

ISBN 978-602-71762-4-9

# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016

### HATTI Yogyakarta

Yogyakarta, Indonesia  
11 Agustus 2016

Editor : Fikri Faris  
Agus Darmawan Adi  
Devi Oktaviana Latief  
Willis Diana



**Perkembangan Ilmu dan Teknologi  
Bidang Geoteknik pada  
Pembangunan yang Berwawasan Lingkungan**



Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia - HATTI  
*Indonesia Society For Geotechnical Engineering - ISGE*

PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016

**Editor**

Fikri Faris

Agus Darmawan Adi

Devi Oktaviana Latief

Wilis Diana

**Reviewer**

Prof. Hary Christady Hardiyatmo

Muhammad Yamin

Devi Oktaviana Latief

Wilis Diana

Indriati M. Patuti

I Nengah Sinarta

Adzoki Waruwu

Muhajirah

Sriyati Ramadhani

ISBN 978-602-71762-4-9

**Penerbit:**



Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan  
Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55284  
Tel. (0274) 545675



Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia  
Basement Aldevco Octagon  
Jl. Warung Jati Barat Raya No. 75  
Jakarta 12740 Tel. (021) 7981966



## Experimental Study on Impact Forces of Submarine Landslide on

### DAFTAR ISI

Halaman Judul

Kata Pengantar

Experimental study on impact forces of submarine landslide on cables ( <i>Fawu Wang, Zili Dai, Tomokazu Sonoyama, Mitsuki Honda, Yohei Kuwada</i> ).....	1
Application of Geotechnical Centrifuge in Japan and development of innovative liquefaction countermeasure technique ( <i>Mitsu Okamura</i> ).....	9
Elektrokinetik: Fenomena Dan Potensi Sebagai Alternatif Stabilisasi Tanah Lempung Lunak ( <i>Nahesson H Panjaitan, Ahmad Rifa'i, Agus Darmawan Adi, P. Sumardi</i> ).....	17
Upaya Mengurangi Tingkat Keretakan Pada Lapis Stabilisasi Perkerasan Tanah Semen ( <i>Arif Widiyanto</i> ).....	23
Pengaruh Reaksi Semen Pada Peningkatan Kekuatan Soil Cement ( <i>Priyo Suroso, Lawalenna Samang, Wihardi Tjaronge, Muhammad Ramli</i> ).....	35
Analisis Balik Model Numerik Mekanisme Transfer Beban Fondasi Plat Dengan Pengaku Dari Hasil Uji Beban Statis Vertikal Skala Penuh Pada Kondisi <i>Small-Strain</i> ( <i>Helmy Darjanto, Sri Wiwoho Mudjanarko, Aryo Nugroho</i> ).....	41
Model Bingham dan Herschel-Bulkley Untuk Viskositas Lumpur Sidoarjo Menggunakan Flow Box Test ( <i>Budijanto Widjajadan Anthony</i> ).....	47
Studi Eksperimental Pembebanan Pelat yang Diperkuat Tiang pada Tanah Gambut ( <i>Azokhi Waruwu, Hary Christady Hardiyatmo, Ahmad Rifa'i</i> ).....	53
Peak Ground Accaleration of Surakarta ( <i>Yusep Muslih P, Noegroho Djarwanti, Reza Satria W, Muhammad Irwin K</i> ).....	61
Effect Citanduy Fault On Seismic Hazard Analysis Leuwikeris Dam, West Java-Indonesia ( <i>Muhammad Riza H, Hendra Jitno, Fioliza A</i> ).....	67
Analisis Potensi Likuifaksi Pada Lapisan Tanah Mengandung Pumice ( <i>Muhajirah, Ahmad Rifa'i, Agus Darmawan Adi</i> ).....	75
Liquefaction Study Using Shear Wave Velocity ( $V_s$ ) Data in Coastal Area of Bengkulu City ( <i>Lindung Zalbuin Mase, Andri Krisnandi Somantri</i> ).....	81
Pertimbangan Efek Konsolidasi Terhadap Stabilitas <i>Sheet Pile Long Storage</i> di tanah Lunak, Jakarta Utara ( <i>Cepi Herdiyana K, Muhammad Riza H</i> ).....	87

Analisis Material <i>Sand Stone</i> Sebagai Campuran Pada Semen Tanah Untuk Meningkatkan Stabilitas Lereng Pada Jalan Akses Siwarak ( <i>Abdul Hakim</i> ).....	95
Pemetaan Ancaman Gerakan Tanah berdasarkan Indeks Stabilitas pada ekstensi SINMAP di Kabupaten Bangli, Bali ( <i>I Nengah Simarta, Ahmad Rifa'i, Teuku Faisal Fathani, Wahyu Wilopo</i> ).....	101
Pengaruh Kondisi Geologi Terhadap Gerakan Tanah Di Banjarnegara ( <i>Rokhmah Hidayat, Moh. Dedy Munir, Andy Subiyantoro</i> ) .....	111
Pile Foundation Integrity Evaluation in Consolidated Soil: A Case Study of Equipment Foundation at Plant Facilities ( <i>Badaruddin</i> ).....	121
Pemodelan Skala Kecil dan Analisis Numeris Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Ekspansif ( <i>Willis Diana, Hary Christady Hardiyatmo, Bambang Suhendro</i> ).....	129
Uji Pembebanan pada Model Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Skala Penuh Di Lapangan Pada Tanah Lunak ( <i>Bambang Setiawan, Hary Christady Hardiyatmo, Bambang Suhendro, Agus Darmawan Adi</i> ).....	137



