



# GEOTALK XIX 2022

## HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA

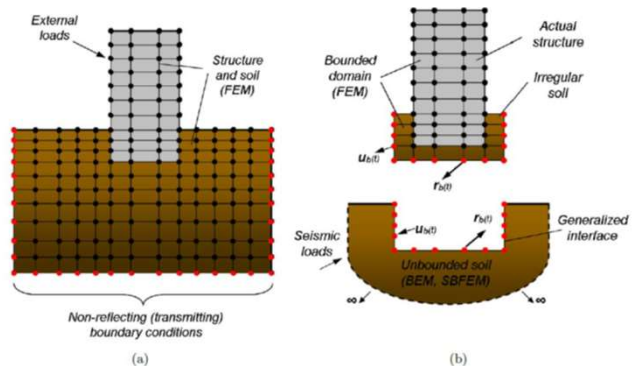
### Interaksi Tanah Struktur untuk Desain Bangunan Tahan Seismik Berdasarkan SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019

Prof. Paulus P. Rahardjo, Ph.D.  
Universitas Katolik Parahyangan

#### Outline Presentation



1. Persyaratan Desain Gempa pada Fondasi
2. Lingkup Interaksi Tanah Struktur (ITS)
3. Kinematik dan Inertial Interaksi Tanah Struktur
4. Metode Analisis Interaksi Tanah Struktur
5. Efek Redaman Fondasi
6. Interaksi Tanah – Fondasi – Struktur
7. Damping pada tanah dan Fondasi Tiang
- 8 Gaya Lateral Ekuivalen
9. Analisis Dinamik Linier
10. Summary



## Persyaratan Desain Gempa pada Fondasi (SNI 8460:2017 - Pasal 12.2.4)



### 12.2.4.1 Deskripsi

Penyebab kerusakan tiang akibat gempa (*earthquake-induced damage*) dapat dikategorikan sebagai berikut:

- a) Tanggapan tanah (*ground response*), yaitu berupa gerakan yang diterima oleh tiang akibat respons terhadap tanah sekitar yang mengakibatkan terjadinya tegangan tekuk dan geser pada tiang;
- b) Gaya-gaya inersia, yaitu berupa beban aksial dan horizontal yang besar akibat respons struktur atas sebagai beban tambahan pada beban akibat tanah sekitar tiang;
- c) Likuifaksi/goyangan tanah (*ground motion*), yaitu berupa pengurangan kekakuan tanah pada lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi (*liquifiable*) tanpa terjadinya perpindahan permanen arah lateral yang signifikan disertai dengan pengurangan kekuatan penahan lateral secara signifikan;
- d) Likuifaksi/*lateral spreading*, yaitu berupa tegangan residual signifikan akibat perpindahan permanen pada kepala tiang.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Ruang Lingkup (SNI 1726:2019 - Pasal 14.1)



Penentuan gaya-gaya gempa desain dan perpindahan yang terjadi akibat gaya-gaya yang bekerja pada struktur tahan gempa diizinkan untuk mempertimbangkan pengaruh interaksi tanah struktur (ITS) sesuai pasal ini.

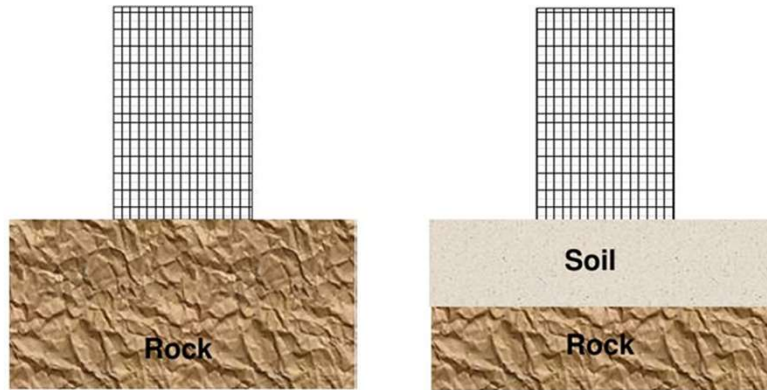
Interaksi tanah struktur dapat diperhitungkan pada analisis gaya lateral ekuivalen, analisis linear dinamik, atau analisis riwayat respons gempa ketika struktur berada pada kelas situs C, D, E, atau F.

Ketika efek dari interaksi tanah dan struktur diperhitungkan, maka model harus dapat memperhitungkan fleksibilitas dari fondasi dan tanah untuk arah horizontal, vertikal, dan rotasi.

Kondisi yang menghasilkan parameter respons dengan reduksi yang lebih kecil atau amplifikasi yang lebih besar, harus digunakan dalam desain.

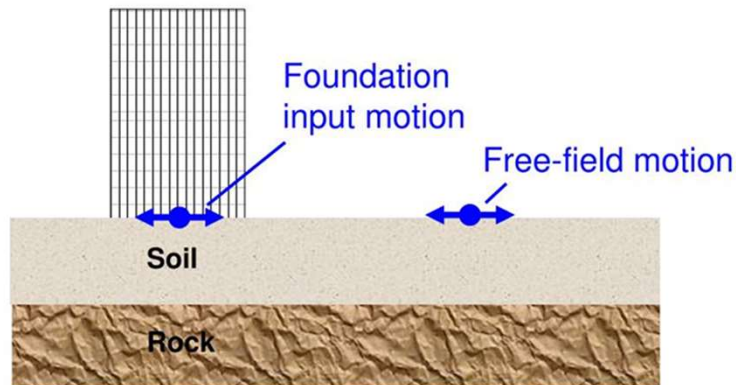
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

**Apakah Bangunan diatas cadas batu dan tanah  
= memberikan respon yang sama ?**



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

**Apakah gerakan tanah dibawah bangunan saat gempa  
berbeda dengan kondisi tanpa bangunan ?**



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## INTERAKSI TANAH STRUKTUR



Dalam kenyataannya respon dari tanah berpengaruh terhadap struktur dan sebaliknya respon dari struktur juga berpengaruh terhadap perilaku tanah → INTERAKSI TANAH DAN STRUKTUR

### KINEMATIC INTERACTION

Terjadi bilamana pondasi yang kaku yang berada didalam atau diatas tanah menyebabkan gerakan pondasi menyimpang dari free field motion

### INERTIAL INTERACTION

Respon inertial dari struktur menyebabkan base shear dan gaya gaya momen yang menyebabkan pondasi beralih secara relative terhadap free field

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah Struktur Kinematic disebabkan tiga hal :

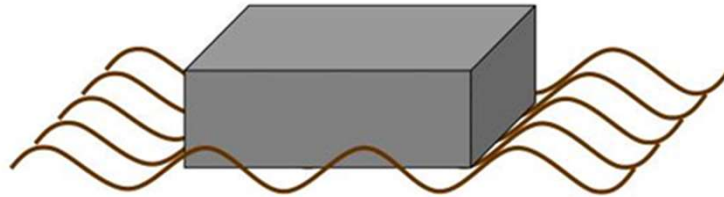


(Krammer, 1996)

1. Pengaruh Kekakuan Slab → dampak dari kekakuan fondasi
2. Pembenaan (Embedment) → Variasi getaran tanah terhadap kedalaman
3. Gelombang Acak (Wave Scattering) → scattering off corners and edges

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

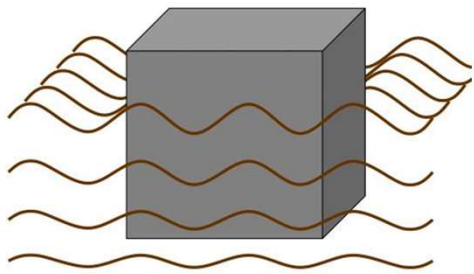
## 1. Interaksi Kinematik : Pengaruh Kekakuan Slab



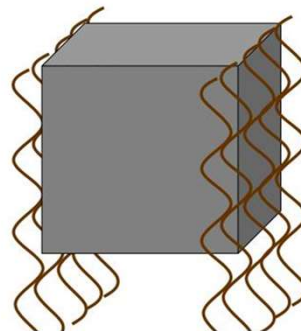
Kekakuan Fondasi mencegah terjadinya matching terhadap gerakan free field

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## 2. Interaksi Kinematik Pengaruh Pembenaman (embedment)



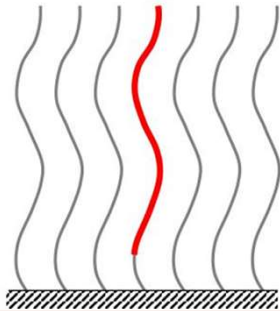
Getaran tanah melemah terhadap kedalaman (amplitudo menurun seiring kedalaman)



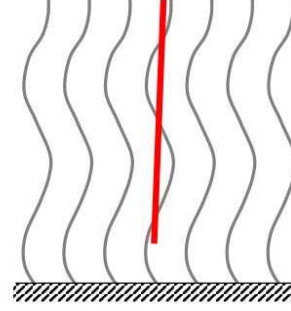
Perambatan gelombang geser dalam arah vertical dapat menyebabkan fondasi bertranslasi dan berotasi

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## 2. Interaksi Kinematik Pengaruh Pembenaman (embedment)



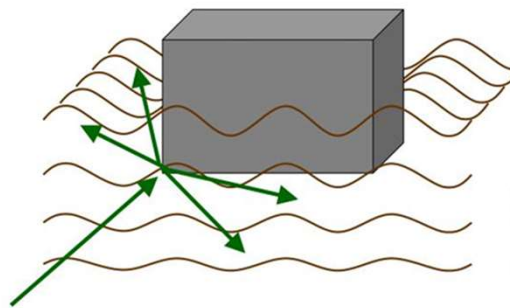
Fondasi tiang Flexible →  
deformasi match dengan free  
field → surface motion = free  
field motion → Tidak terjadi  
rotasi di permukaan



Deformasi berbeda dengan free field →  
dapat bertranslasi dan dapat berotasi.  
Surface motion tidak sama dengan free  
field motion → terjadi rotasi dan perpindahan di  
permukaan

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

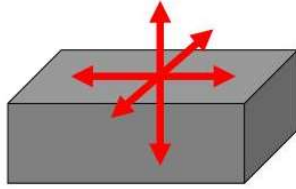
## 3. Interaksi Kinematik Acakan Gelombang (wave scattering)



Acakan Gelombang dapat mereduksi amplitudo dari komponen  
yang memiliki frekuensi tinggi

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Inersial dari Tanah



Translasi tiga arah

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix}$$

6 x 6 stiffness matrix to describe foundation compliance

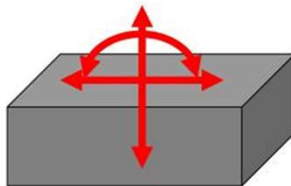
Interaksi Tanah Struktur dari sisi Inertial Tanah adalah dampak dari sifat tanah yang tidak kaku → Tanah akan mengalami deformasi akibat beban dari struktur

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Inersial dari Tanah



Tanah akan mengalami deformasi akibat beban dari struktur



Displacement in two directions

Rocking about one axis

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & k_{13} \\ 0 & k_{22} & 0 \\ k_{31} & 0 & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta_z \end{Bmatrix}$$

3 x 3 stiffness matrix to describe foundation compliance

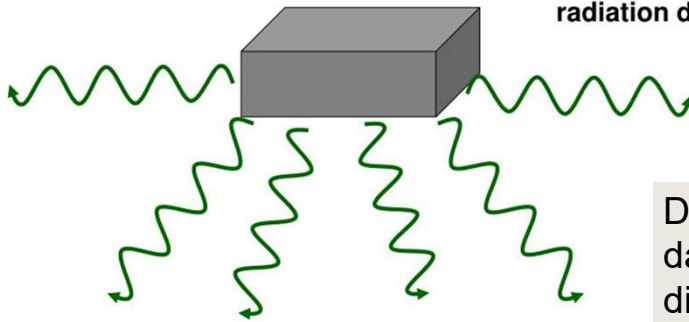
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Inersial dari Tanah



Tanah mengalami deformasi akibat beban dari struktur

Energy "removed" from structure – radiation damping



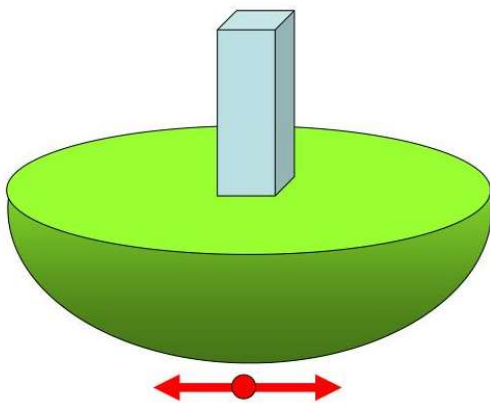
Deformasi akibat gaya-gaya dari struktur akan dirambatkan ke dalam tanah

