

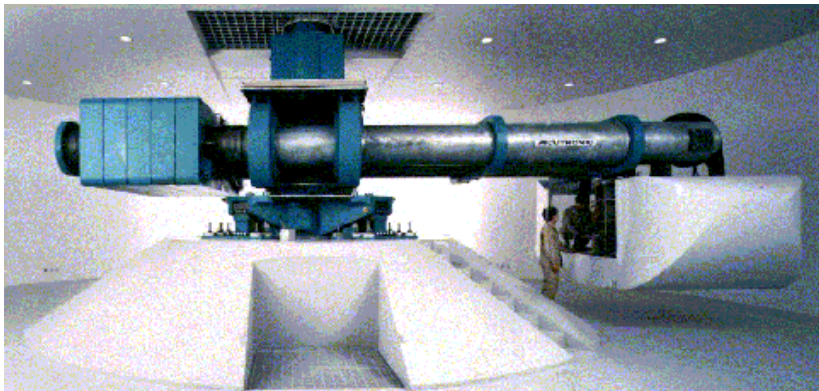


**Pemanfaatan modelling untuk memecahkan  
masalah geoteknik (Physical modelling  
aplication for solving geotechnical problems)**

**Tommy Ilyas**

**Pidato Pada Upacara Pengukuhan  
Sebagai Guru Besar Tetap Dalam Bidang Geoteknik Teknik Sipil  
Pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Jakarta, 24 Mei 2006**

Penelitian tentang fenomena alam seperti gempa bumi, tsunami, landslide dan lainnya terlalu sulit untuk dilakukan secara utuh. Oleh karena itu pendekatan laboratoris diharapkan dapat mengatasinya. Penggunaan modelling memiliki keandalan dan dinilai mampu untuk mensimulasikannya.



A huge centrifuge at Takenaka Co., Japan

**Yang kami hormati,**

Bapak Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia  
Saudara Ketua dan Sekretaris Majelis Wali Amanat UI  
Saudara Rektor dan Para Wakil Rektor Universitas Indonesia  
Saudara Ketua dan Sekretaris Senat Akademik UI  
Saudara Dekan dan Para Wakil Dekan Fakultas Teknik UI  
Saudara Dekan dan Para Wakil Dekan di lingkungan UI  
Para Guru Besar dan Staf Pengajar Universitas Indonesia  
Para undangan serta hadirin sekalian yang saya muliakan

**Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,  
Selamat pagi dan Salam Sejahtera untuk kita semua.**

Pada kesempatan yang baik ini marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya pada kita semua, sehingga kita dapat berkumpul di tempat ini dalam keadaan sehat walafiat. Salawat dan salam kita sampaikan pada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, serta para sahabatnya.

Perkenankanlah saya mengucapkan terima kasih pada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan Nasional RI yang telah memberikan kepercayaannya kepada saya sebagai Guru Besar Tetap dalam bidang Geoteknik Teknik Sipil dan kepada Rektor Universitas Indonesia yang telah memberikan kesempatan pada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan di hadapan sidang yang terhormat ini.

## **Hadirin yng berbahagia,**

Dalam kesempatan ini saya akan menyampaikan pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan merupakan suatu kehormatan bagi saya dapat menyampaikannya di hadapan hadirin sekalian. Judul yang akan saya sampaikan adalah:

Pemanfaatan modelling untuk memecahkan masalah geoteknik (Physical modelling application for solving geotechnical problem).

## **Latar belakang**

Penelitian tentang fenomena alam seperti gempa bumi, tsunami, landslide dan lainnya terlalu sulit untuk dilakukan secara utuh. Oleh karena itu pendekatan laboratoris diharapkan dapat mengatasinya. Penggunaan modelling memiliki keandalan dan dinilai mampu untuk mensimulasikannya.

Berbicara mengenai model tentu bayangan kita adalah sesuatu yang merepresentasikan kondisi aslinya. Pertanyaannya adalah dapatkah model yang digunakan memberikan prediksi langsung mengenai perilaku prototip? Apa yang menjadi limitasi pembuatan model serta uji coba sebuah model yang dibuat dari sampel lapangan.

Model dengan skala kecil telah banyak dibuat untuk membuat perilaku model prototip dan kesesuaian yang sangat baik dicapai ketika membandingkan antara model dan prototip. Namun bagaimanapun juga untuk mendapatkan hasil yang dapat dipercaya dari sebuah uji model, sampel tanah harus memenuhi sejumlah persyaratan. Untuk mendapatkan kekuatan tanah dan karakteristik deformasi tanah yang akurat diperlukan persyaratan seperti pemodelan struktur tanah, lapisan-lapisan tanah, ketidak homogenitas tanah, tegangan konsolidasi dan

sejarah tegangan. Persyaratan tersebut berlaku juga untuk teoritikal model berdasarkan atas uji laboratorium.

Struktur tanah yang tidak kohesif tergantung dari prosedur penyiapan sampel. Ini dapat ditunjukkan pada persiapan contoh triaksial oleh beberapa peneliti (Ladd 1974, seed 1976 dan Lad et al 1977) dan pengaruhnya sangat penting untuk uji model. Pengaruh pada uji triaksial menunjukkan perbedaan yang sangat mencolok pada hubungan stress-strain dan karakteristik tegangan untuk sampel yang dipersiapkan dari tanah yang di *tapping* dan tanah yang dipersiapkan dari pencelupan (*plunging*) pada tanah yang dipadatkan dengan metode kompaksi.

Pertanyaan berikutnya bagaimana persiapan contoh tanah dapat mensimulasikan sebuah prototip. Untuk menjawab ada hal yang perlu diperhatikan yaitu pengukuran propertis model tanah untuk melakukan analisa balik (*back analysis*). Validasi dari metoda numerik akan berhasil jika propertis tanah dari model serta tegangan awal dari model diketahui. Dari studi-studi yang telah dilakukan pada berbagai uji model hasilnya dapat digunakan untuk melakukan evaluasi dan prosedur validasi.

Dari hal-hal yang telah dikemukakan, uji model model dengan skala kecil menjadi pilihan bagi peneliti untuk mensimulasikan sebuah prototip.

Physical modelling yang akan dibahas selanjutnya adalah yang berkaitan dengan model centrifuge yang menjadi fokus pada pidato pengukuhan ini.

### **Uji model centrifuge**

Penggunaan alat centrifuge untuk model uji didalam bidang geoteknik mulai berkembang sejak akhir tahun enampuluhan.

Craig menyampaikan gagasan eksperimen dengan skala kecil pada alat centrifuge yang dilakukan pertama kali oleh E.Philips pada tahun 1869 yang mempresentasikan makalahnya dihadapan 'Academie des Science' Perancis. Dengan menggunakan persamaan *differential equilibrium* untuk material elastis (*elastic solid*) dia mendapatkan korelasi/hubungan yang sangat baik untuk prototip dan model skala kecil untuk menghasilkan sifat (*behaviour*) yang sama. Gravitasi menjadi faktor utama untuk keseimbangan dari material dan Philips mengusulkan gaya inersia atau secara spesifik gaya centrifugal untuk menghasilkan suatu kesamaan. Phillips juga mengemukakan beberapa prinsip umum mengenai disain dari uji centrifuge. Ide yang cemerlang ini baru enampuluh tahun kemudian dapat diaplikasikan. Era tahun 1930-an peneliti di Amerika dan Soviet seolah-olah menemukan kembali cara yang telah diusulkan oleh Philips untuk berbagai problema yang berkaitan dengan gaya centrifugal.

Dalam laporannya Craig juga menyebutkan pada tahun 1932 di Moscow di laboratorium Hidro-Texgo Institute of Hydrogeology and Hydraulics dilakukan percobaan pertama ( oleh Pokrovsky) untuk *stability of earth stuctures*. Dan hasilnya skala model kecil digunakan untuk *earth dams, embankment* dan *levees projects*.

Pada First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering di Harvard tahun 1936 hasil experimen oleh expertis dari Rusia diabaikan dan tidak mendapat respon dari pihak Barat. Hasil penelitian team Rusia tersebut baru dikenal secara luas dan dihargai pada dekade enampuluhan setelah para peneliti di Inggris menindak lanjuti pekerjaan yang telah dilkukan oleh Pokrovski et, al.