## Pemodelan Skala Kecil dan Analisis Numeris Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Ekspansif

Willis Diana

Kandidat doktor, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM

Hary Christady Hardiyatmo

Profesor, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM

Bambang Suhendro

Profesor, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM

**ABSTRAK:** Tanah ekspansif merupakan salah satu penyebab paling sering kerusakan perkerasan jalan. Fluktuasi kadar air menyebabkan tanah mengalami pengembangan dan penyusutan yang mengganggu kestabilan dan unjuk kerja perkerasan. Tiang telah umum digunakan untuk mereduksi pengangkatan pelat yang diakibatkan pengembangan tanah ekspansif. Ide utama penelitian ini adalah untuk menyelidiki perilaku pelat dengan perkuatan tiang, atau yang disebut dengan sistem pelat terpaku, sebagai alternatif sistem perkerasan kaku pada tanah dasar ekspansif. Pengujian skala kecil perilaku model sistem pelat terpaku pada tanah ekspansif dengan variasi kekakuan pelat dan penggunaan koperan telah dilakukan. Hasil pengukuran *displacement* pelat akibat pengembangan tanah di laboratorium dicatat dan kemudian dibandingkan dengan analisis metode elemen hingga menggunakan Plaxis. Pada simulasi numeris dengan plaxis, tanah dimodelkan dengan pengembangan volume 30%. Hasil pengujian menunjukkan tiang-tiang pada sistem pelat terpaku mampu mereduksi *displacement* pelat dan membuat pelat tetap kontak dengan tanah. Kurvadeformasi sistim pelat terpaku akibat pengembangan tanah dipengaruhi pada derajat kekakuan pelat. Hasil analisis numeris menunjukkan kecocokan dengan hasil pengujian di laboratorium.

**Kata Kunci:** tanah ekspansif, *nail slab system*, model skala kecil, metode elemen hingga

**ABSTRACT:** The expansive soil is considered one of the most common causes of pavement distresses. Therefore, the expansive soil undergoes swelling and shrinking caused by moisture fluctuation. Ordinarily, piles have been used extensively for a foundation in swelling soil to reduce plate uplift movement caused by swelling of expansive soil. Moreover, the main idea of this study was to examine the behaviour of pile reinforced plate that called nailed slab system to control plate uplift movement. The small scale experimental investigation of nail slab system with a variety in the plate stiffness and the used of the vertical barrier has been made and compared with the result from finite element numerical analysis by using Plaxis. The soil was modeled to have about 30% swelling in Plaxis. The result indicated that the piles were functioning as heave reduction. Futhermore, mound profile of the plate depends on the degree of plate flexibility. The experimental result indicated in a good agreement with the numerical simulation by using Plaxis.

**Keywords:** expansive soil, nail slab system, small scale model, finite element method

### 1 PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu penyebab paling sering kerusakan perkerasan jalan. Perubahan kadar air yang disebabkan oleh perubahan musim menyebabkan tanah lempung mengalami perubahan volume yang akan memicu kerusakan struktur. Terlebih struktur perkerasan yang merupakan struktur yang ringan dan bentangnya luas. Kerusakan perkerasan yang sering ditemui seperti retak,

patah, dan bergelombangnya struktur perkerasan. Berbagai cara untuk mencegah dan mengatasi permasalahan yang timbul pada tanah ekspansif, salah satunya dengan memberikan perkuatan pada pelat perkerasan dengan menggunakan perkuatan vertikal, yang mampu mereduksi pergerakan vertikal pelat akibat mengembangnya tanah dasar.

Macam perkuatan vertikal yang telah dilakukan antara lain dengan menggunakan kolam batu berangker (Ibrahim & Aljorany, 2014), *micropile* (Nusier & Alawaneh, 2004),



*geopile* (Sharma & Phanikumar, 2005), kolom kapur (Muntohar, 2016; Tonoz dkk, 2006), tiang pancang dan tiang bor (Sorochan, 1991), cakar ayam dan cakar ayam modifikasi (Hardiyatmo, 2008a). Setiap metode memiliki keunggulan dan kekurangan dilihat dari segi teknis pelaksanaan di lapangan, material, biaya dan kesesuaian dengan sumber daya dan keadaan setempat, sehingga metode-metode untuk mereduksi kerusakan stuktur akibat pengembangan tanah ekspansif terus berkembang.