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Interaksi Tanah Struktur



Analisis Interaksi Tanah Struktur dapat dikategorikan dalam dua pendekatan



Requires detailed model of structure and soil in one computer program

Can handle nonlinear soil and structural response

Pendekatan 1 :  
DIRECT APPROACH  
Struktur dan Tanah dimodelkan sekaligus

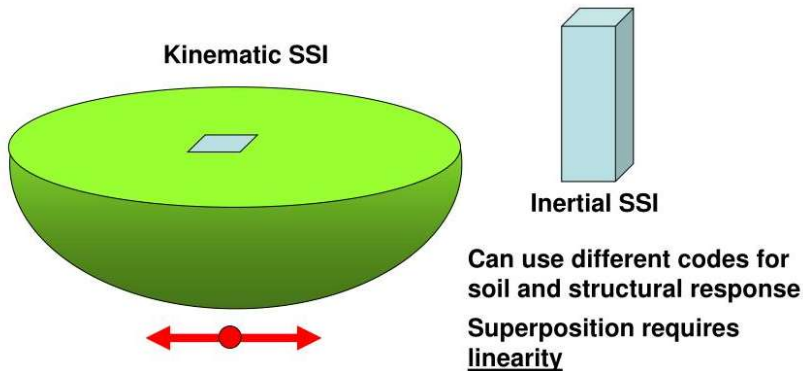
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Analisis Interaksi Tanah Struktur



Analisis Interaksi Tanah Struktur dapat dikategorikan dalam dua pendekatan

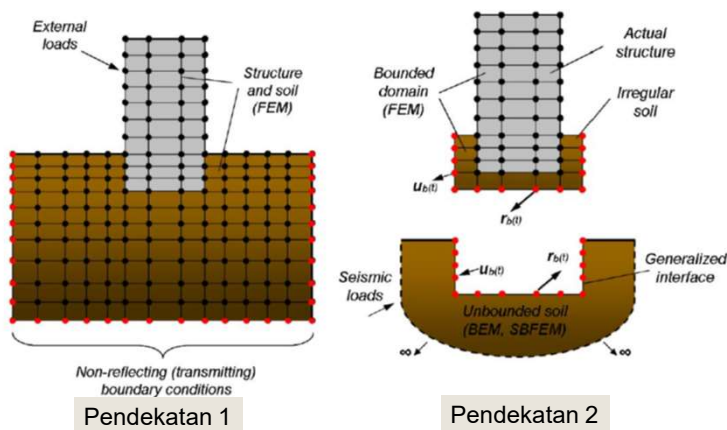


Pendekatan 2 :  
SUBSOIL APPROACH  
Struktur dan Tanah  
dimodelkan TERPISAH  
kemudian digabungkan  
(superposisi)

## Analisis Interaksi Tanah Struktur



Analisis Interaksi Tanah Struktur dapat dikategorikan dalam dua pendekatan



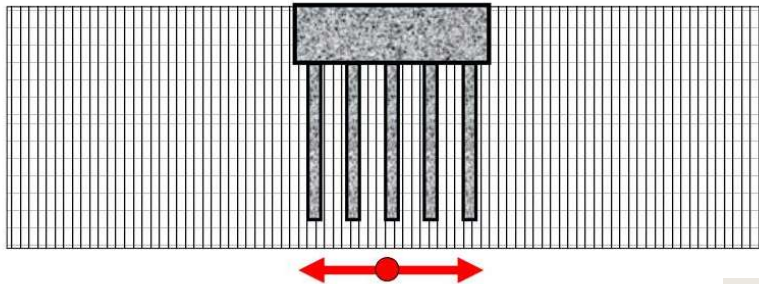
Pendekatan 1 :  
DIRECT APPROACH  
Struktur dan Tanah  
dimodelkan sekaligus

Pendekatan 2 :  
SUBSOIL APPROACH  
Struktur dan Tanah  
dimodelkan TERPISAH  
kemudian digabungkan  
(superposisi)

## Analisis Kinematik Interaksi Tanah Struktur



### Tanah dan Struktur Bawah



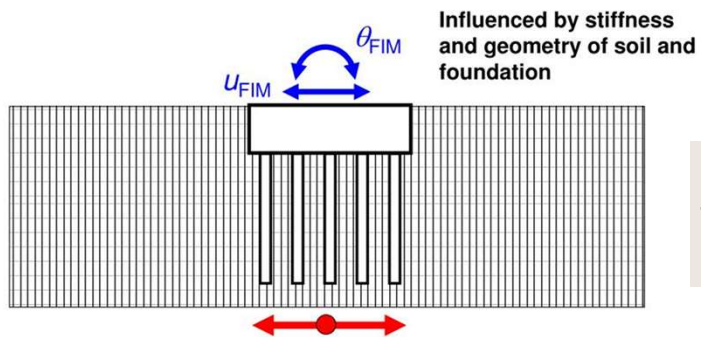
Analisis dengan merambatkan gelombang gempa ke permukaan

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Kinematik Interaksi Tanah Struktur



### Tanah dan Struktur Bawah



Model Pondasi tanpa massa tetapi kekakuan = actual → hitung foundation input motions

Model foundation as massless but with actual stiffness



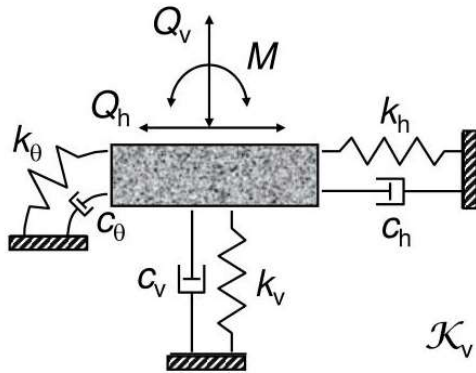
Compute foundation input motions,  $u_{FIM}$  and  $\theta_{FIM}$

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Kinematik Interaksi Tanah Struktur



### Impedance Function – Foundation Stiffness and damping



Model Pondasi tanpa massa tetapi kekakuan = actual

$$\mathcal{K}_v = k_v + i c_v \omega$$

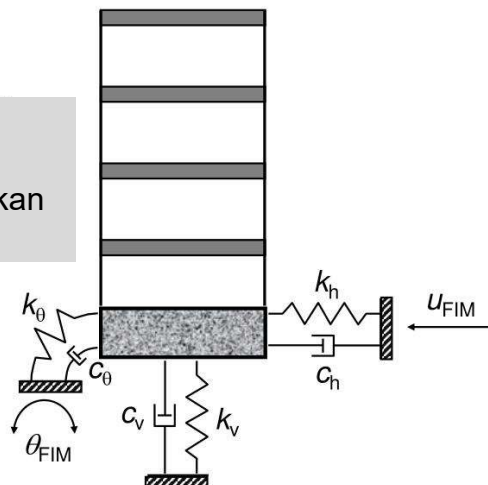
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Interaksi Tanah Struktur



### Analysis of Structure on compliant base subjected to FIM

Berdasarkan prinsip superposisi – diasumsikan linearity  
Kebanyakan dilakukan menggunakan pendekatan equivalent linear

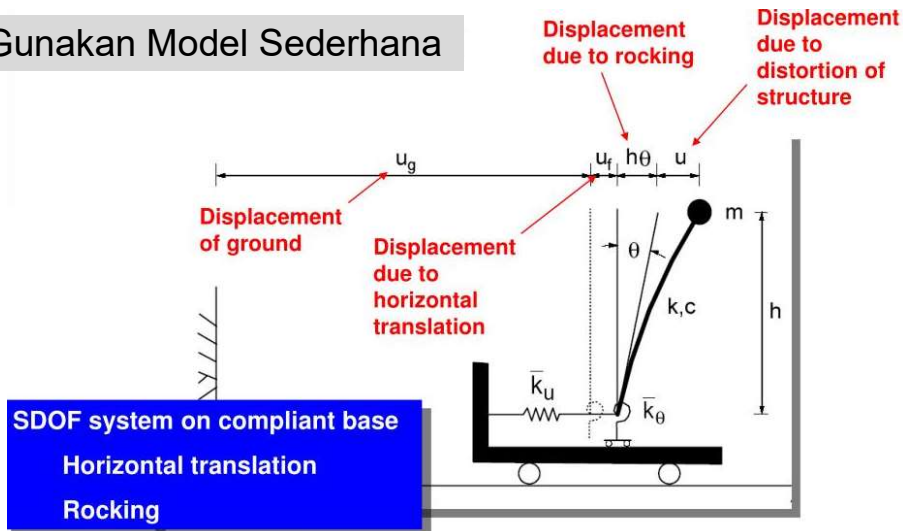


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur



Gunakan Model Sederhana

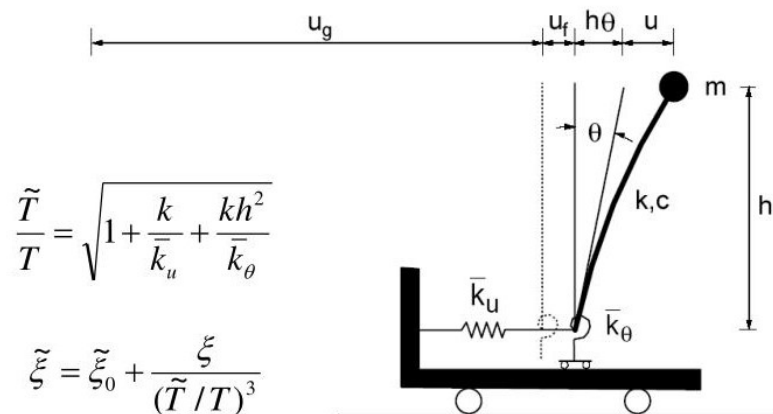


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur



Gunakan Model Sederhana

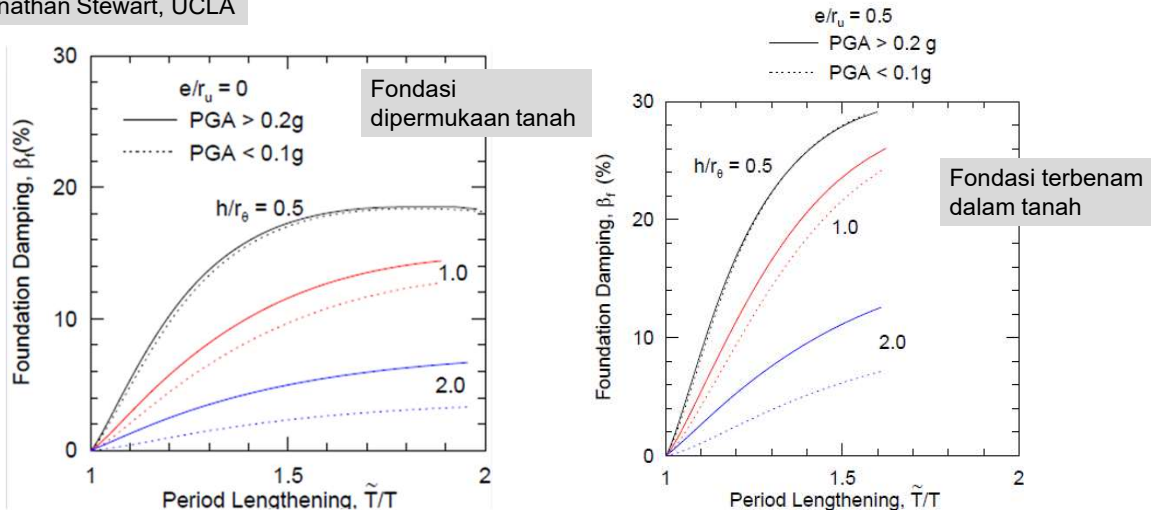


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Dampak dari Period Lengthening terhadap Redaman Fondasi



Jonathan Stewart, UCLA



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Redaman Fondasi (SNI 1726:2019 - Pasal 14.3)



### Persyaratan Efek Redaman Fondasi

Efek redaman fondasi diizinkan untuk diperhitungkan melalui model matematis struktur yang secara langsung mengikutsertakan redaman histeretik tanah dan redaman radiasi tanah.

