	0	0,3	3,3E+05
9 - 10	SCM 3	1880	0	0,3	3,3E+05
10 - 11	SCM 4	1880	0	0,3	3,3E+05
11 - 12	SCM 5	1880	0	0,3	3,3E+05
12 - 13	SCM 6	1880	0	0,3	3,3E+05
13 - 14	SCM 7	1177	0	0,3	1,3E+05
14 - 15	SCM 8	1422	0	0,3	8,5E+04

Parameter R-inter (*strength reduction factor*) pada *interface* SCM – tanah digunakan acuan fondasi *bore pile*, sesuai referensi dari Xu et al. (2002) dan J.J Zhou (2015).

Pada tahap *cycle 1a*, untuk acuan awal perhitungan, nilai R-inter *interface pile* – SCM yang diinput adalah 0.65. Nilai tersebut merujuk dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Wu (2008) mengenai *strength reduction factor* pada interaksi *pile* – SCM. Sedangkan pada *cycle 1b*, parameter R-inter *interface pile* – SCM pada posisi dinding luar fondasi tiang, dihitung dari perbandingan tegangan geser *interface* termobilisasi dari hasil pengujian terhadap kuat geser batas SCM, Brinkgreve & Broere (2006).

Analisa dilakukan dengan cara melakukan penyesuaian nilai R-inter *interface pile* – SCM pada posisi dinding luar fondasi tiang hingga didapat bentuk kurva *load vs pile head settlement* yang mirip dengan kurva hasil pengujian.

10 HASIL PEMODELAN

Nilai R-inter *interface pile* – SCM yang sesuai pada tahap *cycle 1a* adalah 0.55.

Pada tahap *cycle 1b*, terjadi penurunan nilai R-inter *interface pile* – SCM pada sisi luar dinding fondasi tiang. Kemudian nilai R-inter tersebut meningkat kembali secara linier hingga akhir tahap *cycle 1b*, namun nilainya tidak kembali seperti semula. Peningkatan kembali nilai R-inter tersebut karena terjadi pemadatan material SCM pada posisi dinding luar fondasi tiang akibat desakan dari material SCM yang memampat di bawah ujung tiang, Gbr. 12 dan Gbr. 13.

Apabila fenomena penurunan nilai R-inter seperti pada tahap *cycle 1b* tidak terjadi, maka performa tiang akan menjadi lebih baik. Nilai R-inter yang sesuai kondisi tersebut adalah 0.55. Sebagai ilustrasi dari Gbr. 12, pada kondisi terjadi penurunan nilai R-inter, *pile head settlement* sebesar 25 mm terjadi pada beban uji 200 ton. Sedangkan apabila diasumsikan tidak terjadi penurunan nilai R-inter, *pile head settlement* sebesar 25 mm terjadi pada beban uji 287.5 ton, Gbr. 12.

Tabel 5. Parameter R-inter.

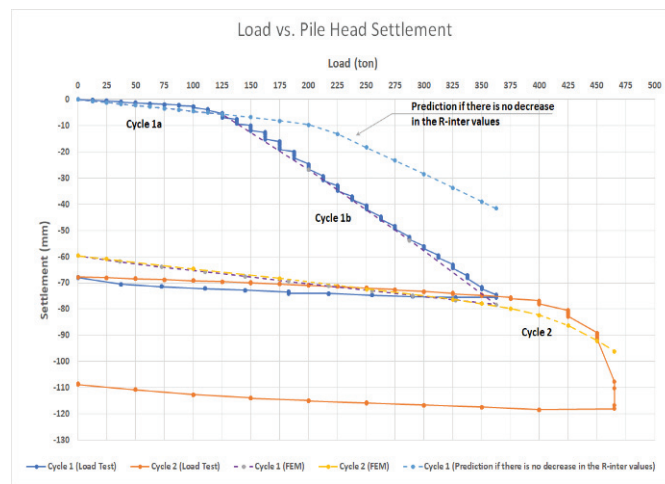
Depth (m)	Code	c_u kN/m ²	Cycle 1 b		R-inter	
			t_{max} ton/m ²	t_{max} kN/m ²	(t_{max}/C_u)	Average
0 - 1.5	SCM 1	1879,5	3,000	29,430	0,016	0,018
1.5 - 9	SCM 2		2,900	38,259	0,020	
9 - 10	SCM 3		9,800	96,138	0,051	
10 - 11	SCM 4		6,800	66,708	0,035	
11 - 12	SCM 5		5,000	49,050	0,026	
12 - 13	SCM 6	1170,0	1,400	13,734	0,007	0,007
13 - 14	SCM 7		1,400	13,734	0,012	
14 - 15	SCM 8		1,400	13,734	0,010	
14 - 15	SCM 8*	961,2				0,010