Selain pemodelan di laboratorium, dan aplikasi langsung di lapangan, analisis numeris metode kekuatan struktur pada tanah ekspansif dengan menggunakan tiang telah banyak dilakukan para peneliti dan berbagai formula perancangan tiang pada tanah ekspansif banyak diusulkan seperti Sorochan (1991), Nusier & Alawaneh (2004), Mohamedzein (2006), Zhang, dkk (2009), Nelson, dkk (2015). Metode-metode tersebut umumnya digunakan untuk analisis tiang tunggal, dan bukan sebagai sistem kelompok tiang, dan terkadang cukup sulit memperoleh dan menentukan input parameter dalam penggunaan formula-formula tersebut. Pemodelan numeris dengan metode elemen hingga menggunakan *software* Plaxis untuk memodelkan tiang pada tanah ekspansif telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Kaufmann dkk (2010), yang memodelkan pengembangan tanah dengan pelepasan beban (*unloading*), Hashem & Abu-Baker (2013), Ismail & Shahin (2011), dan Muntohar (2016) memodelkan pengembangan dengan mengaktifkan parameter regangan volumetrik tanah.

Ide utama penelitian ini adalah untuk menyelidiki perilaku pelat dengan kekuatan tiang-tiang, atau yang disebut dengan sistem pelat terpaku, sebagai alternatif sistem perkerasan kaku pada tanah dasar ekspansif. Untuk memahami beberapa aspek fisik dari prototipe model sistem pelat terpaku ini, telah dilakukan pemodelan fisik skala kecil (perbandingan model terhadap prototipe 1:10), dengan maksud untuk memperoleh beberapa informasi respon pola perilaku yang diharapkan, secara lebih cepat dengan kontrol detail yang lebih teliti. Pada penelitian ini, variasi kekakuan pelat dan penggunaan koperan telah dilakukan. Variasi bahan pelat meliputi, pelat dari mortar semen dan pelat fleksiglass untuk memodelkan pelat dengan kekakuan yang lebih rendah (fleksibel). Selain

itu, juga telah dilakukan analisis numeris dengan metode elemen hingga menggunakan Plaxis, untuk mengetahui kesesuaian antara hasil pengukuran di laboratorium dengan analisis numeris, dan kemungkinan penggunaan metode numeris ini untuk lebih mengeksplorasi sistem pelat terpaku sehingga penentuan parameter-parameter kontrol yang mempengaruhi perilaku sistem ini bisa dilakukan lebih cepat.

Sistem pelat terpaku pertama kali diusulkan oleh Hardiyatmo (2008b), sebagai upaya untuk mengatasi masalah perkerasan pada tanah yang tidak stabil seperti tanah lempung lunak dan tanah ekspansif. Sistem perkerasan ini berupa pelat perkerasan beton bertulang (dengan ketebalan 12 cm-20 cm) yang didukung dengan tiang-tiang mini di bawahnya dengan diameter 15 cm-20 cm dan panjang 150 cm – 200 cm. Fungsi tiang-tiang pada sistem pelat terpaku antara lain untuk, meningkatkan daya dukung tanah dasar (menambah modulus reaksi subgrade), menjaga agar pelat beton tetap kontak dengan lapis pondasi bawah dan atau tanah dasar di bawahnya, sehingga mencegah timbulnya rongga-rongga di bawah struktur perkerasan, ketidakrataaan pelat akibat gerakan tanah di bawahnya, dapat direduksi, dengan termobilisasinya tahanan gesek selimut tiang dan berat sendiri tiang (Hardiyatmo, 2011). Sistem pelat terpaku (*nailed slab system*), merupakan salah satu sistem yang memandang kekuatan tiang pada pelat sebagai satu kesatuan. Penggunaan tiang dapat meningkatkan modulus reaksi subgrade tanah dasar (Puri, 2015) dan tiang dan pelat di buat monolit sehingga ada interaksi saling mempengaruhi antara tanah, tiang dan pelat dalam mendukung beban luar. Hasil penelitian sistem pelat terpaku pada tanah ekspansif yang dilakukan Diana, dkk (2016) menunjukkan bahwa dengan kekuatan tiang, *displacement* pelat akibat mengembangnya tanah lebih kecil dibandingkan pelat tanpa kekuatan tiang, tiang yang lebih panjang mampu mereduksi kenaikan pelat lebih besar.

## 2 PENGUJIAN LABORATORIUM

### 2.1 Bahan Penelitian dan Pengujian

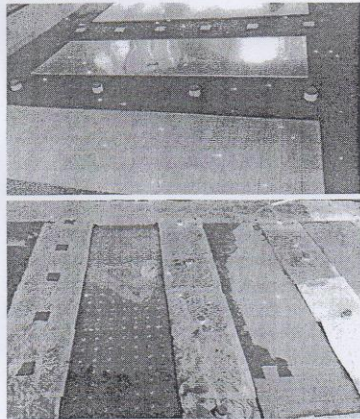
Tanah ekspansif yang digunakan adalah tanah lempung yang berasal dari Ngawi. Tanah diambil pada kedalaman 1 m sampai 2 m dari permukaan tanah, berupa sampel terganggu



(*disturbed*). Sifat fisik tanah seperti dalam Tabel 1.

Tanah dikeringkan, dihaluskan dan disaring sehingga lolos saringan no.4, kemudian dipadatkan dalam kolom pengujian berukuran 350 cm x 700 cm x 100 cm setebal 50 cm,. Kadar air awal tanah dalam kolom pengujian sekitar 11 %.