Akhir tahun enampuluhan dapat dikatakan sebagai era baru untuk model centrifuge dengan bermunculannya alat centrifuge yang dipergunakan khusus untuk kepentingan dan keperluan geotechnic. Secara simultan

penelitian mulai dilakukan di Inggris, Jepang dan Amerika dan menimbulkan dampak yang sangat berarti bagi pengembangan centrifuge model diseluruh dunia.

Analisa kestabilan lereng merupakan *geotechnical courses* yang umum dan dapat diprogram dengan menggunakan komputer digital. Tetapi keruntuhan lereng sukar untuk didemonstrasikan dilaboratorium karena itu merupakan fenomena gravitasi, seperti perubahan muka air tanah, penggalian atau penimbunan.

Prinsip tegangan efektif juga merupakan masalah yang cukup sukar untuk dijelaskan. Pengaruh gravitasi tidak pernah dibicarakan atau diperhitungkan terhadap berat jenis. Saat ini jika mahasiswa teknik Sipil mengunjungi area konstruksi mereka dapat merasakan besaran gaya dan energi yang mempengaruhi bangunan konstruksi yang besar. Dengan menggunakan centrifuge yang kecil didalam laboratorium dapat didemonstrasikan pengaruh gravitasi pada masalah stabilitas lereng dengan keruntuhan mekanik yang tidak mungkin dapat ditunjukkan pada laboratorium biasa.

Schofield (1980) menunjukkan pentingnya *general stress system* sebuah model yaitu kondisi equilibrium pada saat awal untuk percobaan-percobaan yang dilakukan dengan alat centrifuge dan terjadinya kenaikan tegangan lanjutan pada saat keruntuhan. Problema dari stabilitas lereng merupakan contoh yang sangat baik. Gravitasi mempengaruhi jenis model tes, tidak memproduksi *field stress path*, tetapi merupakan eksperimen yang legitimate dan dapat dipergunakan untuk mengklarifikasikan perbedaan-perbedaan pada sifat moda dari material yang berbeda. Model dari sebuah *embankment dam* akan mengalami keruntuhan pada saat pembangunan dan peningkatan

kecepatan atau pembangunan dalam tahapan-tahapan akan menerima gaya angkat (*successive lift*).

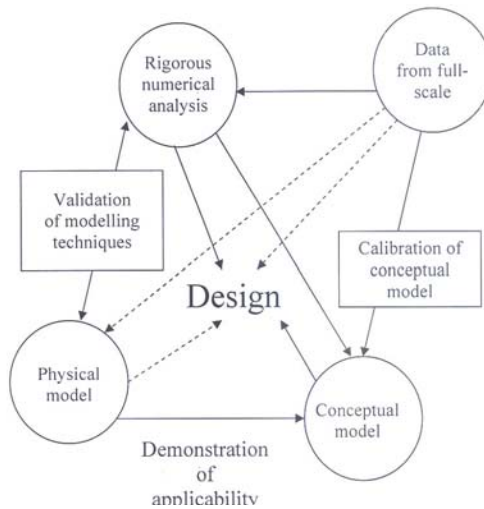
Model yang tipikal (1-g) selalu dikaitkan dengan skala perbandingan 2 atau tiga dan hasilnya didalam peringkat prosentasi 5% dapat dianggap memadai. Membuat model untuk sebuah model jarang sekali dilakukan seperti melakukan model yang betul-betul sama dengan 'boundary restraints', detail instrumentation dan variasi-g terhadap model akan menentukan penggunaan alat centrifuge atau alternatif *radial location* untuk sebuah mesin centrifuge. Centrifuge model test dapat melakukan eksperimen sesuai dengan apa yang direncanakan pada prototip model dilapangan.

Keuntungan untuk melakukan test dengan skala kecil di laboratorium, kondisi dari test dapat dikontrol dengan baik dan test dapat dilakukan dengan berbagai *boundary dan fail condition* untuk mengevaluasi mekanisme dari masalah geoteknik yang spesifik.

Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara physical modelling, numerical modelling dan data yang diperoleh dari *full scale model* dan aplikasinya pada desain. Randolph (2001) menunjukkan akan sangat menguntungkan jika melakukan *physical model test* untuk mengevaluasi respon yang kompleks dari tanah, kompleksitas dari geometri atau konstruksi dan sekaligus dapat dipelajari phenomena baru.

Pada Tabel 1 ditunjukkan prototip, model konvensional dan model centrifuge suatu uji sebuah pondasi. Dari tabel tersebut ada 6 kondisi yang diperbandingkan. Pada uji model konvensional dengan skala 1:n dan gravitasi 1g hanya 2 kondisi yang dipenuhi sedangkan pada uji centrifuge 5 kondisi terpenuhi, hanya kondisi terakhir mengenai besar butiran (grain size) yang menyimpang dari prototip. Ini disebabkan prototip pasir digunakan pada model. Ternyata hasil uji menunjukkan

pengaruh skala dari butiran pasir yang digunakan amat kecil terhadap hasil hubungan  $p/vd$  terhadap  $\partial/d$



Gambar 1 Kontribusi dari physical modelling terhadap disain (Randolph,2001)

	PROTOTYPE Scale : 1 : 1 Gravity : g	CONVENTIONAL MODEL Scale : 1: n Gravity : g	CENTRIFUGAL MODEL Scale : 1 : n Gravity : n . g
1	e	e similar	e similar
2	$\phi_{\mu}$	$\phi_{\mu}$ similar	$\phi_{\mu}$ similar
3	$\frac{\sigma_c}{\gamma \cdot d}$	$\frac{\sigma_c}{\gamma \cdot d/n}$ <u>not similar</u>	$\frac{\sigma_c}{n \cdot d/n}$ similar
4	$\frac{\sigma_g}{\gamma \cdot d}$	$\frac{\sigma_g}{\gamma \cdot d/n}$ <u>not similar</u>	$\frac{\sigma_g}{n \cdot d/n}$ similar
5	$\frac{E_g}{\gamma \cdot d}$	$\frac{E_g}{\gamma \cdot d/n}$ <u>not similar</u>	$\frac{E_g}{n \cdot d/n}$ similar
6	$\frac{d_g}{d}$	$\frac{d_g}{d/n}$ <u>not similar</u>	$\frac{d_g}{d/n}$ <u>not similar</u>

Tabel 1 : Kesamaan persyaratan untuk model konvensional dan model centrifuge

## Kelebihan dan keterbatasan

Alat centrifuge disamping sangat potensial untuk melakukan uji model juga mempunyai kelebihan dan keterbatasan.

### A. Kelebihan

- Alat centrifuge dapat meningkatkan berat sendiri (*self weight*) dengan memberikan akselerasi  $N$  kali gravitasi bumi untuk model skala  $1/N$ .
- Centrifuge model dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk melakukan uji karena dapat memperkecil ukuran model.
- Dapat menghemat biaya uji dibandingkan dengan model yang besar dengan gravitasi bumi.

### B. Keterbatasan

- Pengguna centrifuge agar dapat mengurangi kesalahan dalam membuat model terutama kesalahan pada besarnya akselaresi centrifugal, besar butiran jika menggunakan pasir atau material berbutir kasar sebagai media
- Kesulitan untuk memodelkan kondisi yang sebenarnya seperti: umur, kondisi tanah yang cukup rumit (*sophisticated*).
- Inkonsistensi faktor skala terhadap waktu seperti: panjang model  $1/N$ , gaya inersia  $1/N$ , aliran laminer  $1/N^2$  dan rangkak (*creep*)  $1$ .

## Prinsip pemodelan

Pemodelan merupakan suatu keperluan didalam rekayasa geoteknik. Pemodelan fisik berkaitan dengan replikasi dari model prototip. Model seringkali mereduksi skala dari prototip dan ini merupakan hal yang umum untuk model centrifuge.