Prosedur pada bagian ini tidak diperbolehkan untuk digunakan untuk kasus-kasus berikut:

- Sistem fondasi yang terdiri atas fondasi telapak terpisah yang tidak saling berhubungan dan berjarak lebih kecil dari dimensi terbesar dari elemen pemikul gaya lateral yang ditumpunya pada arah yang sedang diperhitungkan
- Sistem fondasi yang terdiri dari, atau pada sistem tersebut terdapat fondasi dalam misalnya fondasi tiang.
- Sistem fondasi yang terdiri dari struktur mat yang saling terhubung melalui pelat beton yang memiliki sifat fleksibel atau tidak terhubung secara menerus dengan grade beam atau elemen fondasi lain.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Redaman Fondasi (SNI 1726:2019 - Pasal 14.3)



### Rasio Redaman Efektif Tanah

Efek dari redaman fondasi harus diwakili oleh rasio redaman efektif dari sistem tanah-struktur,  $\beta_{es}$ , yang ditentukan sesuai persamaan (221):

$$\beta_{es} = \beta_f + \frac{\beta}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2} \leq 0,20 \quad (221)$$

**Keterangan:**

$\beta_f$  = rasio redaman viskos efektif berkaitan dengan interaksi fondasi-tanah  
 $\beta$  = rasio redaman viskos efektif dari sistem struktur, diambil sebesar 5 % kecuali ditentukan dengan analisis

$\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)_{eff}$  = rasio perpanjangan periode efektif yang harus ditentukan berdasarkan persamaan (222)

Perpanjangan periode efektif yang ditentukan berdasarkan persamaan (222) berikut:

$$\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)_{eff} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[ \left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2 - 1 \right] \right\}^{0,5} \quad (222)$$

**Keterangan:**

$\mu$  = kebutuhan daktilitas yang diperkirakan. Untuk gaya lateral ekuivalen atau prosedur analisis ragam respons spektra,  $\mu$  adalah gaya geser dasar maksimum dibagi dengan kapasitas geser dasar elastik; secara praktis  $\mu$  boleh diambil sebesar  $R/\Omega_0$ , dimana  $R$  dan  $\Omega_0$  sesuai Tabel 12. Untuk prosedur analisis riwayat respons gempa,  $\mu$  adalah perpindahan maksimum dibagi dengan perpindahan saat leleh dari struktur yang diukur pada titik tertinggi di atas permukaan tanah.

Rasio redaman fondasi yang diakibatkan oleh redaman histeretik tanah dan redaman radiasi,  $\beta_s + \beta_{rd}$ , diizinkan untuk ditentukan berdasarkan persamaan (223) atau metode lain yang diizinkan.

$$\beta_s = \left[ \frac{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2} \right] \beta_s + \beta_{rd} \quad (223)$$

**Keterangan:**

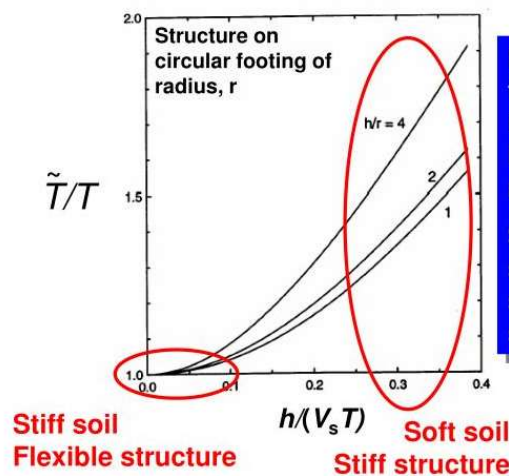
$\beta_s$  = rasio redaman histeretik tanah yang ditentukan berdasarkan 14.3.5

$\beta_{rd}$  = rasio redaman radiasi yang ditentukan berdasarkan 14.3.3 atau 14.3.4

Apabila terdapat suatu lokasi pada kedalaman melebihi  $B$  atau  $R$  dihitung dari dasar gedung dan terdiri atas lapisan yang relatif seragam dengan ketebalan  $D_s$ , berada di atas suatu lapisan yang sangat keras dengan kecepatan gelombang geser lebih dari dua kali dari kecepatan di lapisan permukaan dan  $\frac{4D_s}{v_s T} < 1$ , maka nilai redaman,  $\beta_s$  pada persamaan (223) harus diganti dengan  $\beta'_s$  sesuai persamaan (224) berikut:

$$\beta'_s = \left( \frac{4D_s}{v_s T} \right)^4 \beta_s \quad (224)$$

## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur

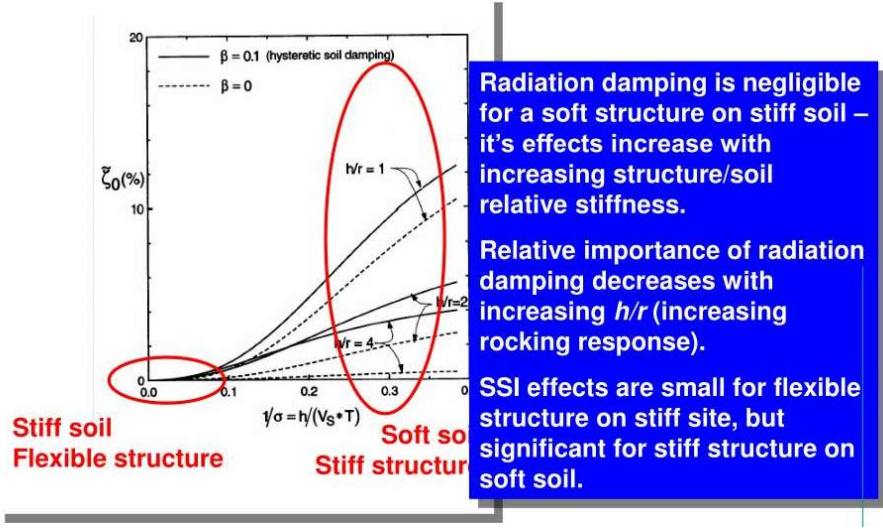


Period lengthening is negligible for a soft structure on stiff soil – its effects increase with increasing structure/soil relative stiffness.

SSI effects are small for flexible structure on stiff site, but significant for stiff structure on soft soil.



## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur

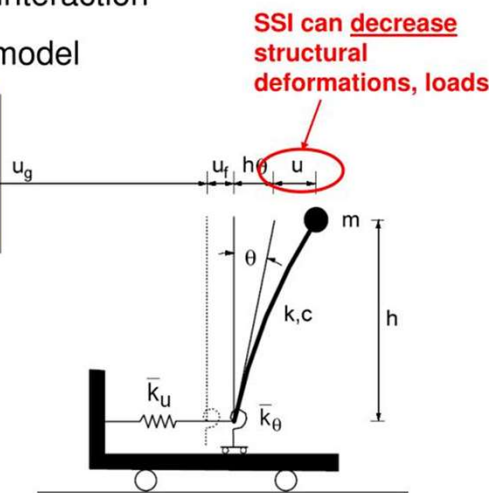
Effects of soil-structure interaction

Consider simplified model

With increasing foundation flexibility,  
 Period lengthens  
 Damping increases

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_u} + \frac{kh^2}{k_\theta}}$$

$$\tilde{\xi} = \xi_0 + \frac{\xi}{(\tilde{T}/T)^3}$$



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Dampak dari Interaksi Tanah Struktur



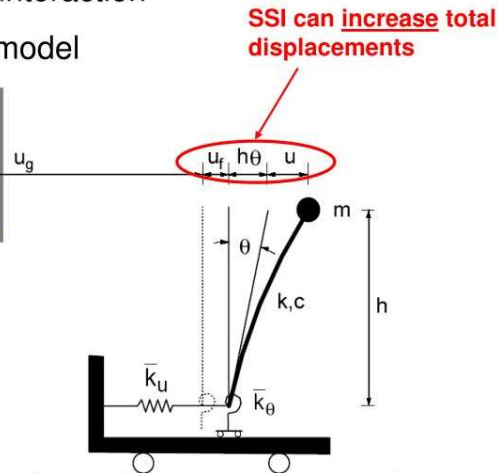
Effects of soil-structure interaction

Consider simplified model

With increasing  
foundation flexibility,  
Period lengthens  
Damping increases

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_u} + \frac{kh^2}{k_\theta}}$$

$$\tilde{\xi} = \xi_0 + \frac{\xi}{(\tilde{T}/T)^3}$$



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## RINGKASAN DASAR DASAR INTERAKSI TANAH STRUKTUR

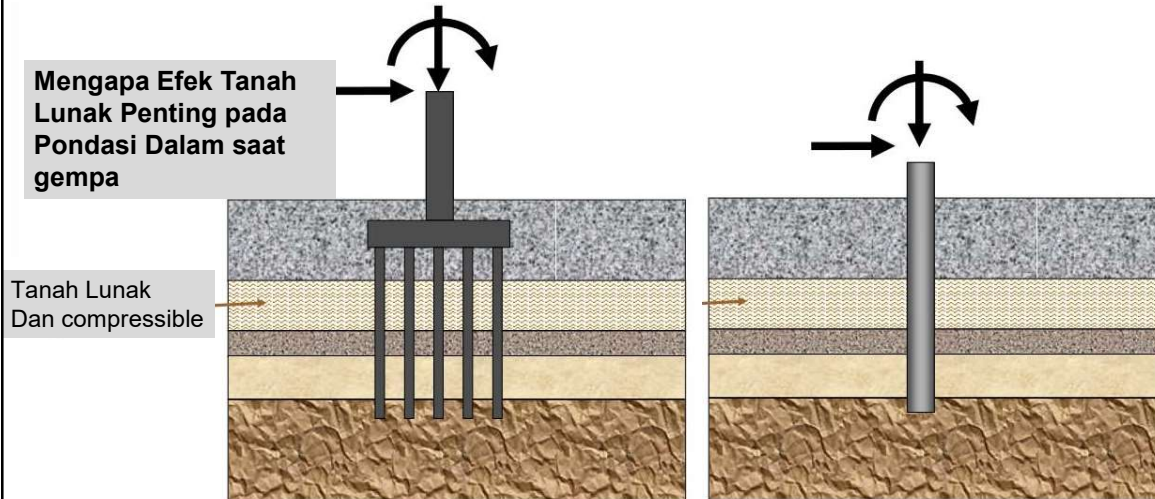


- ITS tidak memberikan pengaruh significant pada kasus struktur yang fleksibel pada tanah yang kaku
- ITS dapat memberikan pengaruh cukup significant pada struktur yang kaku pada tanah lunak
- Fundamental period pada system tanah struktur adalah lebih besar daripada struktur yang diasumsikan berdiri pada fixed base
- Efektif damping pada system tanah struktur adalah lebih besar daripada struktur saja
- Peralihan total dapat bertambah besar pada ITS – akan menjadi penting pada struktur yang berdekatan
- Dengan mengabaikan ITS adalah ekivalen dengan menganggap struktur tersebut berdiri pada material yang kaku ( cadas batu)