Tiang dan pelat dibuat dari mortar semen, dengan perkuatan kawat galvanis berdiameter 2 mm. Pelat menggunakan perkuatan kawat anyam (*wiremesh*) dengan diameter kawat 1-2 mm. Tiang yang digunakan berdiameter 2 cm, panjang 20 cm. Sedangkan pelat yang digunakan tebal 2 cm, bentuk bujur sangkar 10 x 10 cm. Model sistem pelat terpaku menggunakan ukuran pelat 70 cm x 250 cm dengan tiang  $d=2$  cm panjang 20 cm, spasi antar tiang adalah 10 cm. Untuk variasi kekakuan pelat, digunakan pelat dari bahan fleglass dengan dimensi yang sama seperti pelat dari mortar semen, dengan ketebalan 5 mm. Hubungan antara tiang dan pelat dibuat monoiit untuk kedua tipe pelat. Gbr. 1 menunjukkan model pengujian laboratorium.



Gbr. 1. Model pengujian.

Pengembangan tanah dipicu dengan cara membasahi tanah rutin setiap hari dengan volume air sebanyak 300 liter. Perubahan *displacement* pelat dicatat setiap hari dengan menggunakan kaliper, pengukuran perubahan ketinggian permukaan pelat dilakukan terhadap balok referensi yang letaknya tetap. *Heave* tanah setiap kedalaman 10 cm juga diukur dan dicatat setiap harinya. Pembasahan kolom pengujian dan pengukuran *displacement*

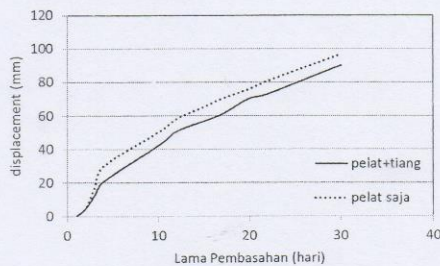
pelat dilakukan sampai perubahan *displacement* vertikal permukaan pelat relatif kecil. Pengembangan tanah dan pengukuran *displacement* pelat ini dilakukan selama kurang lebih 30 hari.

Tabel 1. *Properties* Tanah

Sifat Tanah	Standard	
Specific gravity	2,64	ASTM D 854
Batas Cair (%)	94,39	ASTM D 4318
Batas plastis (%)	34,58	ASTM D 4318
Batas susut (%)	11,63	ASTM D 4318
Indeks Plastisitas (%)	59,81	ASTM D 4318
Fraksi butir halus		
lolos saringan no.200 (%)	96,32	ASTM D 422
Klasifikasi Unified	CH	ASTM D 2487
Klasifikasi AASTHO	A-7-6	ASTM D 3282
Berat volume kering maksimum (kN/m <sup>3</sup> )	12,26	ASTM D 698
Kadar air optimum (%)	35,5	ASTM D 698
Aktifitas	0,69	-
Free Swell Ratio (FSR)	2	-
Free Swell index (FSI) (%)	100	-
Persen Pengembangan (%)	8,27	ASTM D4546
Tekanan pengembangan (kPa)	145	ASTM D 4546

## 2.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk perbandingan grafik *displacement* pelat dari setiap variasi pengujian. Gbr. 2 merupakan grafik perbandingan *displacement* pelat perhari akibat pengembangan tanah dasar pada pelat dengan tiang tunggal.



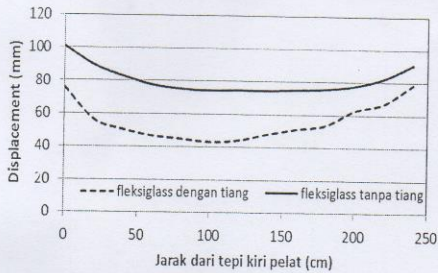
Gbr. 2. *Displacement* pelat dengan tiang tunggal.

Gbr.2 2 mengindikasikan bahwa pelat dengan perkuatan tiang (pelat terpaku) mengalami *displacement* vertikal yang lebih kecil dibandingkan dengan pelat tanpa tiang.

Gbr. 3 menunjukkan hasil pengukuran *displacement* sistem pelat terpaku

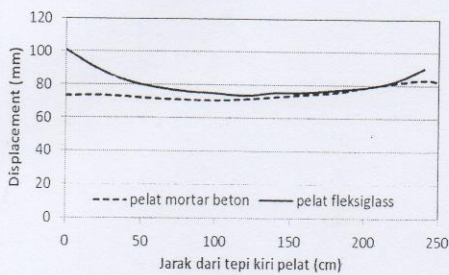


dibandingkan pelat tanpa perkuatan tiang pelat fleksiglass. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa, tiang mampu mereduksi *displacement* pelat akibat mengembangnya tanah dasar. Pada Gbr. 3 diketahui bahwa pola kurva *displacement* pelat tidak simetris di kedua tepi pelat dikarenakan kesulitan dalam persiapan tanah untuk memperoleh tanah yang padat dan homogen. Sehingga pengembangan tanah dikedua sisi menjadi berbeda.