Keperluan khusus bagi pemodelan geoteknik adalah memproduksi perilaku tanah dalam hal kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*). Didalam rekayasa geoteknik didapati spektrum yang sangat luas yang berkaitan dengan perilaku tanah untuk masalah yang khusus. Untuk struktur geoteknik seperti *embankment*, berat tanah sendiri merupakan gaya yang menentukan perilaku dari struktur tanah tersebut. Jika struktur *embankment* ini dimodelkan dilaboratorium dengan menggunakan material yang sama, agar tegangan yang bekerja pada model sama dengan tegangan yang bekerja pada prototip maka model tersebut tersebut harus diuji pada kondisi gravitasi yang N kali lebih besar garvitasi bumi. N merupakan faktor yang digunakan untuk mereduksi ukuran prototip. Tegangan yang timbul pada model dengan kedalaman  $z/N$  akan sama dengan tegangan material prototip pada kedalaman  $z$  karena material pembentuk sama dengan material prototip. Juga diharapkan kesamaan regangan (*strain similarity*) dipenuhi juga oleh model dan prototip.

Shofield, 1988 menggunakan konsep stabilitas lereng untuk menjelaskan fenomena tersebut diatas. Suatu lereng prototip dengan tinggi  $H_p$ , berat jenis tanah  $\gamma_p$  dan kohesi  $c_p$  dimodelkan dilaboratorium dengan tinggi lereng  $H_m$  dimana  $H_m = H_p / N$  seperti terlihat pada Gambar 2. Model dibuat dari bahan material yang sama dengan material prototip sehingga  $\gamma_m = \gamma_p$  dan  $c_m = c_p$ .



Gambar 2 Prototip dan model suatu lereng

Stabilitas kedua lereng tersebut dinyatakan dengan angka stabilitas lereng dari Taylor, 1947 seperti berikut:

$$(SN)_p = C_p / (\gamma_p H_p) \quad \text{dan} \quad (SN)_m = C_m / (\gamma_m H_m)$$

dimana  $(SN)_p$  dan  $(SN)_m$  adalah angka stabilitas prototip dan model.

Agar keruntuhan yang terjadi pada model sama dengan keruntuhan yang terjadi pada prototip maka angka stabilitas kedua lereng tersebut harus sama. Ini berarti  $\gamma_m = N \gamma_p = N\gamma$ . Hal ini dapat dicapai dengan menguji model tersebut pada percepatan sebesar N kali gravitasi yang dilakukan dengan bantuan alat centrifuge.

### Prinsip skala

Dalam Tabel 2 dibawah ini dapat dilihat faktor skala dari contoh yang yang di uji *in-flight* pada alat centrifuge yang berdasarkan " hukum model"

**Tabel 2** Hubungan skala dari model centrifuge

Tabel 2.1 Hukum skala untuk model statik

Parameter	Model / Prototype
Length	1/N
Area	1/N <sup>2</sup>
Volume	1/N <sup>3</sup>
Stres	1
Strain	1
Density	1

Gravity	N
Mass	$1/N^3$
Force	$1/N^2$
Time	$1/N^2$
Velocity	N
Concentration	1

N = faktor skala

Parameter	Model / Prototype
Length	$1/N$
Area	$1/N^2$
Volume	$1/N^3$
Stress	1
Strain	1
Velocity	1
Acceleration	N
Frequency	N
Time	$1/N$
Mass	$1/N^3$

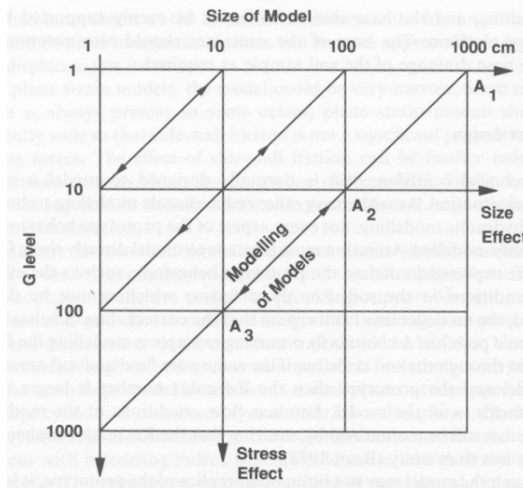
N = faktor skala

Tabel 2.2 Hukum skala untuk model dinamik

### Memodelkan sebuah model (*modelling of model*)

Ko, 1988 mengusulkan prinsip modeling of model untuk memverifikasi faktor skala yang diperoleh dari centrifuge. Dengan *modeling of model* ditunjukkan bahwa proses fisik tidak tergantung pada gravitasi pada saat percobaan dilakukan. Hal ini dapat dilakukan dengan pengujian satu model dengan gravitasi yang berbeda. Ko menggambarkan suatu prinsip

dari *modelling of model* yang secara skematis melalui Gambar 3. Pada gambar tersebut diperlihatkan jika suatu struktur prototip dengan panjang 1000 cm pada gravitasi 1-g (A1) dapat dimodelkan dengan suatu model fisik 100 cm dan diuji pada gravitasi 10 g (A2) atau dapat dimodelkan dengan model fisik 10 cm dan diuji dengan gravitasi 100 g (A3). Contoh yang lain adalah suatu model dengan 100 cm pada 10-g (A2) dapat dianggap sebagai prototip dari model dengan ukuran 10 cm dan diuji pada 100-g (A3). Dengan melakukan perbandingan terhadap hasil pengujian *modeling of model* dan dengan memperhatikan pengaruh tegangan (*stress*) serta ukuran butir (*grain size*) maka faktor skala yang digunakan dapat diverifikasi. Perilaku struktur yang sebenarnya dapat diprediksi dari hasil pengujian model fisik ini. Dengan demikian pengujian dengan skala penuh menjadi tidak perlu dilakukan.



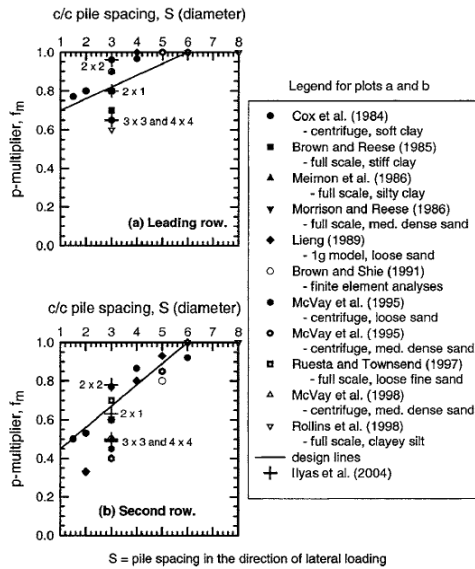
Gambar 3 Prinsip dari modelling of model (Ko,1988)

## Hadirin dan hadirat yang berbahagia

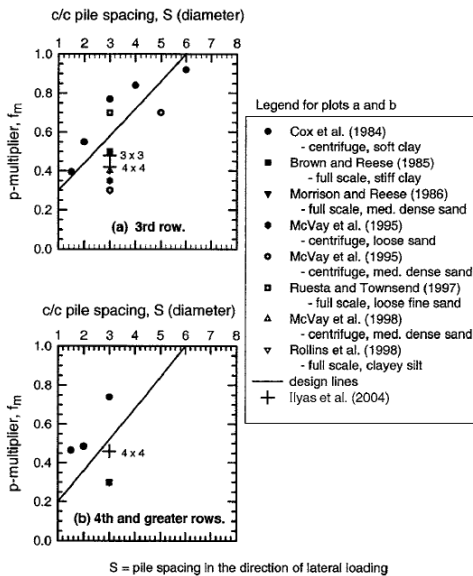
### Studi mengenai kegunaan praktis

Perkenankanlah saya menyampaikan hasil penelitian dari penulis (T.Ilyas et al, 2004) mengenai "Centrifuge Model Studi of Laterally Loaded Pile Groups in Clay" maupun peneliti lain yang dapat digunakan untuk keperluan praktis. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 p-multiplier untuk berbagai posisi dari baris pada berbagai grup tiang tergambar. Terlihat hasil penelitian yang kami lakukan menjadi bahan rujukan untuk menentukan berbagai macam p-multiplier ( $p_m$ ) untuk berbagai grup tiang yang simetris. Cara yang sederhana untuk meng-ekspresikan kehilangan tahanan tanah adalah dengan menggunakan "p-multiplier", .  $p_m$  adalah konstanta yang digunakan untuk memodifikasi kurva p-y dari tiang tunggal yang terisolasi. Matlock (1970) memperkenalkan kurva p-y untuk memecahkan analisa non linier terhadap kelanjutan dari pendekatan *subgrade reaction*. Kurva p-y adalah kurva empirik yang direkomendasikan penggunaannya setelah diverifikasi dengan uji coba skala penuh pada tiang terinstrumentasi. Setiap kurva p-y di suatu titik kedalaman adalah unik hanya untuk penampang/diameter tiang tersebut, jenis tanah pada kedalaman tersebut, gaya lateral tertentu (static/siklik) serta metoda instalasi tiang (*bored/driven*).