* = below the pile tip

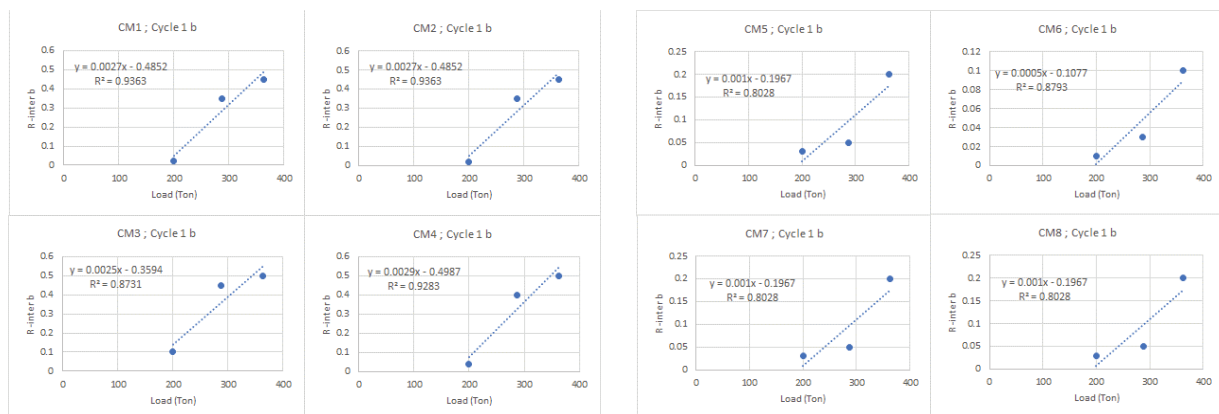
Tabel 6. R-inter Hasil Pemodelan.

Desc.	Load Test (Ton)										
	Cycle 1 a				Cycle 1 b				Cycle 2		
	0 - 125		200		287,5		352,5		0 - 465		
	R-inter a	FEM R-inter b	R-inter a	FEM R-inter b	Test R-inter b	R-inter a	FEM R-inter b	R- inter a	FEM R-inter b	R-inter a	FEM R-inter b
SCM 1	0,55	0,55	0,55	0,02	0,018	0,55	0,35	0,55	0,45	0,55	0,20
SCM 2	0,55	0,55	0,55	0,02	0,018	0,55	0,35	0,55	0,45	0,55	0,20
SCM 3	0,55	0,55	0,55	0,10	0,051	0,55	0,45	0,55	0,50	0,55	0,40
SCM 4	0,55	0,55	0,55	0,04	0,035	0,55	0,40	0,55	0,50	0,55	0,30
SCM 5	0,55	0,55	0,55	0,03	0,026	0,55	0,05	0,55	0,20	0,55	0,05
SCM 6	0,55	0,55	0,55	0,01	0,007	0,55	0,03	0,55	0,10	0,55	0,03
SCM 7	0,55	0,55	0,55	0,03	0,012	0,55	0,05	0,55	0,20	0,55	0,05
SCM 8	0,55	0,55	0,55	0,03	0,010	0,55	0,05	0,55	0,20	0,55	0,05

Note: *R-inter a* = Interface antara pile - SCM di dalam rongga tiang.
R-inter b = Interface antara pile - SCM di luar rongga tiang.