Gbr. 3. Perbandingan *Displacement* pelat tanpa tiang dan sistem pelat terpaku dengan panjang tiang  $L=20$  cm

Gbr. 4 menunjukkan perbandingan kurva deformasi sistem pelat terpaku dengan pelat dari mortar beton dan pelat dari fleksiglass. Dari gambar tersebut diketahui bahwa, kurva deformasi pelat (*mound shape*) fleksiglass, berbentuk lengkungan, sedangkan pelat dari mortar semen, pelat terangkat, tetapi tidak membentuk lengkungan, walaupun ketinggian tepi-tepi pelat berbeda antara satu dan lainnya. Hal ini disebabkan karena pelat beton memiliki kekakuan yang lebih besar di bandingkan fleksiglass.

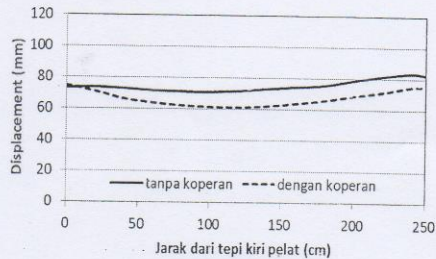


Gbr. 4. Pengaruh kekakuan pelat

Dari beberapa hasil yang diperoleh diketahui tiang mampu mereduksi *displacement* pelat. *Displacement* pelat akibat mengembangnya tanah berkurang karena

sistem pelat terpaku yang menjadi lebih berat dengan adanya tiang, yang melawan gaya angkat ke atas akibat pengembangan tanah. Tahanan gesek yang berkembang sepanjang selimut tiang juga merupakan gaya perlawanan.

Gbr. 5 menunjukkan pengaruh pemasangan koperan terhadap deformasi pelat akibat pengembangan tanah dasar. Koperan adalah dinding vertikal yang berfungsi sebagai penghalang kelembaban. Pada penelitian ini koperan dipasang pada sisi panjang pelat, sedalam 5 cm. Dari Gbr. 5, diketahui deformasi sistem pelat terpaku dengan koperan, lebih kecil dibandingkan sistem pelat terpaku tanpa koperan. Koperan menyebabkan lintasan aliran air ke bawah pelat menjadi lebih panjang. Koperan juga meningkatkan kekakuan pelat.



Gbr. 5. Perbandingan *Displacement* sistem pelat terpaku dengan koperan dan tanpa koperan

Dari pengamatan saat pengujian diketahui pula bahwa pada bagian yang tertutup pelat, kadar air tanahnya lebih rendah dibandingkan bagian tanah yang tidak tertutup pelat. Sehingga pengembangan tanah di bagian tengah pelat menjadi lebih rendah dibandingkan pengembangan tanah dibagian tepi-tepinya. Akibatnya, bagian tepi-tepi pelat akan terangkat, besarnya kekakuan pelat menyebabkan bagian tengah pelat ikut terangkat, sedangkan tanah yang berada dibagian tengah pelat tidak mengalami pengembangan yang sama dengan tanah dibagian tepi-tepi pelat, sehingga ada rongga antara permukaan tanah dengan dasar pelat. Tidak adanya kontak antara tanah dan pelat akan menyebabkan tidak tersalurkan beban luar dari pelat ke tanah. Sehingga, pelat menahan intensitas tegangan yang besar, jika terjadi terus menerus dapat menimbulkan kerusakan pada pelat. Sedangkan pada sistem pelat terpaku, tiang-tiang menahan pelat selalu



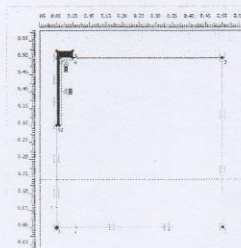
kontak dengan tanah dibawahnya, sehingga beban luar dapat didistribusikan langsung ke tanah dasar.

### 3 ANALISIS NUMERIS

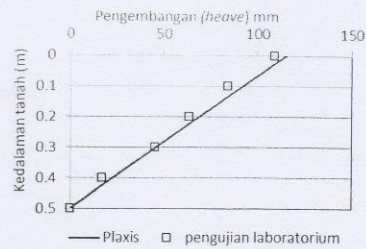
#### 3.1 Pelat dengan Satu Tiang

Pelat dengan tiang tunggal, dianalisis menggunakan idealisasi elemen *axisymetry*. Model tanah yang digunakan adalah *Hardening Soil* (HS), sedangkan elemen pelat dan tiang menggunakan elemen linier elastik non porous. Sifat material yang diperoleh dari interpretasi pengujian oedometer pengembangan dan uji triaksial seperti pada Tabel 2.

Pada kasus di lapangan, pengembangan tanah terjadi akibat perubahan kadar air atau karena pelepasan beban. Sedangkan pada penelitian ini, pengembangan tanah dengan Plaxis dilakukan dengan mengaktifkan regangan volumetrik ( $\epsilon_{vol}$ ), regangan bernilai positif, yang artinya tanah mengembang. Besarnya nilai regangan volumetrik tanah ekspansif diperkirakan dari pengembangan uji oedometer dan cara coba-coba, sehingga hasil analisis mendekati hasil pengukuran pengembangan di laboratorium. Analisis pengembangan tanah dengan Plaxis mendekati dengan hasil pengukuran pengembangan tanah di laboratorium pada regangan volumetrik 30%. Pemodelan axisimetri yang telah dilakukan seperti pada Gbr. 6. Perbandingan *heave* terhadap kedalaman hasil analisis dan pengukuran seperti pada Gbr. 7. Untuk analisis selanjutnya, regangan volumetrik tanah digunakan nilai tersebut.