Gambar 4a menunjukkan garis disain untuk baris pertama (*leading row*) dan Gambar 4b menunjukkan garis disain untuk baris kedua dari grup tiang. Terlihat data hasil penelitian kami di *super imposed* pada gambar 4a dan 4b bersama dengan kompilasi dari titik-titik data yang diperoleh dari hasil penelitian peneliti lainnya seperti ditunjukkan pada legenda. Terlihat pada gambar tersebut hasil penelitian kami adalah grup tiang pada clay satu-satunya. Gambar 5 menunjukkan garis disain untuk baris ketiga dan keempat dari grup tiang dengan titik-titik data hasil penelitian kami dan data eksperimen peneliti lain

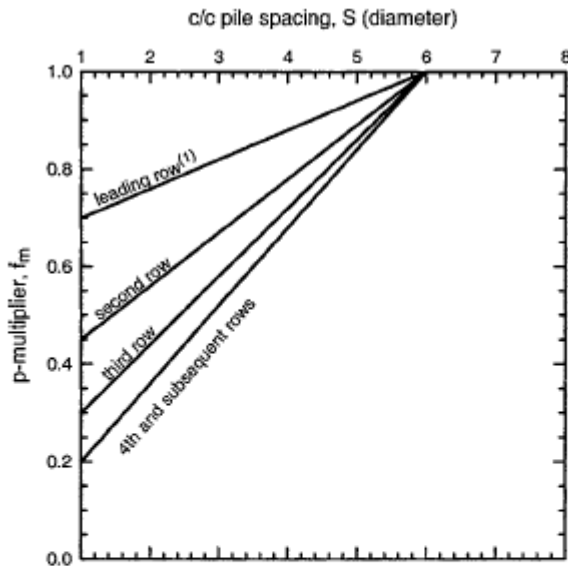


Gambar 4 p-multiplier untuk lead dan second row (Sumber: Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering © ASCE / October 2005)



Gambar 5 p-multiplier untuk third row dan fourth row (Sumber: Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering © ASCE / October 2005)

Gambar 6 merupakan kompilasi dari Gambar 4 Gambar 5 yang sangat berguna untuk kegunaan praktis. Grafik pada Gambar 6 dapat digunakan untuk mengestimasi nilai dari faktor p-multiplier berdasarkan jarak tiang dan lokasi tiang dalam grup.



**Notes:**

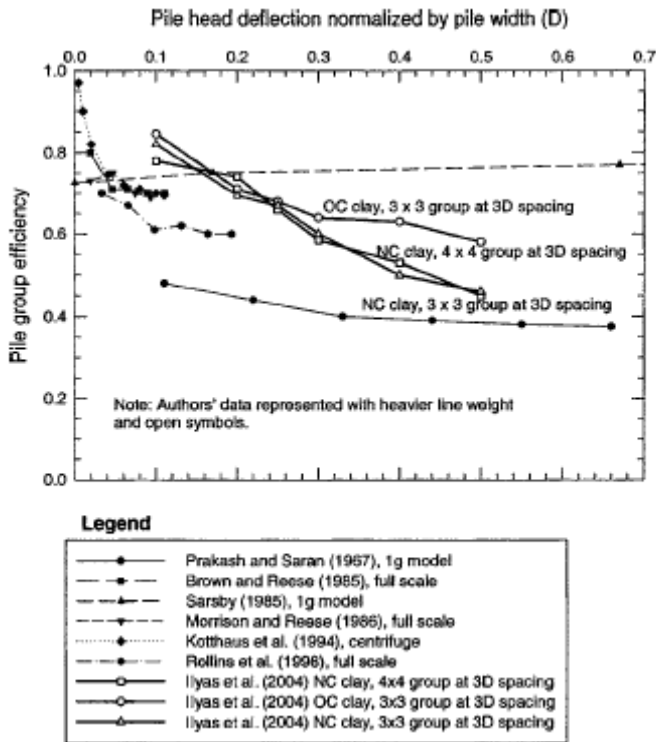
- (1) The term row used in this chart refers to piles aligned perpendicular to the direction of applied load.
- (2) Use the  $f_m$  values recommended for the 4th row for all rows beyond the 4th row.
- (3) Bending moments and shear forces computed for the leading row corner piles should be adjusted as follows:

<u>side by side spacing</u>	<u>corner pile factor</u>
3D	1.0
2D	1.2
1D	1.6

Gambar 6 Kompilasi dari Gb 4 dan Gb 5 (Sumber: Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering © ASCE / October 2005)

Hal lain yang didiskusikan adalah mengenai grup efisiensi. Grup efisiensi menurun dengan naiknya perpindahan kepala tiang (*pile head displacement*) didalam grup tiang Perubahan dari grup efisiensi menurut

penulis bervariasi tergantung dari jarak tiang dan ratio konsolidasi dari tanah. Gambar 7 menunjukkan plot dari data penulis untuk tiga jenis tes serta hasil dari peneliti lain dimana grup efisiensi dapat diperbandingkan dengan defleksi dari kepala tiang yang dinormalisasikan dengan lebar tiang. Dari Gambar 7 tersebut terlihat sangat konservatif untuk menghitung p-multiplier dari hasil *loading test* grup tiang pada defleksi yang cukup besar lebih dari 0.2 D.

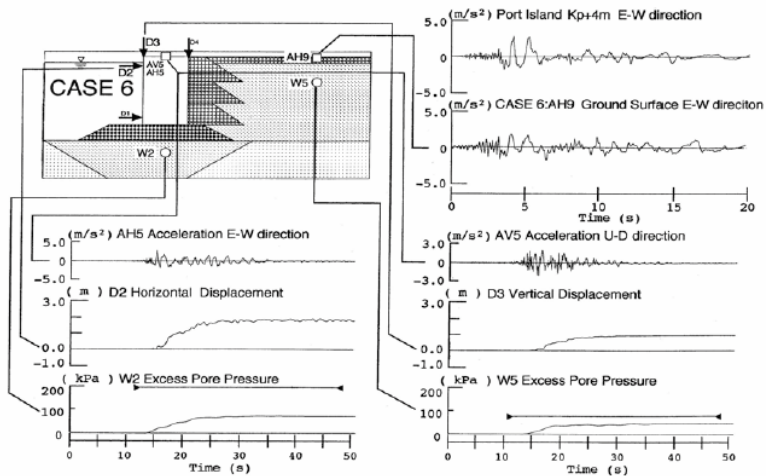


Gambar 7 Grup efisiensi versus normalisasi perpindahan kepala tiang ((Sumber: Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering © ASCE / October 2005)

## Studi mengenai Gempa Bumi

*Physical modelling* dapat digunakan untuk menguji secara komprehensif dan untuk mengetahui mitigasi guna mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Di Jepang gempa bumi merupakan bencana alam yang menjadi prioritas tinggi untuk penanggulangan maupun mencegah efek yang lebih luas jika terjadi gempa. *Shaking tables tests* yang dilakukan dengan 1-g seringkali digunakan untuk mengevaluasi struktur dan respon elemen geoteknik akibat gempa bumi yang masif. Iai (2001) dari Port and Airport Research Institute (PARI) mengilustrasikan penggunaan shaking table yang besar untuk menguji respon dinamik dari *wharf front structure* (struktur depan dermaga) dari berbagai tingkat gerakan dari gempa bumi. Dia memperlihatkan pentingnya menggunakan hukum skala yang benar pada model untuk mendapatkan tes data yang akurat dari panjang, waktu, akselerasi, perpindahan, tegangan/tekanan dan regangan serta eksese tegangan pori. Akselerasi pada permukaan tanah (AV9) dan dibawah struktur (W2) dapat diobservasi sehingga dapat diketahui secara tepat kondisi dari struktur pada saat uji *shaking*

Observasi tipikal mengenai struktur dermaga terhadap gempa bumi diilustrasikan pada Gambar 8. Hasilnya menunjukkan uji dengan menggunakan *shaking table* yang besar memberikan pengertian yang lebih baik dari perilaku struktur dermaga akibat beban gempa sehingga engineer dapat mendisain dengan lebih aman struktur dermaga.