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur

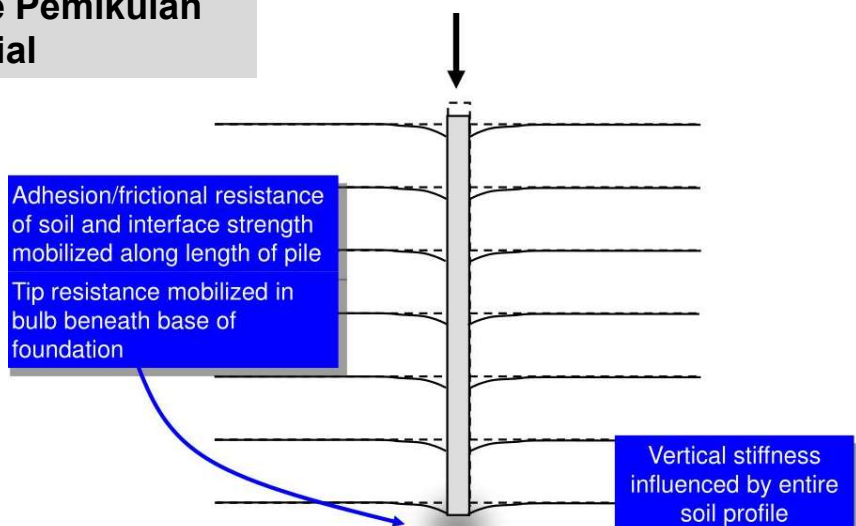


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Aksial

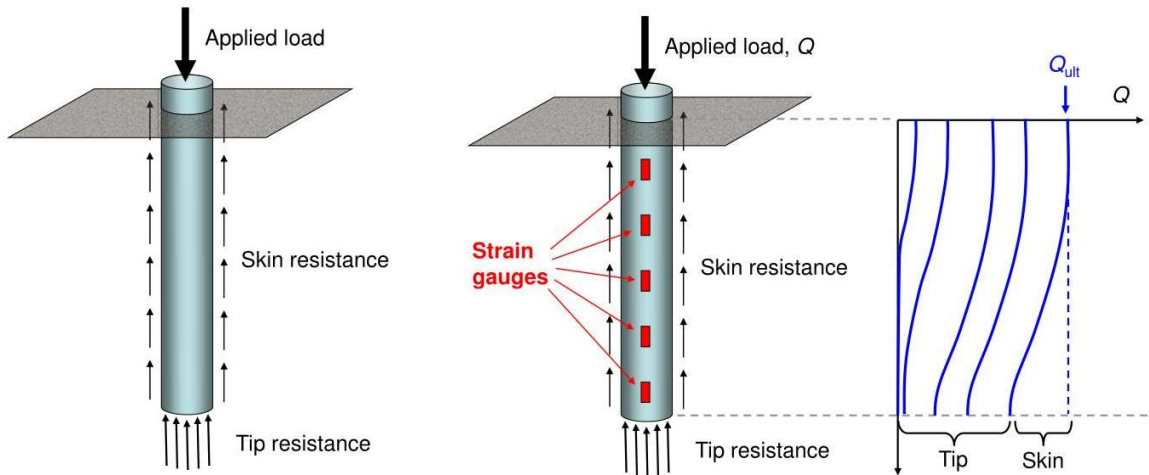


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Aksial pada Pondasi Tiang

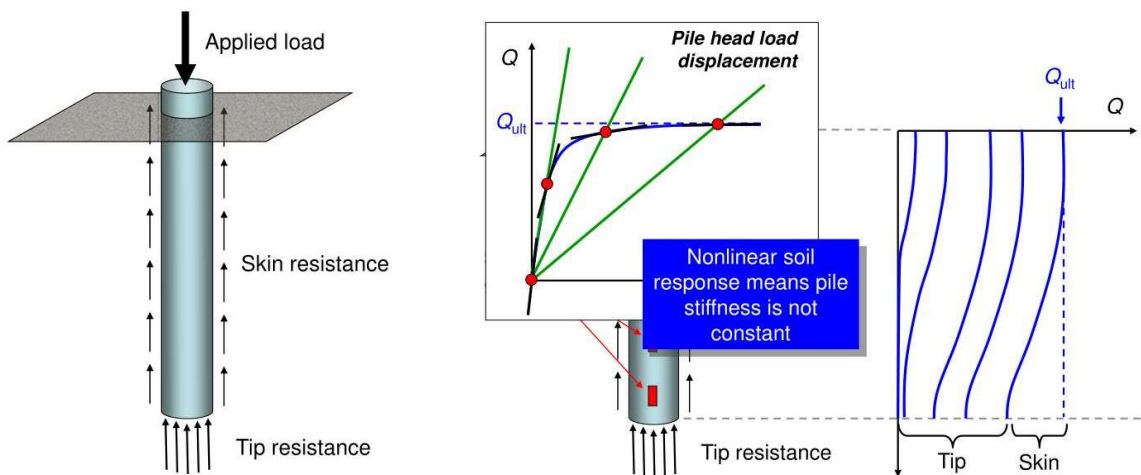


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Aksial pada Pondasi Tiang

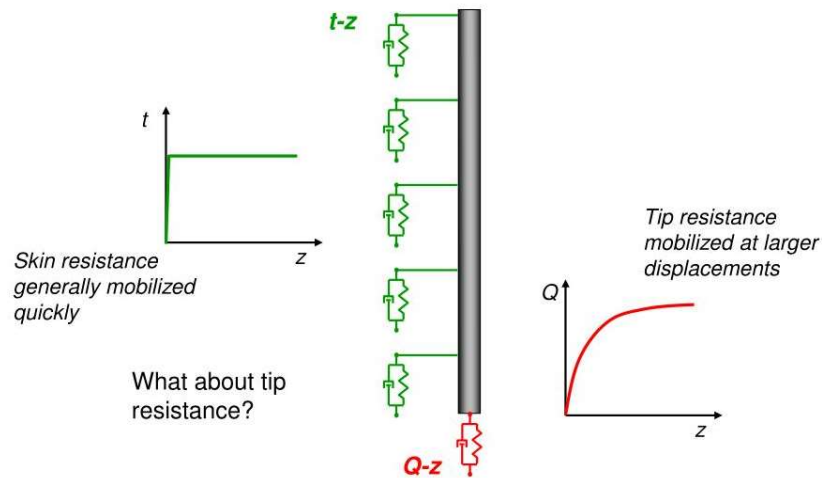


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

# Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



## Analisis Beban Aksial pada Pondasi Tiang saat Gempa

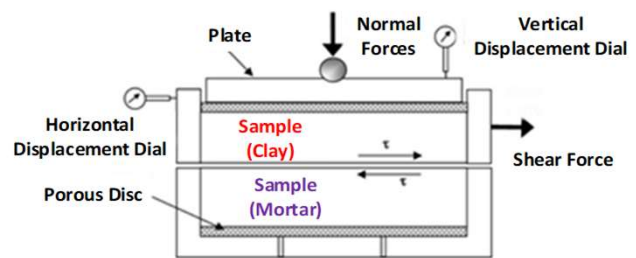
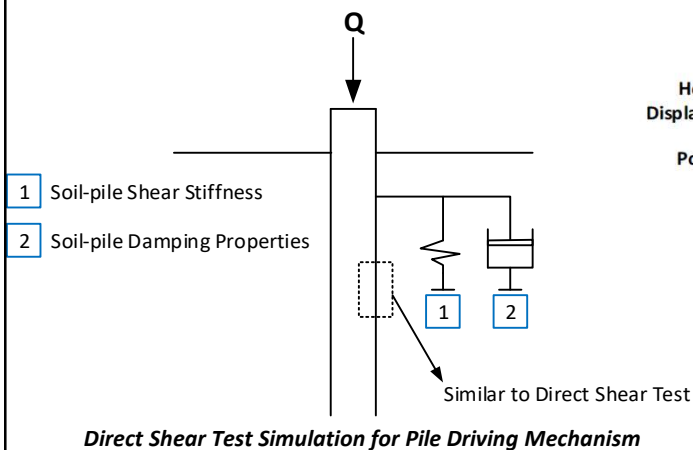


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

# Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



Penelitian Febrianto et al, 2021



Schematic of Test on Clay-Mortar Interface

**Shearing Rate of Tests on Soils**

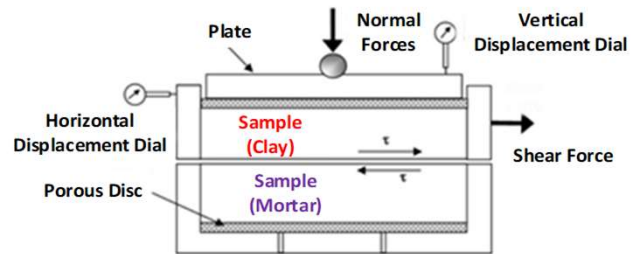
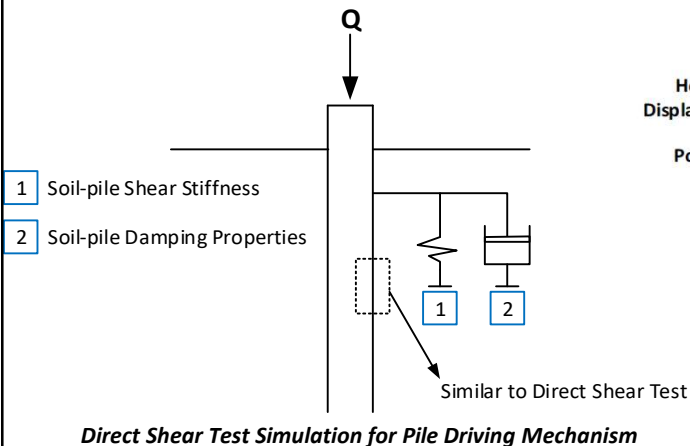
Sample No.	Normal Stress, P (kg/cm <sup>2</sup> )	Shearing Rate, V (mm/min)
I	0.18	0.01
		1.0
II	0.36	0.01
		1.0
III	0.72	0.01
		1.0

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



Penelitian Febrianto et al, 2021



*Schematic of Test on Clay-Mortar Interface*

### *Shearing Rate of Tests on Soils*

Sample No.	Normal Stress, P (kg/cm <sup>2</sup> )	Shearing Rate, V (mm/min)
I	0.18	0.01
		1.0
II	0.36	0.01
		1.0
III	0.72	0.01
		1.0

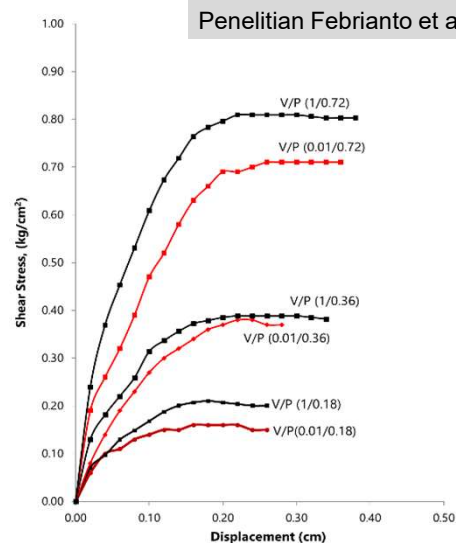
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Direct Shear Test on Sand

- The sand sample is clean sand with medium to coarse particle size and mean grain size  $D_{50} = 0.8$  mm.
- The results show that higher shearing rate clearly shows the difference in the shear-displacement graph.
- It confirms that as the shearing rates substantially increased, there is an increase in the shear stress representing the effect of test rate.



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

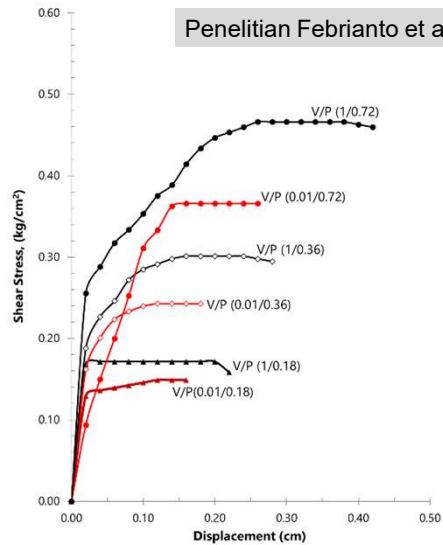
## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Direct Shear Test on Clay

- The clay sample is remolded from disturbed sample and categorized as high plasticity clay (CH) with 45.5% clay content, 45% of silts and 9.5% of sand.
- Results show similar results as tests on sand, which for the same value of normal force, the faster shearing rate, the bigger value of shear stress.

No.	Properties	Value
1	Liquid Limit (LL)	74
2	Plastic Limit (PL)	41
3	Plasticity Index (PI)	33
4	Shrinkage Limit	28
5	% Finer No. 200	90.52 %
6	Clay Fraction	45.5 %
7	Density	$\gamma_{max}$ 1.21 gr/cm <sup>3</sup>
		$W_{opt}$ 41.80 %
8	CBR Standard (Soaked)	100% $\gamma_d$ 7.52 %
		95% $\gamma_d$ 6.00 %



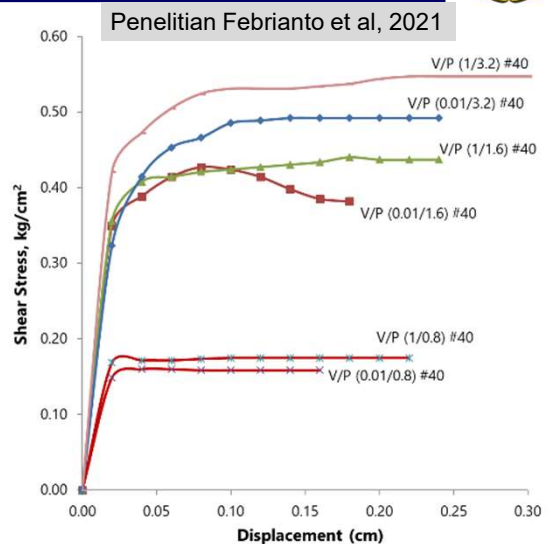
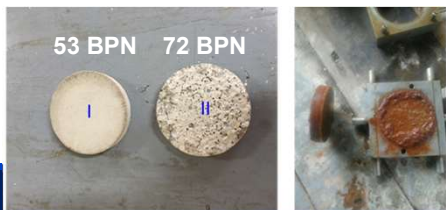
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Direct Shear Test on Clay-Concrete Interface

- The purpose of test on clay-concrete interface is to obtain shear stresses between soil and structural material.
- The tests conducted by varying the shearing rate, normal force, and surface roughness of the concrete.
- Surface roughness of concrete is obtained by using British Pendulum Tester (BPT).
- From the test result, it shows that the rougher mortar surface, the bigger value of shear stress generated



Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Calculation of Smith Damping Parameter ( $J_s$ )

Penelitian Febrianto et al, 2021

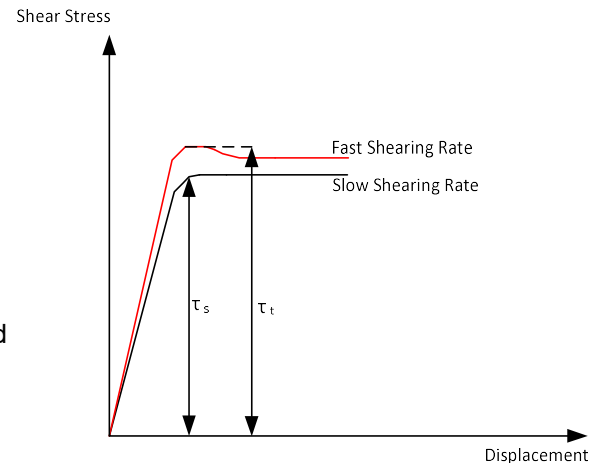
- Smith (1960) proposed an equation:

$$\tau_t = \tau_s(1 + J_s v)$$

where:

- $\tau_t$  = Total Friction (kPa)
- $\tau_s$  = Instantaneous static friction (kPa)
- $v$  = Pile velocity (m/s)
- $J_s$  = Smith damping parameter (s/m)

- Smith damping parameter,  $J_s$  can be back calculated since the parameter of  $\tau_t$ ,  $\tau_s$ , and  $v$  are known or measured in direct shear test.