Gbr. 6. Pemodelan untuk pelat dengan tiang tunggal



Gbr. 7. Pengembangan tanah, perbandingan hasil pengukuran dan analisis dengan  $\epsilon_{vol}=30\%$

Tabel 2. Model Material untuk pelat dengan tiang tunggal

No	Keterangan	Model Tanah	Struktur
1.	Model material	<i>Hardening soil model</i>	Linier Elastik
2.	Tipe material	Drained	Non Porous
3.	Unsaturated unit weight $\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15	22
4.	saturated unit weight $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.70	-
5.	$E_{50\ ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	6739,70	2500000
6.	$E_{oed}$	2449,23	-
7.	$E_{ur}$	20000	-
8.	Kohesi (c) (kN/m <sup>2</sup> )	4,00	-
9.	Sudut gesek internal ( $^{\circ}$ )	30	-
10.	$R_{inter}$	0,8	-
11.	m	1	-

#### 3.2 Sistem Pelat Terpaku

Model sistem pelat terpaku di idealisasi sebagai elemen *plane strain*. Model tanah menggunakan *Hardening Soil*, pelat dan tiang sebagai material *plate*. Sifat material seperti pada Tabel 3.

Masalah utama ketika memodelkan pelat dengan tiang adalah transisi dari 3 dimensi ke 2 dimensi. Penyelesaian masalah 3 dimensi menjadi 2 dimensi, elemen tiang disederhanakan menjadi elemen pelat (*dinding*), yang disebut tiang *plane strain*. Elemen tiang *plane strain* dihitung per meter tegak lurus bidang gambar. Model pelat berukuran 0,7 m x 2,5 m x 0,02 m dan tiang berdiameter 0,02 m panjang 0,2 m dengan jumlah tiang dalam arah lebar 7 tiang, dalam arah panjang 25 tiang (spasi tiang 0,1 m), *properties* tiang dalam *plane strain* di hitung sebagai berikut (Ryltenius, 2011).

1. Kekakuan normal untuk tiang *plane strain*,

$$EA_{psp} = EA_p \frac{n_{p-row-i}}{L_r} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan  $EA_{psp}$  adalah kekakuan normal untuk tiang *plane strain*,  $EA_p$ =kekakuan normal satu tiang,  $n_{p-row-i}$ =jumlah tiang pada baris  $i$ ,  $L_r$ = lebar pelat tegak lurus bidang gambar

2. Kekakuan lentur tiang *plane strain* ,

$$EI_{psp} = EI_p \frac{n_{p-row-i}}{L_r} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan  $EI_{psp}$  adalah kekakuan lentur untuk tiang *plane strain*,  $EI_p$ =kekakuan lentur satu tiang,

3. Berat tiang *plane strain* ,

$$w_{psp} = w_p \frac{n_{p-row-i}}{L_r} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan  $w_{psp}$  adalah berat tiang *plane strain*,  $w_p$ =berat satu tiang,

4.  $R_{inter}$  ekuivalen

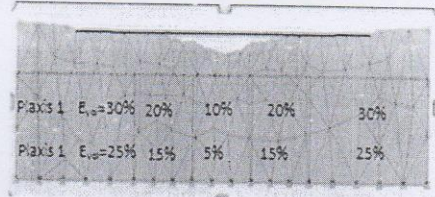
$$R_{inter_{eq}} = \frac{n_{p-row-i} A_s}{2L_r} R_{inter} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan  $A_s$ =luas selimut tiang permeter kedalaman.

Tabel 3. Model Material untuk sistem pelat terpaku

No	Keterangan	Model Tanah	pelat	tiang
1.	Model material	Hardening soil model	plate	plate
2.	Tipe material	Drained	elastik	elastik
3.	Unsaturated unit weight $\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15	-	-
4.	saturated unit weight $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.70	-	-
5.	$E_{50}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	6739,70	-	-
6.	$E_{oed}$	2449,25	-	-
7.	$E_{ur}$	20000	-	-
8.	Kohesi (c) (kN/m <sup>2</sup> )	5	-	-
9.	Sudut gesek internal ( $\phi$ )	30	-	-
10.	$R_{inter}$	0,8	-	-
12.	EA	-	$3,5 \cdot 10^6$	$7,85 \cdot 10^3$
13.	EI	-	41,667	1,96
14.	$\nu$	0,4	0,2	0,2
15.	Weight (w)	-	0,48	0,075

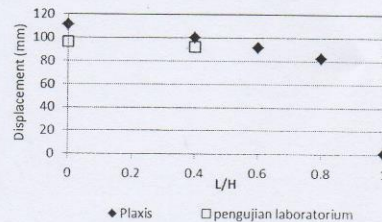
Pengembangan tergantung pada lokasi dari sumber air dan besarnya tekanan *overburden*, untuk penyederhanaan analisis *volumetric strain* diaplikasikan seragam sepanjang ketebalan lapisan tanah ekspansif, dan bervariasi pada bagian tepi dan tengah pelat, dengan dua skenario pengembangan yaitu plaxis 1 dan plaxis 2 dengan distribusi pengembangan volume seperti pada Gbr. 8.