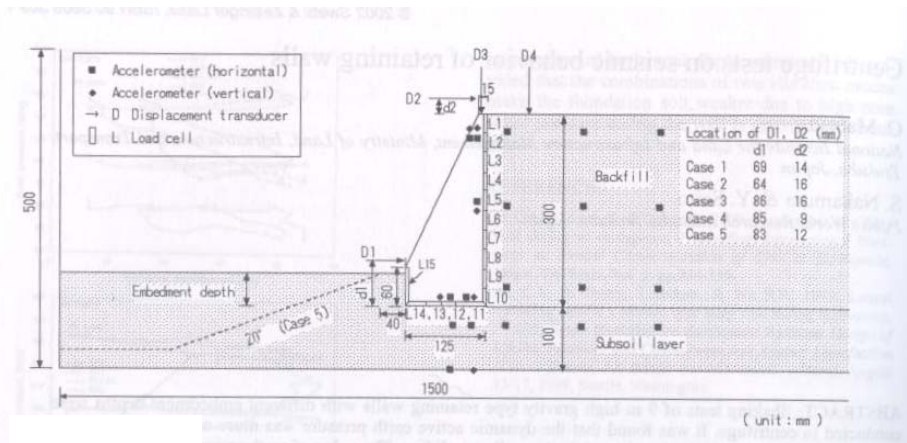


Gambar 8 Hasil tipikal dari tes shaking table ( Iai,2001)

### Studi mengenai Tekanan tanah aktif akibat seismic pada *Retaining Wall*

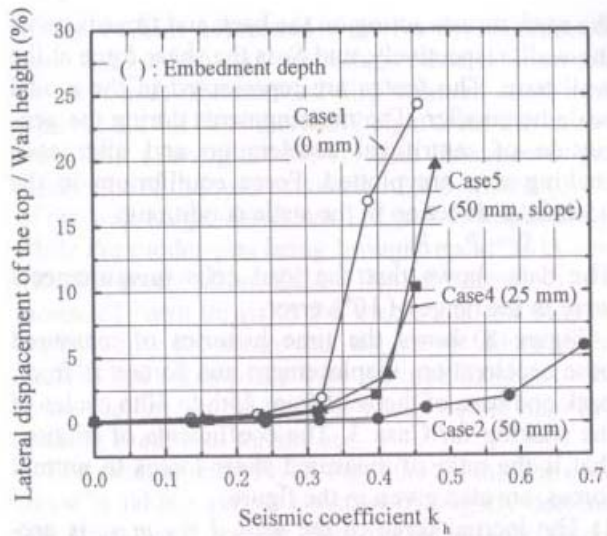
Lebih lanjut akan diilustrasikan penggunaan model centrifuge untuk menggambarkan terjadinya *sliding* pada *retaining wall* (dinding penahan tanah) yang memiliki *embedment* dimuka dinding penahan tanah.

Pada gambar 9 dibawah ini diilustrasikan sebuah model dinding penahan tanah yang dilakukan pengujian dengan alat centrifuge



Gambar 9 Model set up (Matsuo et al, 2002)

*Shaking test* dari sebuah *gravity retaining wall* setinggi 9 m dengan perbedaan embedment dilakukan pada alat centrifuge. Ditemukan tekanan tanah aktif lebih kecil ketika dinding *sliding*. Nilai dari tekanan tanah ditemukan lebih kecil dari standar yang diajukan oleh tekanan tanah aktif Monobe-Okabe. Dengan memberikan embedment sangat membantu untuk meningkatkan stabilitas seismik. Pada Gambar 10 ditunjukkan perpindahan horizontal dari puncak dinding selama *shaking event*. Terlihat pada gambar tersebut perpindahan horizontal meningkat meningkatnya akselerasi namun dengan *embedment* yang besar perpindahannya mengecil. Dengan memberikan *embedment* terlihat sangat signifikan untuk mengurangi displacement akibat beban gempa. Gambar 11 menunjukkan pergeseran dinding setelah uji coba. Kasus 1 tanpa embedment, Kasus 2 dengan embedment 50 mm (16% dari tinggi dinding penahan tanah) dan kasus 5 dengan 25 mm (8% dari tinggi retaining wall). Kedua model dengan jelas memperlihatkan bentuk kelongsoran yang amat berbeda dengan adanya *embedment*



Gambar 10 Hubungan antara lateral displacement dan besaran shaking

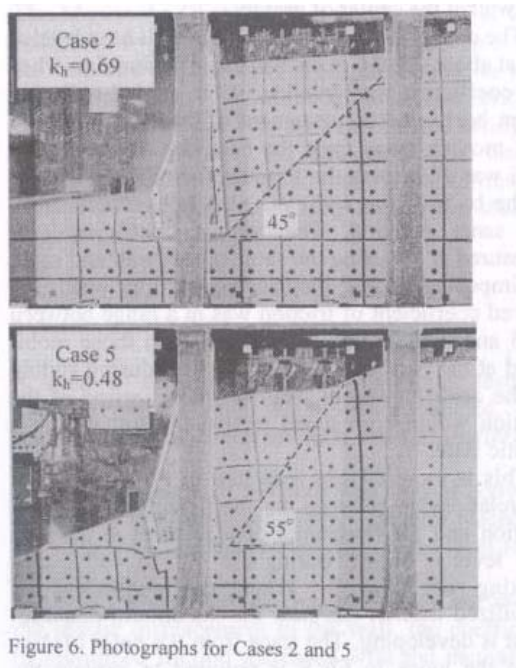


Figure 6. Photographs for Cases 2 and 5

Gambar 11 Photo dari kasus 5 dan 6 setelah uji coba

Dari hasil penelitian dengan menggunakan model centrifuge bentuk struktur setelah uji coba secara detail dapat dipelajari.

**Hadirin dan hadirat yang berbahagia,**

### **Penggunaan model Centrifuge untuk pengajaran**

Jika pengajaran mengenai konsep dasar dari ilmu mekanika tanah telah diajarkan, tahap selanjutnya pada pengajaran akan diberikan secara bertahap masalah nilai batas (*boundary*) yang lebih kompleks. Fenomena alam seperti gempa bumi, tsunami, landslide dan lainnya terlalu sulit untuk digambarkan secara utuh. Oleh karena itu pendekatan laboratoris diharapkan dapat mengatasinya. Penggunaan *modelling* memiliki keandalan dan dinilai mampu untuk mensimulasikannya.