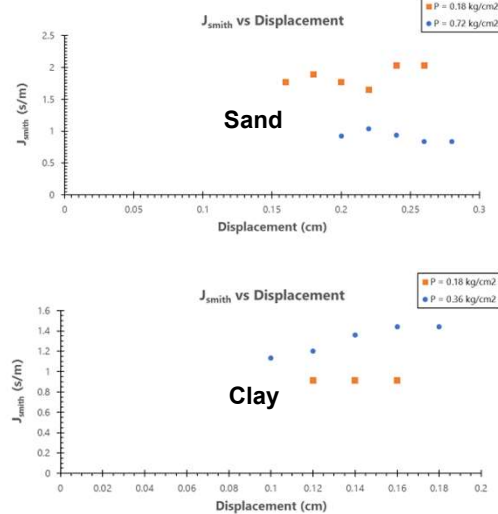
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Smith Damping on Soils

- The result shows that in sandy soils, the Smith damping is lower for high normal stress. However, the clay soil yields higher Smith damping for higher normal stress.
- An important conclusion is that the Smith damping for soils are influenced by the value of normal stress.



Penelitian Febrianto et al, 2021

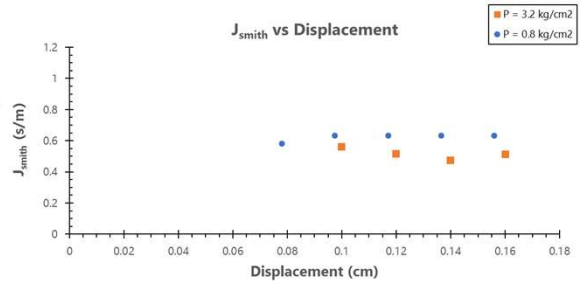
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Penentuan Parameter Damping pada Interface Tiang-Tanah



### Smith Damping in Clay-Concrete Interface

- Test on soil-concrete interface were conducted on clay soils with  $P = 0.80 - 3.2 \text{ kg/cm}^2$ .
- The trend of Smith damping of soil-concrete interface is about half of the Smith damping for soils, and the value of the Smith damping is about  $0.45 - 0.60$  for clay.
- From the results, the average values of  $J_s$  for clay-concrete, clay, and sand are  $0.63 \text{ s/m}$ ,  $1.2 \text{ s/m}$ , and  $1.5 \text{ s/m}$ , respectively.
- The value obtained for soil-concrete interface is very similar as the recommended value of Smith damping from GRL (1993).



Recommended Smith damping factors by GRL (1993)

	Non-Cohesive	Cohesive	Limestone
Skin	0.16	0.65	-
Toe	0.49	0.49	-

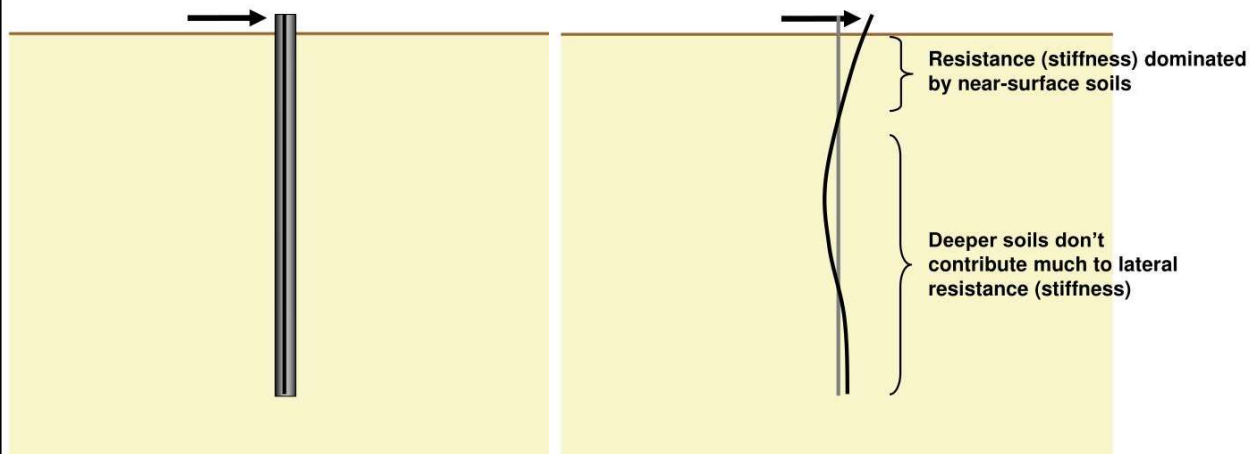
Penelitian Febrianto et al, 2021

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Lateral pada Pondasi Tiang

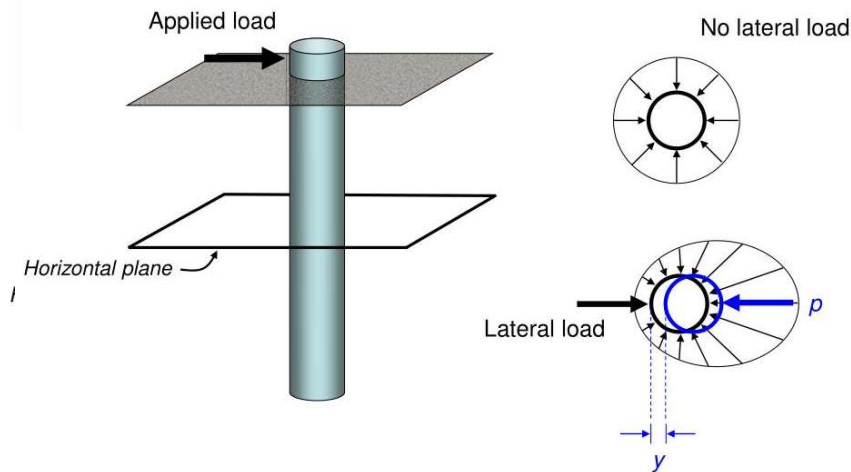


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Lateral pada Pondasi Tiang

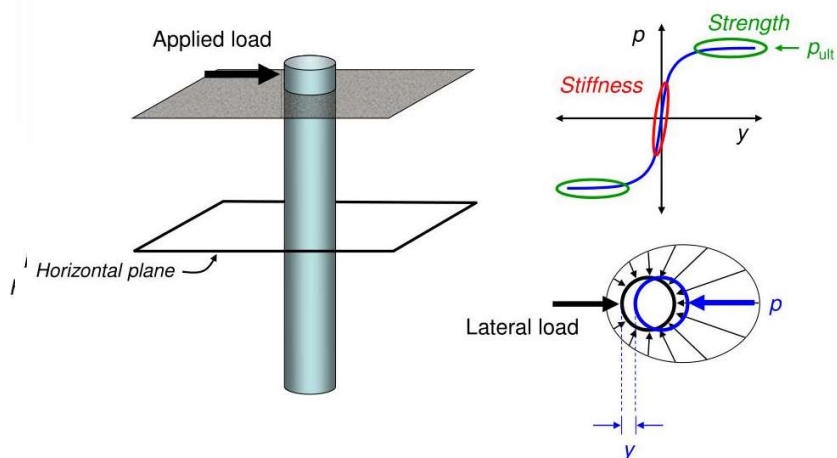


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Mekanisme Pemikulan Beban Lateral pada Pondasi Tiang



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

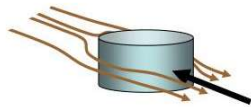


## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur

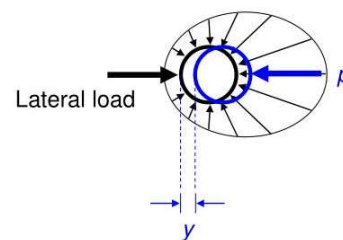
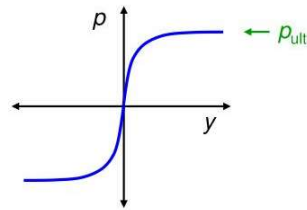


### Mekanisme Pemikulan Beban Lateral pada Pondasi Tiang

At large depths,



Pile moves through soil  
Soil appears to flow around pile  
Soil movement in horizontal plane  
Solutions for  $p_{ult}$  available



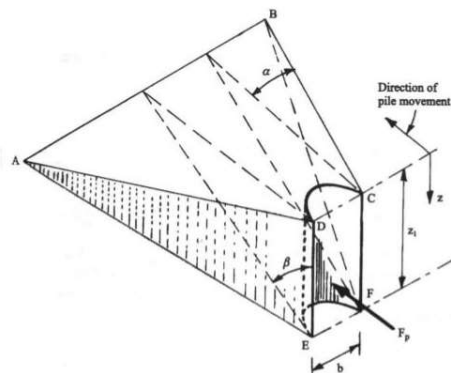
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur

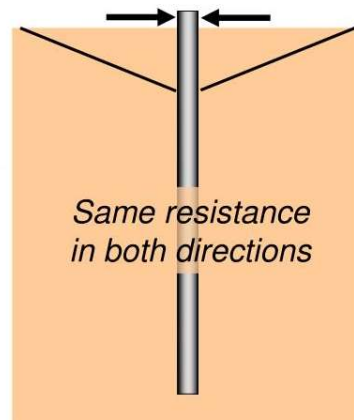


### Mekanisme Pemikulan Beban Lateral pada Pondasi Tiang

At shallow depths,



Wedge of soil is pushed up and out  
Vertical and horizontal components of movement

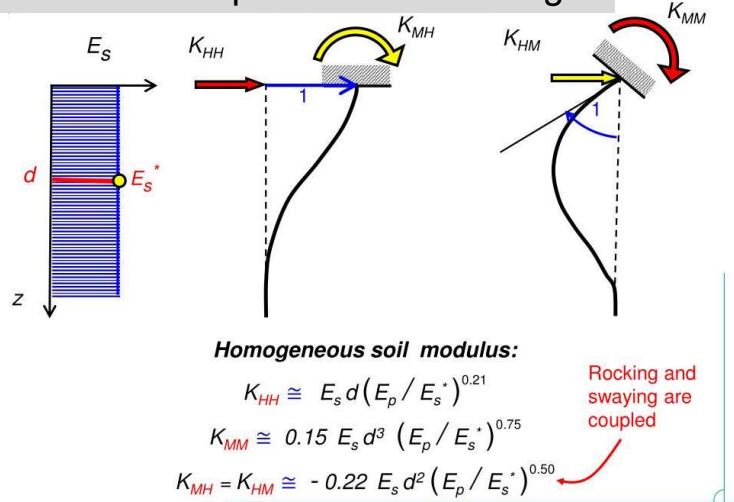


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Kekakuan Lateral pada Pondasi Tiang

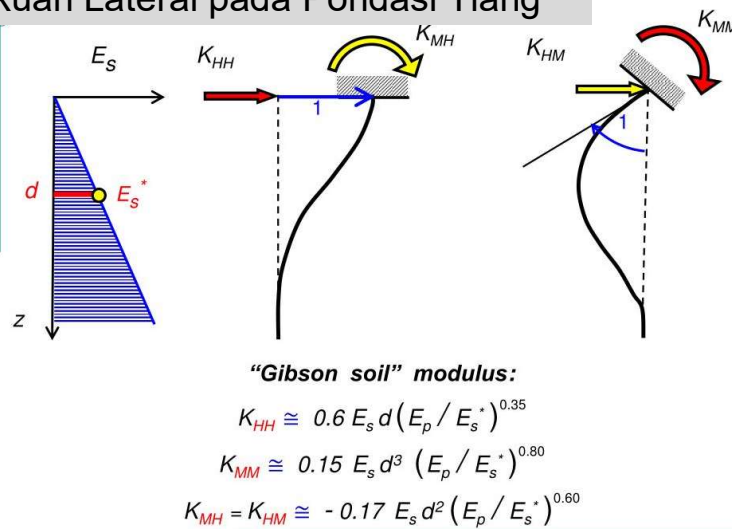


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Kekakuan Lateral pada Pondasi Tiang