Gbr. 8. Displacement hasil pemodelan pengembangan dengan variasi  $\epsilon_{vol}$  di bawah pelat.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gbr. 9 menunjukkan perbandingan *displacement* hasil pengukuran dan analisis menggunakan Plaxis. *Displacement* pelat 10 cm x 10 cm dengan tiang panjang 20 cm, karena pengembangan tanah hasil pengukuran di laboratorium dan hasil analisis Plaxis menunjukkan hasil yang hampir sama.



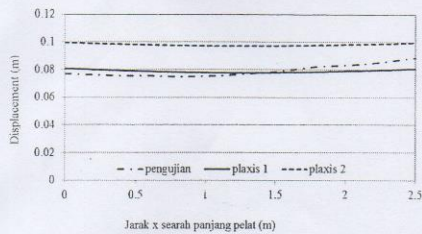
Gbr. 9. Perbandingan *displacement* pelat dengan tiang tunggal

Dari pengujian dan analisis dengan Plaxis diketahui bahwa semakin panjang tiang, semakin kecil *displacement* pelat. Pada panjang tiang (L) yang sama dengan ketebalan lapisan tanah ekspansif (H)  $L/H=1$ , *displacement* pelat hampir tidak terjadi. Pelat tanpa perkuatan tiang ditunjukkan pada  $L/H=0$ .

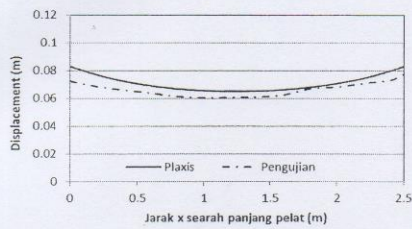
Perbandingan hasil pengujian model sistem pelat terpaku di laboratorium dengan hasil analisis seperti pada Gbr. 10 dan 11. Pada Gbr.



10, menunjukkan bahwa analisis numeris dengan pengembangan skenario Plaxis 2 lebih mendekati hasil uji laboratorium, yaitu pada regangan volume pada bagian pinggir sebesar 25%. Gambar 11, untuk analisis sistem pelat terpaku dengan tiang 20 cm, hasil analisis plaxis dengan Plaxis 1 (regangan volumetrik 30%) lebih besar dibanding hasil pengukuran, tetapi bentuk kurva yang dihasilkan hampir sama. Dari kurva *displacement* seperti Gbr. 8, diketahui bahwa pada analisis dengan Plaxis, pelat cenderung terangkat ke atas akibat pengembangan tanah pada bagian tepi-tepi pelat, sedang bagian tengah pelat, pengembangan tanah relatif lebih kecil dibandingkan bagian tepi-tepinya, sehingga terdapat rongga antara tanah dan pelat.

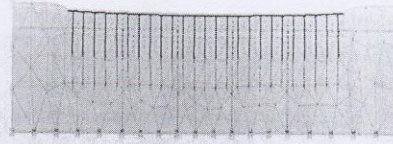


Gbr. 10. Perbandingan *displacement* pelat tanpa kekuatan tiang



Gbr. 11. Perbandingan *displacement* sistem pelat terpaku.

Deformasi pelat pada sistem pelat terpaku seperti pada Gbr. 12. Simulasi pengembangan tanah dilakukan sama seperti pada pengembangan tanah dengan pelat saja. Dari Gbr. 12 diketahui bahwa dengan kekuatan tiang-tiang pada sistem pelat terpaku, disamping *displacement* pelat berkurang, pelat juga tetap kontak dengan tanah.



Gbr 12. Deformasi Sistem Pelat Terpaku

Dari hasil pengujian di laboratorium, dan simulasi numeris dengan Plaxis diketahui bahwa, sistem pelat terpaku berpotensi di jadikan sebagai alternatif struktur perkerasan pada tanah ekspansif, untuk mereduksi pengangkatan struktur akibat mengembangnya tanah dasar, dan membuat pelat perkerasan tetap kontak dengan tanah dasar, sehingga beban luar dapat disalurkan ke tanah dasar secara lebih merata.

## 5 KESIMPULAN

- Perkuatan pelat dengan menggunakan tiang, mampu mereduksi *displacement* pelat akibat pengembangan tanah dasar, semakin panjang tiang, *displacement* pelat semakin kecil.
- Pola deformasi pelat pada sistem pelat terpaku dipengaruhi oleh fleksibilitas dari bahan pelat. Kurva deformasi pada pelat dari fleksi-glas (lebih fleksibel dibanding mortar semen) membentuk lengkungan.
- Displacement* yang terjadi pada sistem pelat terpaku dengan koperan lebih kecil dibandingkan dengan sistem pelat terpaku tanpa koperan.
- Tiang-tiang pada sistem pelat terpaku mampu membuat pelat tetap kontak dengan tanah.
- Hasil analisis numeris dengan Plaxis menunjukkan kurva yang serupa dengan hasil pengujian laboratorium, walaupun besarnya *displacement* dari analisis Plaxis (dengan regangan volumetrik 30%) lebih besar dari *displacement* hasil pengujian laboratorium.
- Hasil yang diperoleh dari Plaxis sangat tergantung pada idealisasi (penyederhanaan model), sehingga pemodelan sistem pelat terpaku dengan menggunakan Plaxis perlu dieksplorasi lebih lanjut.