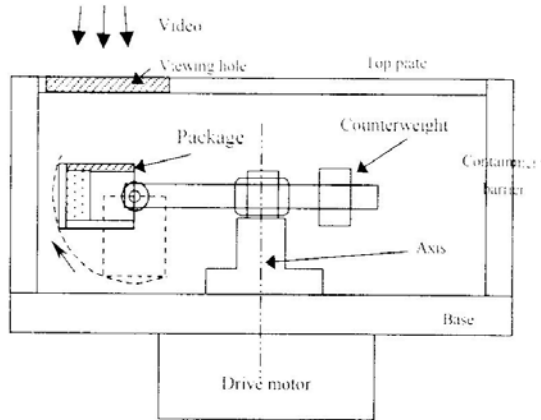
Pada tataran ini *physical modeling* menjadi alat yang sangat tepat untuk memberikan gambaran pada murid untuk menangkap bentuk-bentuk yang berbeda dari struktur geoteknik, proses yang terjadi pada perilakunya, asumsi penetapan batas dari masalah dan analitikal tool yang berhubungan dengan desain. Physical model biasanya dibatasi pada model laboratory dari keruntuhan lereng (*slope failure*), problema seepage, dan perilaku fondasi. Bentuk dari demonstrasi akan melibatkan sejumlah sesi laboratorium atau penelitian tugas akhir mahasiswa. Physical model pada 1-g dapat memberikan gambaran mengenai konsep dasar dari permasalahan, uji model pada akselerasi yang meningkat dapat memdemonstrasikan perilaku yang halus, mekanisme keruntuhan yang realistik dan memberikan data lapangan dasar untuk melkukan anlisa balik (*back analysis*). Tes juga digunakan untuk memperkenalkan konsep skala model kepada murid-murid. Peralatan centrifuge yang umum dapat dipakai untuk keperluan pembelajaran, namun biaya operasinya cukup mahal. Type 'small beam dan drum centrifuge' memberikan alternatif teknik, tetapi tetap memerlukan pengetahuan

spesialis dan teknisi yang berpengalaman. Centrifuge dengan beam dengan radius  $< 0.5$  m telah dibuat untuk pengajaran maupun penelitian (Atkinson 1993, Mitchell et al, 2000). Centrifuge dengan jenis kecil memberikan keuntungan karena harganya relatif murah dan murah juga biaya pengoperasian dan memodifikasi, serta dapat melakukan tes yang dapat dilakukan dengan cepat. Komponen pendukung alat centrifuge jenis kecil ini juga sederhana (karena mengurangi tegangan dan tingkat keamanan pengoperasian yang lebih aman). Alat jenis kecil ini mudah unrtuk dioperasikan, memungkinkan pengguna baru untuk menangkap konsep *centrifuge modelling* lebih cepat. Alat yang kecil ini juga mudah dipindah-pindahkan, bahkan ke dalam kelas, atau dapat digunakan untuk demonstrasi bagi klien yang menginginkan centrifuge yang lebih besar. Dibawah ini diperlihatkan *mini beam centrifuge* dari Dundee(UK).

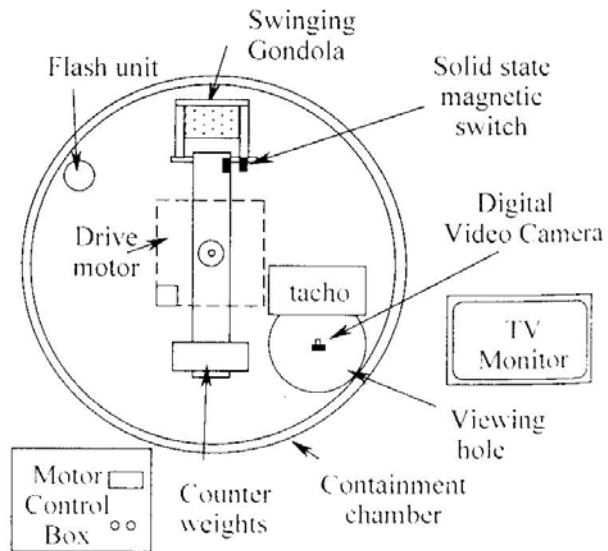
Tabel 3 : Mini-centrifuge specifications

Package volume	800mm x80mmx80mm
Package mass	1 kg
Drive power	150 Watt
Rotaional speed	30 to 1000 rpm
Radius at base of package	0.35 m
Acceleration	3 to 400g @ 0.325m radius
Centrifuge capacity	0.4 g-tone

Terlihat dari spesifikasi pada Tabel 3 diatas ukuran serta daya penggerak listrik memang kecil. Sangat cocok untuk proses pembelajaran dikelas guna mengantisipasi permasalahan geoteknik yang kompleks.



Gambar 12 Potongan dari centrifuge kecil

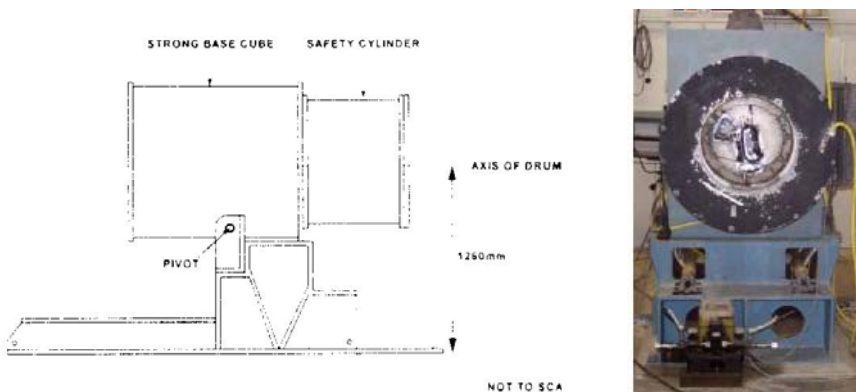


Gambar 12. Komponen Utama dari alat centrifuge

Jadi dengan ukuran yang mini memang menjadi *cost effective* baik dari operasionalisasi maupun pemeliharaan. Sudah saatnya PT di Indonesia untuk memiliki alat semacam ini untuk meningkatkan kualitas

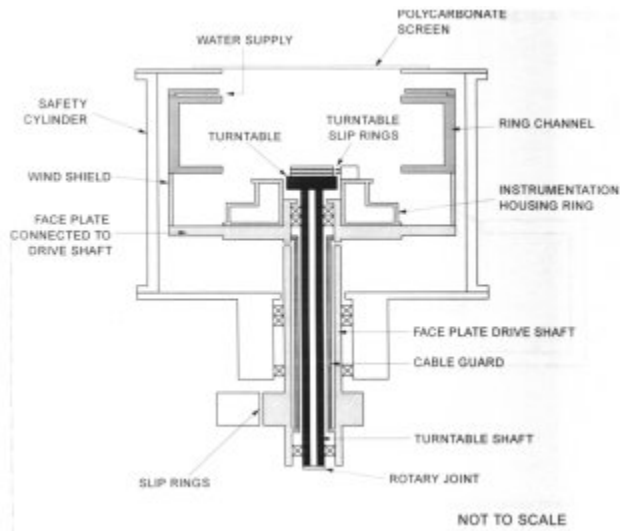
pembelajaran sehingga pada akhirnya menelurkan hasil-hasil penelitian yang mendunia.

Jenis lain yaitu mini drum centrifuge dengan radius 0.37 m untuk pengajaran digunakan di Cambridge University (UK). Sejak 1998 module untuk graduate di tawarkan untuk dengan tangan sendiri melakukan eksperimen dengan menggunakan 'small scale drum' centrifuge untuk menyelidiki masalah-masalah rekayasa geoteknik. Problema yang diangkat dari problem geoteknik yang sudah umum dikenal, mulai dari timbunan diatas lempung lunak, dan fondasi diatas tanah lunak. Problema-problema itu dipilih untuk mendemonstrasikan efek dari kecepatan pembangunan ( *contruction rate effects*), berbagai lapisan dengan permeability yang bervariasi, dan penggunaan teknik perbaikan tanah. Konten dari modul (R5) diberikan bersamaan dengan contoh data dan interpretasi yang dilakukan oleh mahasiswa. Mahasiswa postgraduate (S2) pada tahun pertama ditawarkan dan diekspos kepada *advanced geotechnical engineering modelling techniques*, baik physical maupun numerik. R5 module memiliki objektif : i) memberi pengajaran rekayasa geoteknik dengan *hands on approach*



Gambar 13 Elevasi serta foto dari Centrifuge MK II Cambridge University dengan aksis horizontal (Baker, 1998)

ii) melatih mahasiswa pasca dalam teknik modelling baik untuk menjadi peneliti maupun pindah ke industri agar waspada terhadap potensi dari teknologi ini untuk penggunaan dimasa depan ketika menghadapi permasalahan yang kompleks. Dibawah ini terlihat potongan mini drum centrifuge Cambridge University (UK) dengan aksis vertikal



Gambar 14 Potongan dari alat centrifuge MK II Cambridge University dengan aksis vertikal (Baker,1998)