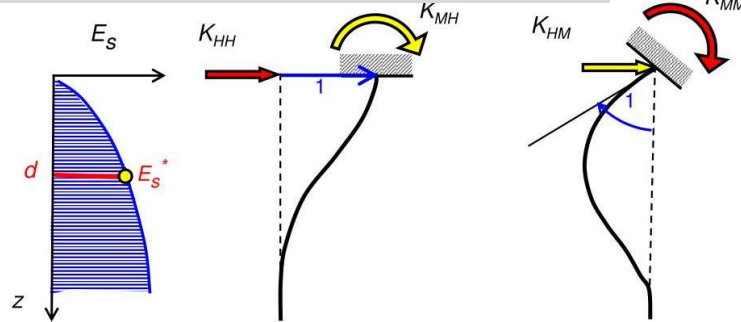


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Kekakuan Lateral pada Pondasi Tiang



*Parabolic soil modulus:*

$$K_{HH} \cong 0.8 E_s d (E_p / E_s^*)^{0.28}$$

$$K_{MM} \cong 0.15 E_s d^3 (E_p / E_s^*)^{0.77}$$

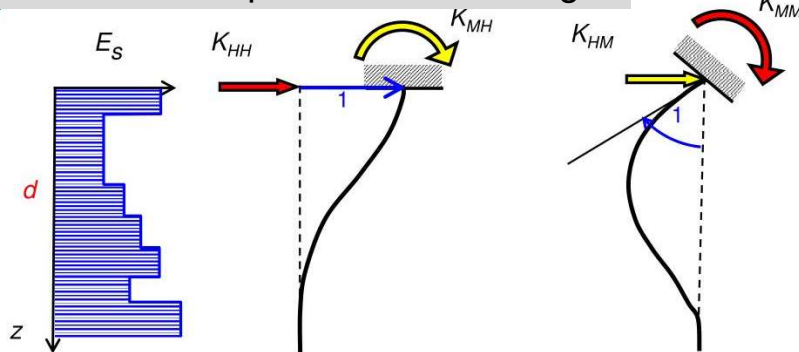
$$K_{MH} = K_{HM} \cong -0.24 E_s d^2 (E_p / E_s^*)^{0.53}$$

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Kekakuan Lateral pada Pondasi Tiang



*Layered nonlinear soil:*

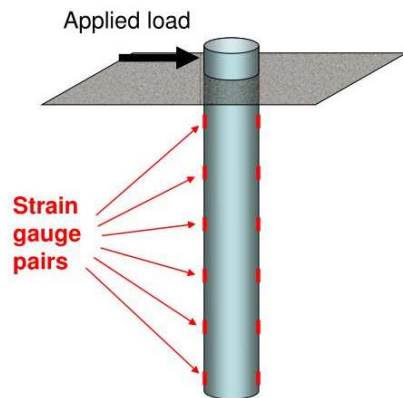
**Use p-y analysis**

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Menentukan perilaku p-y pada lateral load test

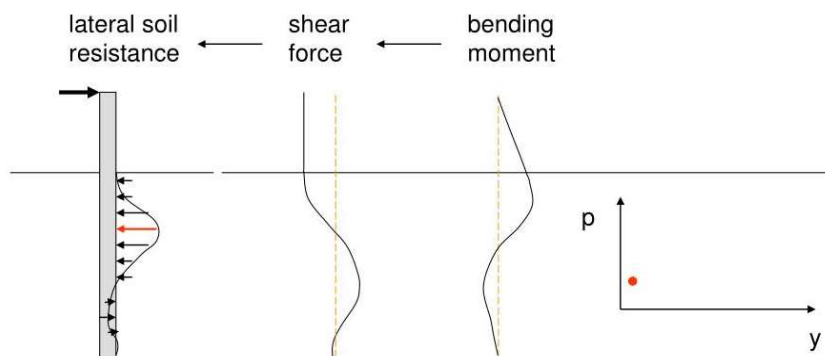


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Menentukan perilaku p-y pada lateral load test



$$p = \frac{d^2 M(z)}{dz^2}$$

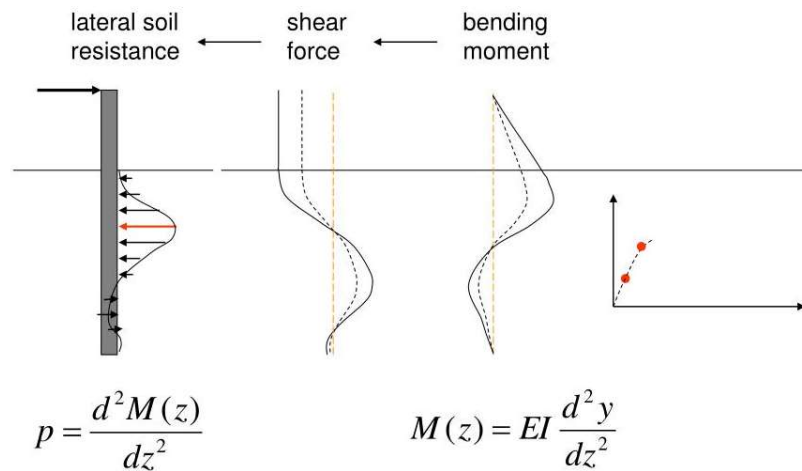
$$M(z) = EI \frac{d^2 y}{dz^2}$$

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Menentukan perilaku p-y pada lateral load test

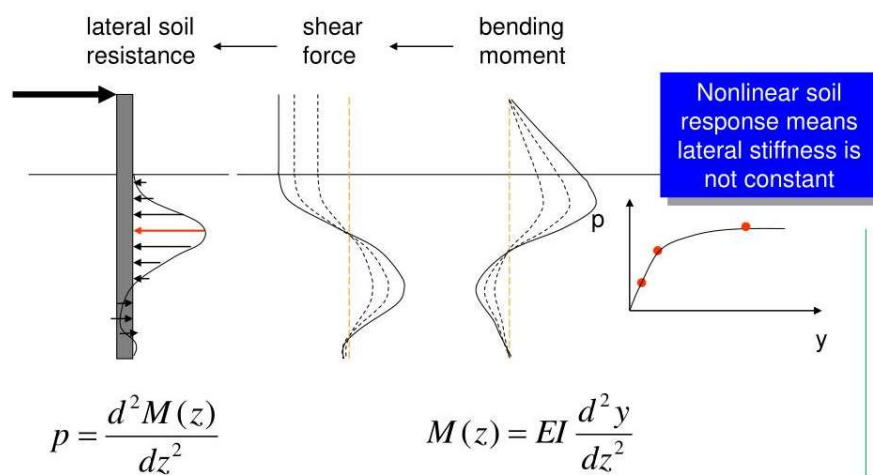


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Menentukan perilaku p-y pada lateral load test

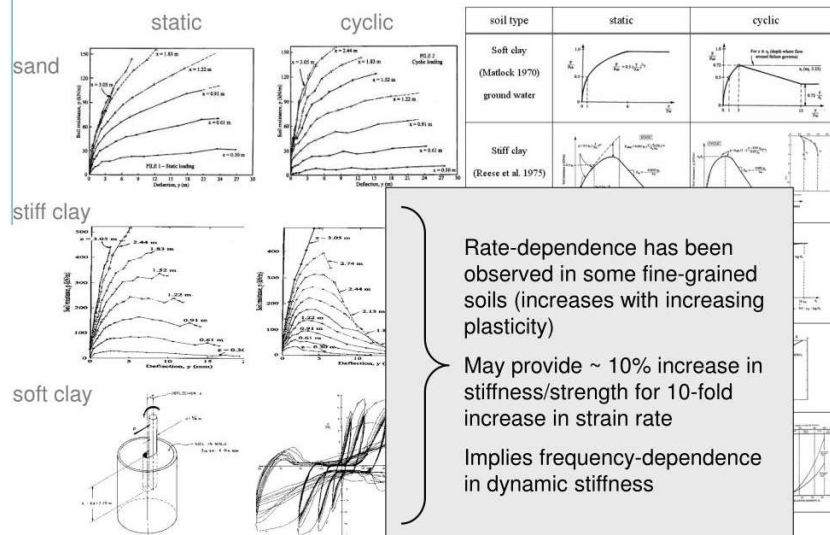


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Perilaku p-y pada Beban Cyclic

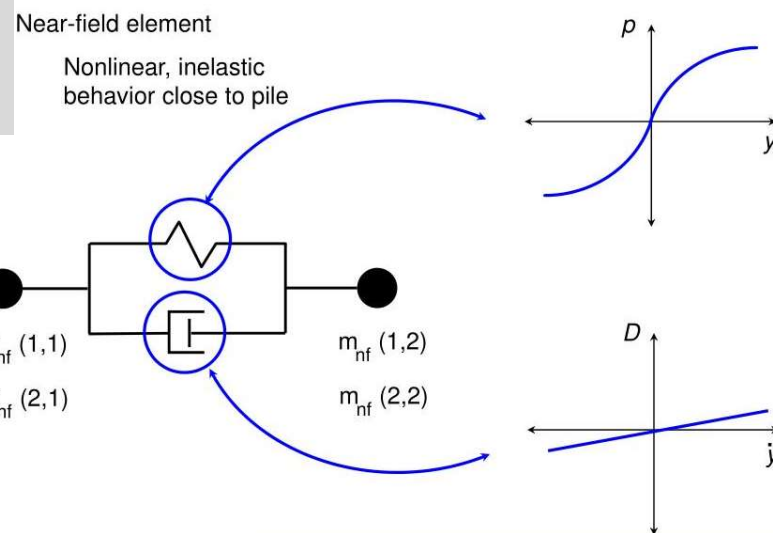


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Analisis Pondasi Tiang Tunggal pada Beban Gempa

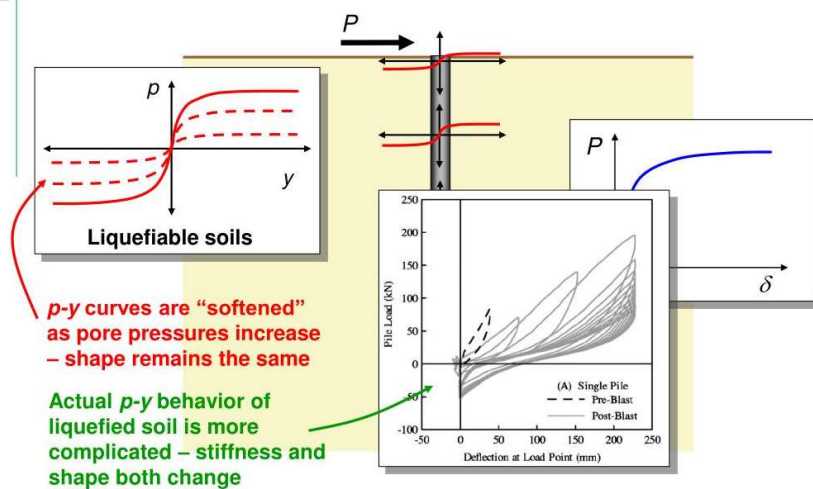


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Analisis Pondasi Tiang Tunggal pada Beban Gempa

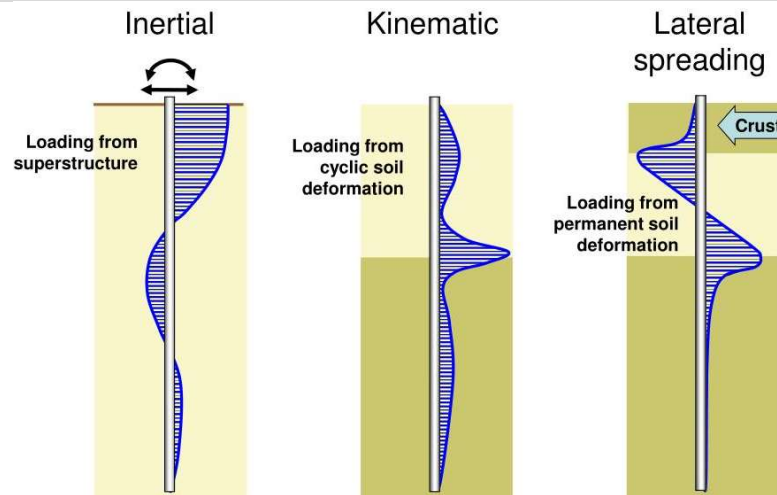


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



### Ringkasan : Analisis Pondasi Tiang Tunggal pada Beban Gempa

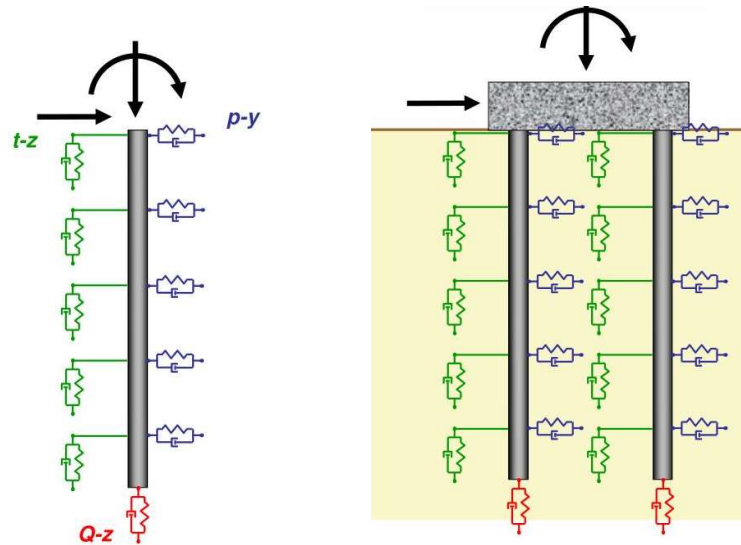


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Tiang Tunggal dan  
Kelompok Tiang  
Akibat Beban  
Vertikal dan  
Horizontal