## PENGHARGAAN

Penelitian ini merupakan bagian dari Hibah Penelitian Disertasi Doktor (PDD) 2016. Terima kasih dihaturkan kepada kementerian Ristek dan Pendidikan Tinggi RI.

## DAFTAR PUSTAKA

- Diana, W., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., 2015. Small Scale Experimental Investigation on The Nailed Slab System in Expansive Soil. In *Advance Science and Technology for Society*. AIP Publishing.
- Hardiyatmo, H.C., 2008a. Sistem Cakar Ayam Sebagai Alternatif Penanganan Masalah Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Tanah ekspansif. In *Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana di Indonesia*. Yogyakarta, Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana di Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2008b. Sistem "Pelat Terpaku" (Nailed Slab system) Untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku (Rigid Pavement). In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Dalam Penanganan Sarana-prasarana*. Yogyakarta, MPSP JTSL FT UGM.
- Hardiyatmo, H.C., 2011. Method To Analyze The Deflection of The Nailed Slab System. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, pp.22-28.
- Hashem, M.D. & Abu-Baker, A.M., 2013. Numerical Modelling of Flexible Pavement Constructed on Expansive Soils. *European International Journal of Science and Technology*, 2(10), pp.19-34.
- Ibrahim, S.F. & Aljorany, A.N., 2014. Heave Behaviour of Granular Pile-Anchor Foundation (GPA-Foundation) System in Expansive Soil. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4(3), pp.213-22.
- Ismail, A.M. & Shahin, M., 2011. Finite Element Analysis of Granular Pile Anchors as a Foundation Option for Reactive soils. In *International Conference on Advances in Geotechnical Engineering (ICAGE 2011)*. Perth, 2011.
- Kaufmann, K.L., Nielsen, B.N. & Augustesen, A.A., 2010. *Finite Element Investigation on The Interaction between a Pile and Swelling Clay*. Technical Reports. Aalborg: Aalborg University.
- Mohamedzein, Y.E.A., 2006. Finite Element Analysis of Piers in Expansive Soils. In Al-Rawas, A.A. & Goosen, M.F.A. *Expansive Soils Recent Advances in Characterization and Treatment*. London: Taylor & Francis Group. pp.231-43.
- Muntohar, A.S., 2016. A Numerical Method of The Flexible pavement Supported by SSC on Expansive Soils. *Applied Mechanics and Materials*, pp.62-69.
- Nelson, J.D., Chao, K.C., Overton, D.D. & Nelson, E.J., 2015. *Foundation Engineering For Expansive Soil*. New Jersey: John Wiley & Son.
- Nusier, O.K. & Alawaneh, A.S., 2004. Micropile Technique to Control Upward Movement of Lightweight Structure Over Expansive Soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 22, pp.89-104.
- Plaxis, 2007. *Plaxis 2D Versi 8*. Delft: Plaxis B.V.
- Puri, A., 2015. *Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak (soft Clay)*. Disertasi Doktor. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Universitas Gadjah Mada.
- Ryltenius, A., 2011. *FEM Modelling of Piled Raft Foundation in Two and Three Dimention*. Master Dissertation. Sweden: Geotechnical Engineering Lund University.
- Sharma, R.S. & Phanikumar, B.R., 2005. Laboratory Study of Heave Behavior of Expansive Clay Reinforced with Geopiles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131, pp.512-20.
- Soroohan, 1991. *Constructio of Buildings on Expansive Soils*. Brookfield: A.A. Balkema Publishers.
- Tono, M.C., Gokceoglu, C. & Ulusay, R., 2006. Stabilization of expansive Ankara Clay with Lime. In A.A. Al-Rawas & M.A. Goosen, eds. *Expansive Soils Recent advance in characterization and treatment*. London: Taylor & Francis Group. pp.317-40.
- Zhang, C.S., Wang, Y.H., Xiao, H.B. & Fan, Z.H., 2009. Numerical Simulation of Soil-Pile Interaction in Expansive Soils Foundation. *Soil and Rock Instrumentation, Behaviour, and Modelling ASCE*, pp.99-105.





# SERTIFIKAT

Diberikan kepada

*Willis Diana, S.T., M.T.*

Sebagai:

**Pemakalah**

***Seminar Nasional Geoteknik 2016***

pada Kamis, 11 Agustus 2016 di Yogyakarta

diselenggarakan atas kerjasama

Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia Cabang DIY,

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT Universitas Gadjah Mada,

Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,

Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Islam Indonesia

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan  
FT Universitas Gadjah Mada

Yogyakarta, 11 Agustus 2016

HATTI PUSAT

Ali Awaludin, ST., M.Eng, Ph.D.  
Sekretaris Departemen

Dr. Fikri Faris, ST., M.Eng.  
Ketua Panitia

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, M.S.E., Ph.D.  
Ketua