**Hadirin yang saya hormati,**

Dari urain saya mengenai penggunaan model centrifuge amat bermanfaat untuk mensimulasikan sebuah prototip maupun kondisi yang sebenarnya. *Modelling* dapat digunakan untuk penelitian dengan menggunakan centrifuge yang regular, maupun pengajaran dengan menggunakan mini centrifuge. Untuk beberapa kasus menggunakan modeling dengan alat 1-g juga dapat dilakukan. Penelitian untuk

mengantisipasi tsunami dengan membuat dinding penahan yang spesifik seperti yang dilakukan di Kobe Jepang sudah dapat dilakukan. Antisipasi kerusakan akibat gempa tektonik maupun vulkanik dapat juga dilakukan dengan modeling seperti telah dilakukan di negara yang banyak gempa seperti Jepang, Iran, Pakistan dan lainnnya. Harapan kami penggunaan dan pemanfaatan modelling untuk mengantisipasi tsunami dan kerusakan akibat gempa serta longsor di Indonesia dapat dikerjakan oleh peneliti-peneliti dibidang geoteknik secara bersama sehingga dapat menyumbangkan hasilnya untuk dapat diterapkan pada daerah-daerah yang rawan tsunami, rawan gempa dan rawan longsor.

**Hadirin yang saya hormati,**

Sebelum saya menutup pidato pengukuhan saya, perkenankanlah saya sekali lagi bersyukur kehadiran Allah swt yang memberi karuniaNya dengan melapangkan dan membimbing jalan saya, sehingga hari ini saya dikukuhkan menjadi Guru Besar Tetap dilingkungan FTUI. Tanpa perkenanNya tidak mungkin hal ini terjadi dan salawat dan salam untuk Rasulullah Muhammad saw beserta keluarganya.

Rasa terimakasih dan hormat saya sampaikan kepada:

1. Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia
2. Rektor Universitas Indonesia
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia
4. Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia
5. Rekan-rekan kelompok keilmuan Geoteknik Jurusan Sipil FTUI

Hadirin dan hadirat yang berbahagia

Rasa terima kasih kepada kedua orang tua saya, almarhum ayahanda Ilyas Sutan Maradjo serta almarhumah ibunda Wartini yang telah membimbing, membesarkan dan mendidik saya dengan penuh kasih sayang. Doa khusus saya sampaikan kepada beliau dengan harapan doa anak yang saleh diterima oleh Allah swt, karena berkat beliau saya menjadi seperti ini.

Rasa terima kasih juga saya sampaikan kepada Ayahanda Mertua dr A.Azis dan Almarhumah Ibunda Mertua Yusnaini yang secara tulus selalu memberikan dorongan dan nasihat agar saya selalu mencapai yang terbaik dalam hidup ini.

Kepada kakak saya Yusni Mahyunir, Alm. Yusuf Ilyas, Yan Ilyas, Meinizar Ilyas dan Alm Zainul Arufin serta adik-adik saya Emmy Muharani, Irwan Ilyas dan Dessy Farida saya mengucapkan terima kasih atas dorongan dan doa yang diberikan pada saya.

Kepada adik-adik ipar Genta Suri, Iskandar, Chatrapati dan M Hatta saya juga mengucapkan terimakasih atas dorongan dan doa yang diberikan pada saya.

Akhirnya saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada istri yang tercinta Diana Indrawati yang selalu mendampingi dengan kesabaran dikala susah dan senang dan yang selalu memberikan dorongan dan doanya sehingga pengukuhan pada hari ini.

Kepada ketiga anak saya Ihtiar Nur, Marina Annisa dan Fitri Nurandianti papa ucapkan terima kasih atas dukungan dan doa ananda walaupun seringkali ayahanda tetap bekerja pada hari libur yang seharusnya bersama kalian. Doa papa untuk kebahagiaan kamu bertiga. Kebahagiaan papa juga merupakan kebahagiaan mama, dan kamu bertiga Tiar, Nina dan Fitri.

Kepada hadirin dan hadirat yang saya hormati, sekali lagi saya ucapkan terima kasih atas kesediaan Saudara meluangkan waktu untuk menghadiri pengukuhan hari ini. Semoga Allah swt selalu memberkati dan melindungi kita semua. Amien Ya Robbal Alamien. Wabillahit Taufik Walhidayah.

**Wassalamu'alaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh.**

## Referensi

1. T.Ilyas, CF Leung, YK Chow, SS Budi "Centrifuge Model Studi of Laterally Loaded Pile Groups in Clay". Journal of Geotechnical Engineering March 2004 Vol.130, Number 3 ISSN 1090-0241.
2. T.Ilyas, CF Leung, YK Chow, SS Budi."Discussion of "Centrifuge Model Studi of Laterally Loaded Pile Groups in Clay"". Journal of Geotechnical Engineering October 2005 Vol.135, Number 3 ISSN 1090-0241
3. T.Ilyas, Leung CF, Chow YK and Budi SS,2002, "Performance of Laterally Loaded Pile Group in Clay". International Conference on Physical Modelling in Geotechnics 10-12 July 2002, Canada.
4. T.Ilyas, 2002. Disertasi: "Perilaku Grup Tiang Dilapiskan Tanah Lempung Yang Dibebani Gaya Lateral statis: Studi Dengan Menggunakan Teknik Model centrifuge", Universitas Indonesia, Faculty Teknik, Program Pasca Sarjana.
5. Scot. R.F, 1981 "Pile testing in a centrifuge" Proc. 10th Int. Conf. Soil Mechanic Foundation Engineering, Vol.2, pp.839-842.
6. Hamilton J.M, Dunnavant T.W, Murff.J.D, & Philips R, 1991 " Centrifuge study of laterally loaded pile behaviour in clay" Centrifuge 91, Ed. by Ko.H.Y, and McLean.F, A.A Balkema Publishers, Rotterdam, Nederlands, pp.285- 292
7. Kitazume.M, & Miyajima.S, 1994 "Lateral resistance of a long pile in soft clay" Centrifuge 94, Ed. by Leung.C.F, Lee.F.H, and Tan.T.S, A.A Balkema Publishers, Rotterdam, Nederlands, pp.485-490
8. Foray.P, Balachowsky.L & Rault G. " Scale effect in shaft friction due to localisation of deformations", Centrifuge 98, Ed. by Kimura.T, Kusakabe.O,and Takemura.J., A.A Balkema Publishers, Rotterdam, Nederlands, pp.211-216
9. Mc Vay M, Bloomquist D, Vanderlaine D and Clausen J, 1994 "Centrifuge modeling of laterally loaded pile groups in sand" , Geotechnical Testing Journal, GTJODJ. Vol 17, No.2, June 1994, pp. 129-137
10. Mc Vay M, Casper R and Shang T-I, " Lateral response of three-row groups in loose to dense sands at 3D and 5D pile spacing" Journal of Geotechnical Engineering, Vol 121, N0.5, May 1995, pp 436-441
11. Kouda M, Okamoto M, Takemura J, Kimura T, 1998, " Direct measurement of P-y relationship of piles in sand" Centrifuge 98, Ed.