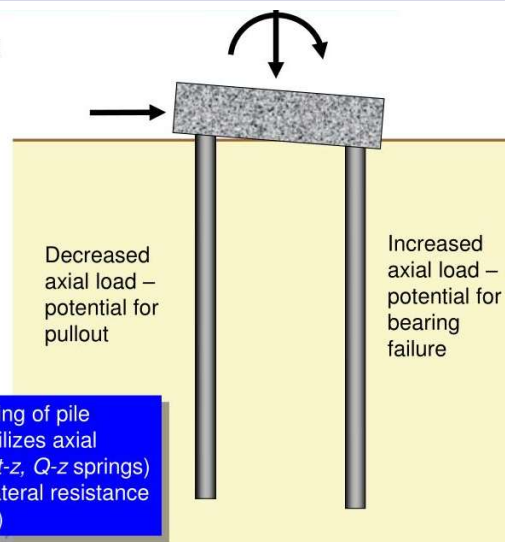
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Kelompok Tiang  
Akibat Beban  
Vertikal dan  
Horizontal

Pile Groups



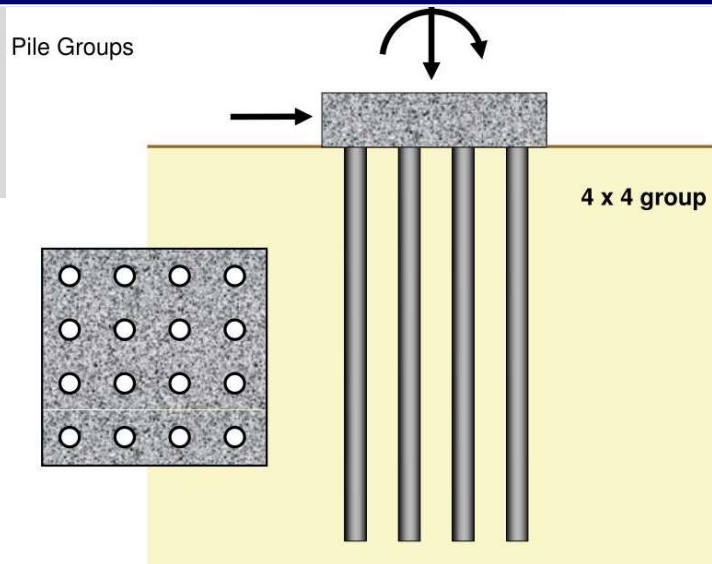
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Kelompok Tiang Akibat  
Beban Vertikal dan  
Horizontal



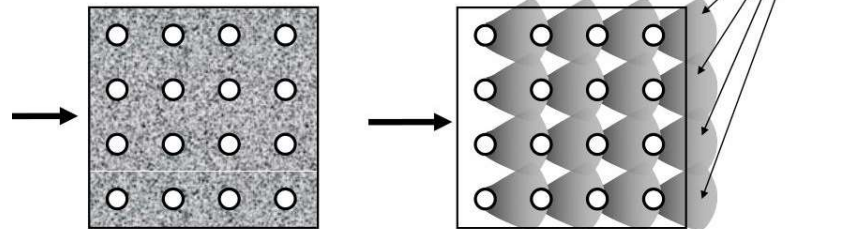
GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Kelompok Tiang  
Akibat Beban  
Horizontal

Zones of influence overlap with each other and with other piles  
Not all piles produce same resistance  
Pile-soil-pile interaction can affect group capacity and stiffness



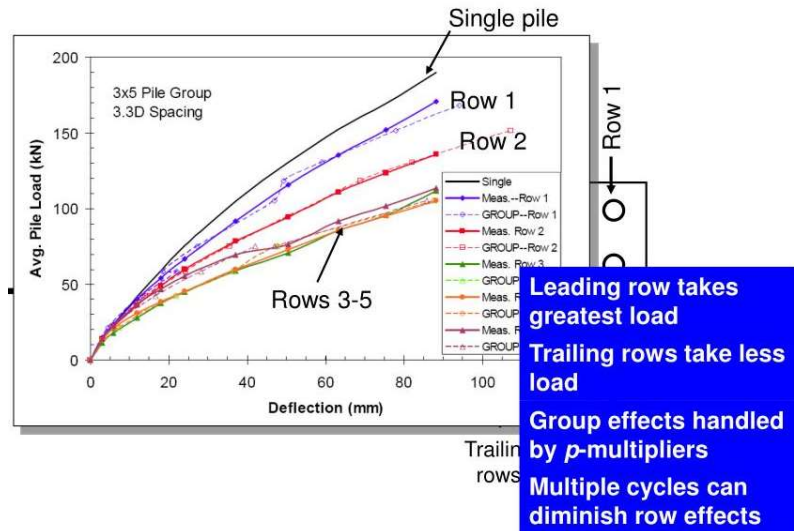
*Piles interact at spacings less than 7-8 diameters*

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi Kelompok Tiang Akibat Beban Vertikal dan Horizontal

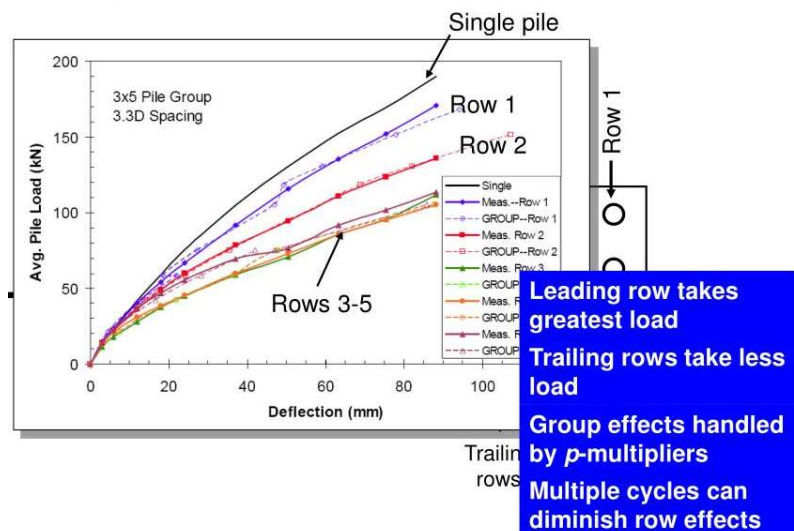


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi Kelompok Tiang Akibat Beban Horizontal

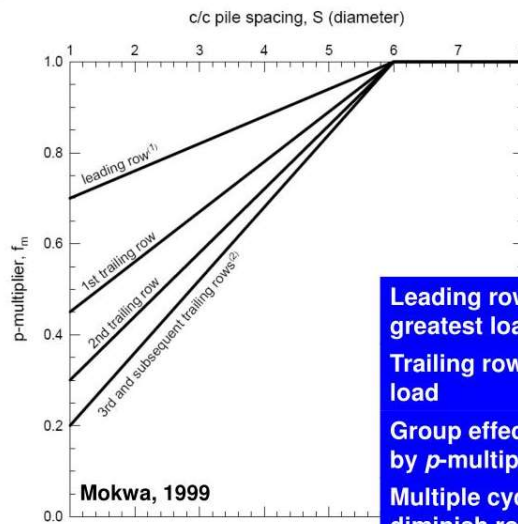


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Tiang Tunggal pada  
Beban Gempa

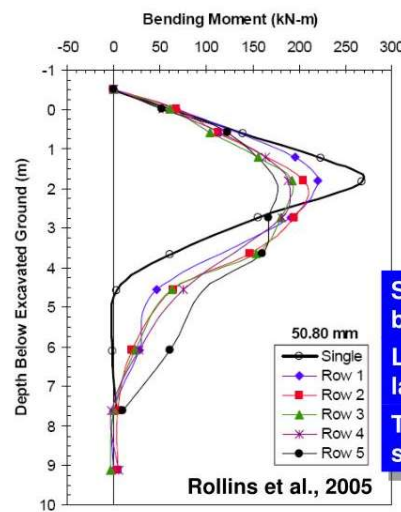


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Analisis Pondasi  
Tiang Tunggal pada  
Beban Gempa

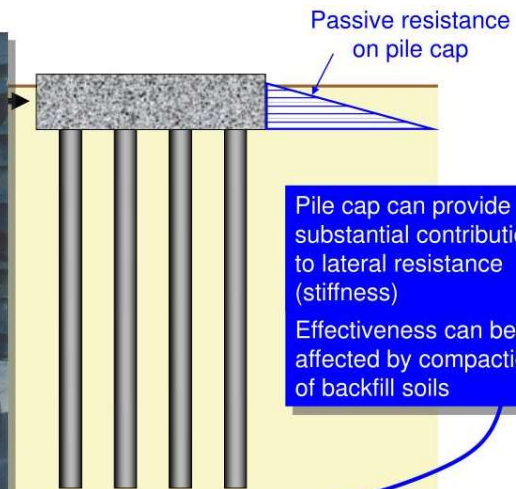


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Efek Pile Cap pada Analisis Pondasi Kelompok Tiang

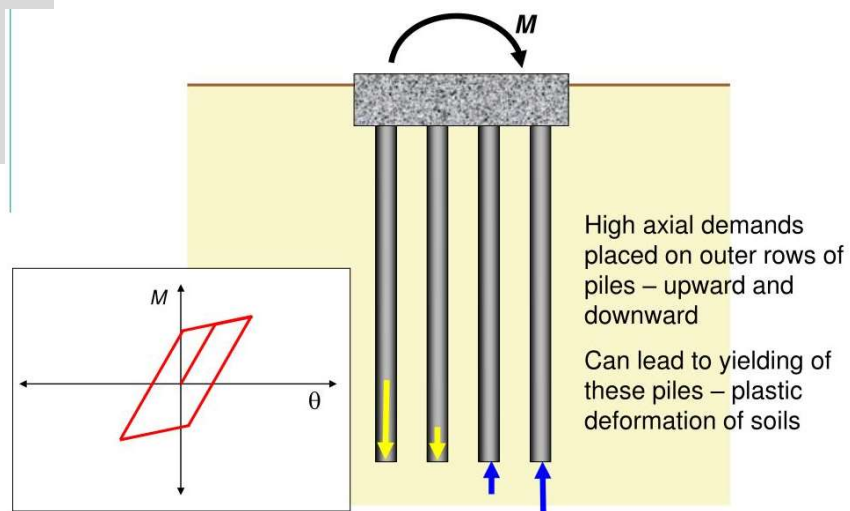


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur



Efek Pile Cap pada Analisis Pondasi Kelompok Tiang : Momen

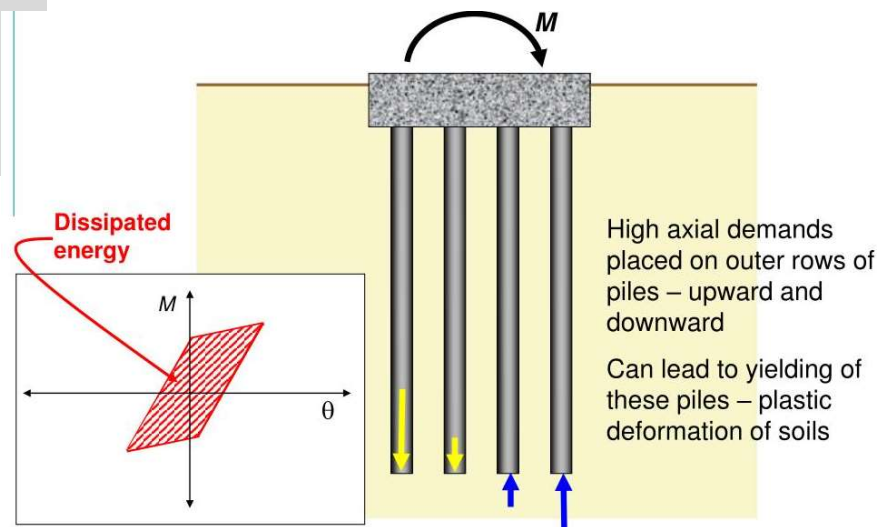


GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Interaksi Tanah – Pondasi Dalam dan Struktur