Gbr. 12. Grafik Load vs Pile Head Settlement Hasil Pemodelan.



Gbr. 13. Grafik Peningkatan Nilai R-inter pada Tahap Cycle 1b.

11 KESIMPULAN

Deep Soil Cement Mixing Pile (DSCM-Pile) adalah salah satu solusi sistem fondasi untuk proyek-proyek yang mensyaratkan penggunaan fondasi tiang pracetak tetapi pada saat proses instalasi tiang, tidak boleh terjadi getaran dan kebisingan.

Sistem fondasi DSCM-Pile tergantung dari kekuatan *soil – cement mixture* (SCM), cara meletakkan ujung bawah fondasi tiang dan kondisi tanah di ujung bawah fondasi tiang.

Agar didapat kapasitas daya dukung sistem fondasi DSCM-Pile yang akurat, maka perlu dilakukan uji pembebanan aksial tiang hingga mencapai terjadi keruntuhan.

Grafik *load vs pile head settlement* dari hasil uji pembebanan statik aksial tekan sistem fondasi DSCM-Pile pada kondisi tanah kohesif dengan posisi ujung tiang melayang setinggi 1.5 dari diameter tiang, perilaku *settlement* yang terjadi adalah elastis hingga maksimum *settlement* sebesar 15% dari diameter tiang = 75 mm tercapai. Pada kondisi ini, kapasitas daya dukung fondasi tiang dapat secara langsung ditentukan dari beban - beban pada grafik tersebut yang disesuaikan dengan *settlement* ijin yang disyaratkan.

Pada kasus tanah kohesif seperti pada lokasi penelitian, daya dukung DSCM-Pile dapat ditingkatkan dengan cara meletakkan ujung bawah fondasi pada tanah keras atau alternatif lain dengan menggunakan *nodular pile*.

Sirip – sirip pada *nodular pile* dapat meningkatkan tahanan geser selimut fondasi tiang dan juga berfungsi sebagai penahan pergerakan material SCM di sisi luar dinding fondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Hyper-straight Method. 2014. Authorization of Minister of Land, Infrastructure and Transport.
- Park, Jong-Jeon, Jung, Gyung-Ja, Wang, Jeong, Sang-Seom. 2017. The Analysis of Skin Friction on Small-scale Prebored and Precast Piles Considering Cement Milk Influence. *Journal of the Korean Geotechnical Society* Vol.33(1):5-15.
- Jung, Gyoung-Ja, Lee, Chul-Ju, Kim, Do-Hyun, Jeong, Sang-Seom. 2017. Analysis of Skin Friction Behavior in Prebored and Precast Piles Based on Field Loading Test. *Journal of the Korean Geotechnical Society* Vol.33(1):31-38.
- Ogura, Hitoshi, Kazu, K., Goro, Komatsu, Hiroshi, Now, Odawara, Masaaki, Kei, Sato dan Kazuhiko, Funada. 2017. Vertical Bearing Capacity and Pull-Out Resistance of Precast Pile Installed by MAGNUM-Basic Method (Enlarged and Solidified Prebored Piling Method. GBRC Vol. 42(1) 2017.1.
- Zai, Xu You, Yabuuchi, S. 1991. Bearing Capacity of Precast Nodular Piles in Tianjin Soft Clay Soil. 4th *International DFI Conference*. Rotterdam: Balkema.
- Kobayashi, K., Ogura, H. 2007. Vertical Bearing Capacity of Bored Pre-cast Pile with Enlarged Base Considering Diameter of The Enlarged Excavation Around Pile Toe. *Advances in Deep Foundations-Kikuchi, Otani, Kimura & Morikawa (eds)*. London: Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-43629-8.