12. Kim, J.B, Brungraber R.J., 1976, "Full scale lateral load tests of pile groups" Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proc. of ASCE, Vol 102, No.GT1, July 1976, pp.87-105
13. Rollins K.M, Peterson K.T, Weaver T.J., 1998 "Lateral load behavior of full scale pile group in Clay" Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, Vol.124, No.6, pp468-478, June 1998.
14. Broms B.B,1964 " Lateral resistance of piles in cohesive soils" Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil engineers, Vol.90, N0.SM2, pp27-63, March 1964
15. Matlock H, 1970 "Correlation for design of laterally loaded pile in soft clay" Second Annual Offshore Technology Conference , April, 1970, Houston, Texas
16. Bransby M.F, 1999, "Selection of p-y curves for the design of single laterally loaded piles" International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, 23, pp.1909-1926, 1999
17. Ko H.Y, Atkinson R.H, Goble G.G, Ealy C.D, 1984 "Centrifugal modeling of pile foundations" Analysis and Design of Pile Foundations, Mayer J.R(editor), ASCE publications,pp 21-40
18. TA.Newson, MF.Bransby & G.Kanourgiaki. "The use of small centrifuges for geotechnical education" . Physical modelling in Geotechnics: ICPMG '02, Philips, Guo & Popescue(eds) @ 2002 Swets & Zetlinger Lisse, ISBN 90 5809 389 1
19. SPG Madabhushi & WA Take. "Use of mini-drum centrifuge for teaching of geotechnical engineering. Physical modelling in Geotechnics: ICPMG '02, Philips, Guo & Popescue(eds) @ 2002 Swets & Zetlinger Lisse, ISBN 90 5809 389 1
20. O.Matsuo, S.Nakamura & Y.Saito. "Centrifuge tests on seismic behaviour of retaining walls". Physical modelling in Geotechnics: ICPMG '02, Philips, Guo & Popescue(eds) @ 2002 Swets & Zetlinger Lisse, ISBN 90 5809 389 1
21. Iai,S,2001."Mechanics of model test: 1g field". Presentation at 15<sup>th</sup> International Conference on soil Mechanics and geotechnical Engineering TC2 Workshop, August 2001, Istanbul.

## **RIWAYAT HIDUP**

### **Data Pribadi**

Nama lengkap : Tommy Ilyas  
NIP : 130675142  
Pangkat/Golongan : Pembina Utama Muda (Gol IV/c)  
Jabatan terakhir : Guru Besar pada Fakultas Teknik UI  
Tempat & Tgl. Lahir : Padang, 5 Mei 1951  
Jenis Kelamin : Pria  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Menikah  
Nama Istri : Diana Indrawati  
Nama Anak : 1. Ihtiar Nur (Mhs FTUI)  
2. Marina Annisa (Siswi SMU klas 3)  
3. Fitri Nurandianti (Siswi SD klas 4)  
Nama Orang Tua : Ilyas Sutan Maradjo  
Wartini  
Nama Mertua : dr A. Azis  
Yusnaini

### **Riwayat Pendidikan Formal**

1963 : Sekolah Dasar Hutabarat di Bogor  
1966 : SMP Negeri 2 di Bogor  
1969 : SMA Negeri 2 di Bogor  
1977 : Fakultas Teknik Universitas Indonesia (Ir)  
1983 : University of Sheffield UK England (M.Eng)  
2002 : Universitas Indonesia (Dr)

## **Riwayat Kepangkatan**

- 1 Februari 1978 : Penata Muda, III/a, Asisten Ahli Madya  
1 April 1980 : Penata Muda Tk I, III/b, Asisten Ahli  
1 Oktober 1984 : Penata, III/c, Asisten Ahli Kepala  
1 Oktober 1986 : Penata Tk.I, III/d, Lektor Madya  
29 April 1990 : Pembina IV/a, Lektor  
1 Oktober 1995 : Pembina Tk.I, IV/b, Lektor  
1 Oktober 2003 : Pembina Utama, IV/c, Lektor Kepala  
1 Maret 2006- sekarang : Guru Besar

## **Riwayat Jabatan Struktural**

- 1-8-1985 s/d 1987 : Pembantu Dekan Bid Adm. Umum FTUI  
19-12-1987 s/d 1991 : Pembantu Dekan Bid Adm. Umum FTUI  
1991 – 1998 : Direktur World Bank Project Loan 2944; 3311  
(HEDP), DUE dan QUE  
17-7-2002 s/d April 2006: Sekretaris Ditjen Dikti Depdiknas

## **Organisasi**

- Anggota HATTI (Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia)  
Anggota HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia)  
Anggota HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)  
Anggota HAMKI (Himpunan Ahli Managemen Konstruksi Indonesia)

## **Seminar/Conference/Symposium**

- 2001 Pembicara pada Pertemuan Ilmiah tahunan Geoteknik V 2001  
Moderator pada Pertemuan Ilmiah tahunan Geoteknik V 2001  
2002 Pembicara pada “The International on Physical Modeling in  
Geotechnics” in St.John’s Newfoundland, Canada-July 10-12  
2003 Pemakalah dalam Seminar Quality in Research ke 6 Fakultas  
Teknik UI, 1-2 Oktober 2003

Pembicara pada Seminar Ilmiah dengan tema Kesiapan Fak.Teknik Univ.Brawijaya dalam menyongsong BHMN Unibraw, Malang, 18 Oktober 2003.

Pembicara pada Lokakarya "Penjaminan Mutu Akademik dan Kewirausahaan di Universitas Indonesia, 21-22 Oktober 2003

Pembicara pada Sarasehan Penyusunan Visi dan Misi FTI-ITS "Reposisi Peran FTI – ITS Selaras Dengan Tantangan Zaman, 11-12 Desember 2003

Pembicara pada Konferensi Geoteknik Indonesia – VI dan Pertemuan Ilmiah tahunan –VII, 11-13 Agustus 2003

2004 Peserta "Symposium on Strategic Choices for Higher Education Reform and Quality Assurance", Bangkok, Thailand, 27-29 April 2004

Pembicara pada Konferensi Geoteknik Indonesia – VIII, 3-4 Agustus

2005 Menghadiri "The World Wide Education & Research Conference 2005" di San Fransisco, Amerika Serikat, 14-17 Februari 2005

2006 Menghadiri "The World Wide Education & Research Conference 2006" di New York, Amerika Serikat, 6-9 Maret;

Pembicara pada Symposium Student Loan Fund di Bangkok 16-18 Maret 2006

## **Publikasi Ilmiah**

1. T.Ilyas, Leung CF, Chow YK and Budi SS,2002, "Performance of Laterally Loaded Pile Group in Clay". International Conference on Physical Mdellingin Geotechnics 10-12 July 2002, Canada.
2. T.Ilyas dan Budi Supandji, 2001, "Kinerja grup tiang yang menerima beban lateral di lapisan lempung : Studi model centrifuge". Seminar Nasional HATTI, Bandung 7-8 November 2001.
3. T.Ilyas, 2002 "Studi model centrifuge dari grup tiang yang dibebani beban lateral pada lapisan lempung: Karakteristik bending momen". Jurnal Teknologi, ISSN 215-1685
4. T.Ilyas, Hardjanto "Analisis Perilaku Pile Cap dari Grup Tiang Terhadap Beban Lateral Statis: Studi pada Tanah Lempung dengan Memperhatikan 'Shadowing Effect". Prosiding Konferensi Geoteknik Indonesia – VI dan Pertemuan Ilmiah Tahunan – VII, Hotel Horison Jakarta, 11-13 Agustus 2003, ISBN 979-96668-3-X

5. T.Ilyas, CF Leung, YK Chow, SS Budi."Analysis of Laterally Loaded Pile Group in Clay". Proceeding of the 12<sup>th</sup> Asian Regional conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering". Vol.1, 2003
6. T.Ilyas, Hardjanto " Analysis of Pile Group behaviour under Static Load". Construction and Structural Engineerig Studies Center Journal Vol.4, Number 2, December 2003, ISSN 1411-306
7. T.Ilyas, CF Leung, YK Chow, SS Budi "Centrifuge Model Studi of Laterally Loaded Pile Groups in Clay". Journal of Geotechnical Engineering March 2004 Vol.130, Number 3 ISSN 1090-0241.
8. T.Ilyas "Kegagalan Lereng (Slope Failure) Studi Kasus: Jalan Antara Samarinda – Tenggarong". Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan – VIII. Pusat Studi Jepang- UI, 3-4 Agustus 2004, ISBN 979-96668-3-X.
9. T.Ilyas, Damrizal D, Erly Bahsan, Agus Indriyono, Rita P, S Rasdiyati "KelongSORAN pada Bantaran Sungai: Studi Kasus Bantaran Kali Ciliwung Wilayah Jakarta Selatan dan Timur". Jurnal Teknologi, Edisi No.3 Tahun XIX, September 2005, ISSN 0215-1685.
10. T.Ilyas, CF Leung, YK Chow, SS Budi."Discussion of `Centrifuge Model Studi of Laterally Loaded Pile Groups in Clay'". Journal of Geotechnical Engineering October 2005 Vol.135, Number 3 ISSN 1090-0241.