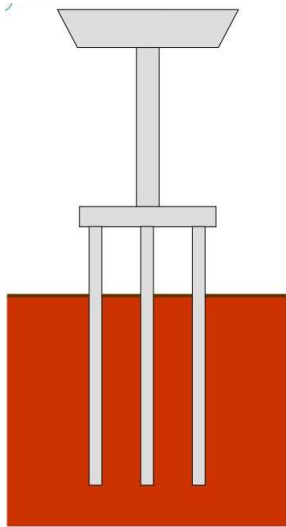


Efek Pile Cap pada Analisis Pondasi Kelompok Tiang : Momen



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Prosedur Analisis Interaksi Tanah Struktur

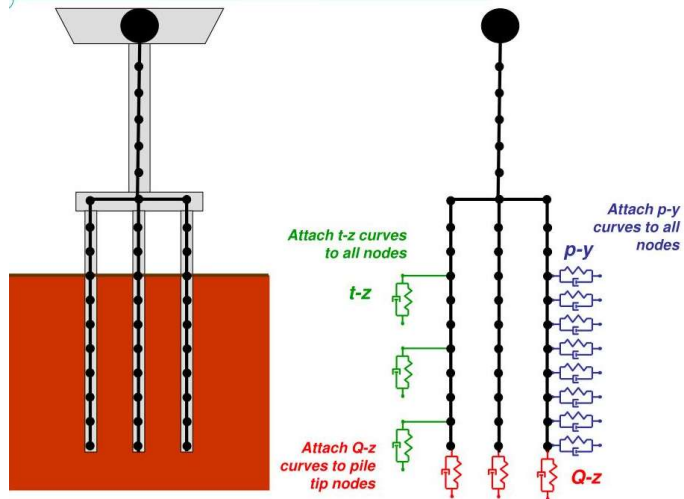


### Metode DIRECT ANALYSIS

- Memodelkan seluruh Sistem Tanah – Pondasi dan Struktur
- Menghitung respon tanah dan struktur dalam satu kali analisis

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Prosedur Analisis Interaksi Tanah Struktur

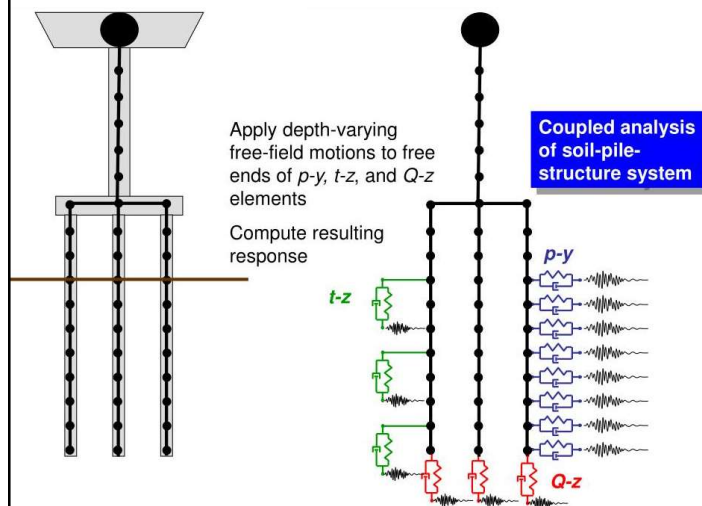


### Metode DIRECT ANALYSIS

- Mempersiapkan data tanah pada pondasi tiang (t-z, p-y dan Q-z)
- Mempersiapkan model Struktur Atas

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Prosedur Analisis Interaksi Tanah Struktur

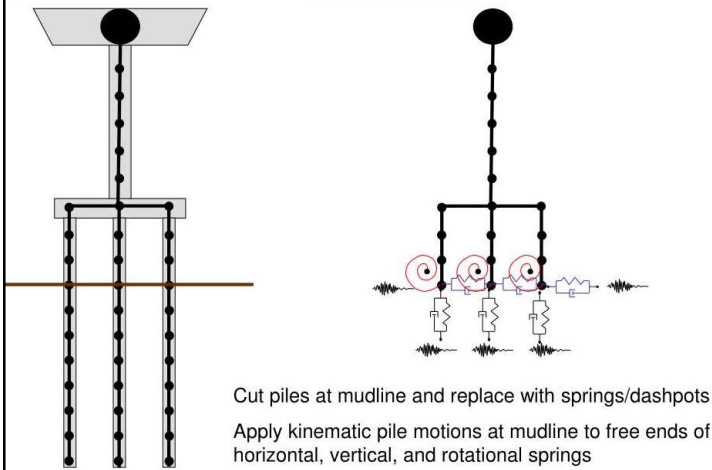


### Metode DIRECT ANALYSIS

- Mengaplikasikan depth – varying free field motions
- Coupled Analysis of soil-pile-structure system
- Mendapatkan hasil analisis berupa respon pondasi dan struktur

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Prosedur Analisis Interaksi Tanah Struktur



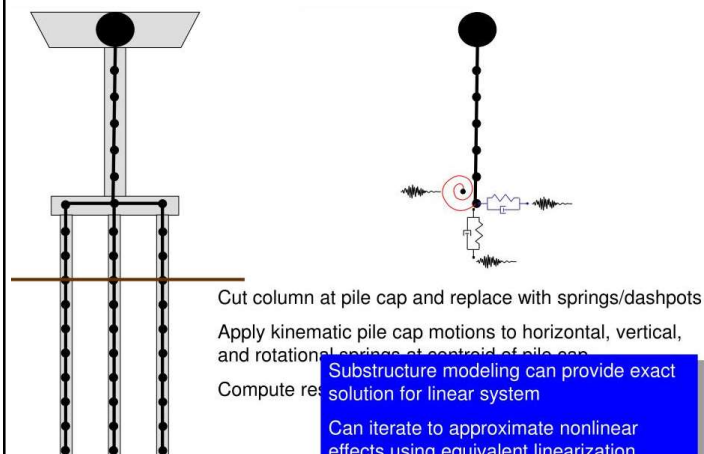
Cut piles at mudline and replace with springs/dashpots  
Apply kinematic pile motions at mudline to free ends of horizontal, vertical, and rotational springs  
Compute resulting response

### Metode PENDEKATAN SUBSOIL

- Potong struktur bawah didasar struktur
- Terapkan kinematic pile motions pada bagian bawah struktur
- Hitung hasil respons

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Prosedur Analisis Interaksi Tanah Struktur



Cut column at pile cap and replace with springs/dashpots  
Apply kinematic pile cap motions to horizontal, vertical, and rotational springs at centroid of pile cap  
Compute re

Substructure modeling can provide exact solution for linear system  
Can iterate to approximate nonlinear effects using equivalent linearization  
No direct way to handle nonlinear systems

### Metode PENDEKATAN SUBSOIL

- Pemodelan substructure dapat memberikan solusi untuk linear system
- Dapat mengiterasi efek non-linier menggunakan equivalent linearization
- Tidak ada cara langsung untuk handle sistem non- linier

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## **Kebutuhan struktural yang disesuaikan untuk ITS** (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



1. Gaya Lateral Ekuivalen
2. Analisis Dinamik Linier
  - *Site Specific Response Analysis (SSRA)* dengan ITS
  - *Non-Linier Time History Analysis / Analisis Non Linier Riwayat Respons Gempa*

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



$$\tilde{V} = V - \Delta V \geq \alpha V \quad (213)$$

$$\Delta V = \left( C_s - \frac{\tilde{C}_s}{B_{SSI}} \right) \bar{W} \quad (214)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0,7 & \text{untuk } R \leq 3 \\ 0,5 + (R/15) & \text{untuk } 3 < R < 6 \\ 0,9 & \text{untuk } R \geq 6 \end{cases} \quad (215)$$

$$B_{SSI} = \frac{4}{[5,6 - \ln(100\beta_0)]} \quad (216)$$

### Keterangan:

- $\tilde{V}$  = gaya geser dasar yang disesuaikan untuk ITS
- $V$  = gaya geser dasar dalam kondisi jepit sempurna sesuai 0
- $R$  = koefisien modifikasi respons pada Tabel 12
- $C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan berdasarkan 0 dengan mengasumsikan dasar struktur pada pertemuan antara fondasi dan tanah berada dalam kondisi terjepit
- $\tilde{C}_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan berdasarkan 0 dengan mengasumsikan fleksibilitas dasar struktur pada pertemuan antara fondasi dan tanah sesuai 0 menggunakan  $T$  sebagai periode fundamental struktur sebagai pengganti  $T$ , yang ditentukan oleh 0
- $\bar{W}$  = berat yang disebabkan oleh massa moda pada modal efektif pada ragam getar fundamental, atau dapat juga dianggap sebagai berat seismik efektif sesuai pada 0
- $\alpha$  = koefisien reduksi gaya geser dasar yang disebabkan oleh redaman fondasi akibat ITS
- $\beta_0$  = rasio redaman viskos efektif dari sistem tanah-struktur, berdasarkan 0

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Dinamik Linier (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



Untuk memperhitungkan efek dari ITS, analisis dinamik linear diizinkan untuk dilakukan sesuai 7.9, baik menggunakan respons spektra yang dimodifikasi dengan ITS dan respons spectra MCER sesuai 6.4 dan 6.8 atau, respons spektra spesifik situs yang dimodifikasi dengan ITS sesuai 14.2.2.1, atau respons spektra spesifik situs yang dimodifikasi dengan ITS sesuai 14.2.2.2 untuk respons spektra percepatan,  $\tilde{S}_a$ , terhadap periode struktur,  $T$ . Respons spectra percepatan yang didapatkan harus dibagi oleh faktor  $R/I_e$ , dimana  $I_e$  diatur pada 4.1. Model matematis yang digunakan untuk analisis dinamik linear harus memperhitungkan fleksibilitas fondasi dan tanah dibawahnya sesuai 14.1. Efek interaksi kinematik sesuai dengan 14.4 atau metode lainnya tidak diizinkan untuk diperhitungkan dalam prosedur analisis linear dinamik.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Dinamik Linier (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



Penskalaan gaya lateral dari analisis modal harus dilakukan sesuai 7.9.1.4, dimana gaya geser dasar,  $V$ , digantikan oleh gaya geser dasar yang memperhitungkan ITS,  $\tilde{V}$ , yang ditentukan sesuai Persamaan (213) dan gaya geser dasar dari analisis modal,  $V_t$ , digantikan oleh gaya geser dasar dari analisis modal yang memperhitungkan ITS,  $\tilde{V}_t$ .

Gaya geser dasar yang memperhitungkan efek interaksi tanah-struktur yang didapatkan dari analisis modal,  $\tilde{V}_t$ , tidak boleh lebih kecil dari  $\alpha V_t$ , dimana  $\alpha$  ditentukan oleh Persamaan (215).

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Dinamik Linier (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



### Respons spektra desain termodifikasi dengan interaksi tanah-struktur

Respons spektra desain, yang memperhitungkan efek interaksi tanah-struktur yang akan digunakan dalam analisis ragam pada 0 harus ditentukan sebagai berikut:

$$\tilde{S}_a = \left[ \left( \frac{5}{B_{SSI}} - 2 \right) \times \frac{T}{T_s} + 0,4 \right] \times S_{DS}, \quad \text{untuk } 0 < T < T_0 \quad (217)$$

$$\tilde{S}_a = S_{DS} / B_{SSI}, \quad \text{untuk } T_0 \leq T \leq T_s \quad (218)$$

$$\tilde{S}_a = S_{D1} / B_{SSI} T, \quad \text{untuk } T_s < T < T_L \quad (219)$$

$$\tilde{S}_a = S_{D1} T_L / (B_{SSI} T^2), \quad \text{untuk } T > T_L \quad (220)$$

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Dinamik Linier (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



### 1. Site Specific Response Analysis (SSRA)

Respons spektra spesifik situs yang memperhitungkan interaksi tanah-struktur diizinkan untuk digunakan.

Spektra diizinkan untuk disesuaikan dengan rasio redaman viskos dari sistem tanah-struktur,  $\beta_v$ , sebagaimana dijelaskan dalam perhitungan spektra spesifik situs

### 2. Non-Linear Time History Analysis (NLTHA)

Efek dari ITS dapat diperhitungkan menggunakan analisis nonlinear riwayat waktu respons gempa dilakukan menggunakan riwayat percepatan yang diskalakan memenuhi respons spektra spesifik situs termodifikasi untuk interaksi kinematik atau metode lain yang diperbolehkan. Model matematik yang digunakan dalam analisis harus mencakup fleksibilitas fondasi dan tanah dan harus secara eksplisit mengikutsertakan efek dari redaman fondasi sesuai 0 atau metode lain yang diperbolehkan. Efek interaksi kinematik diizinkan untuk diperhitungkan pada saat menentukan respons spektra spesifik situs.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Analisis Dinamik Linier (SNI 1726:2019 - Pasal 14.2)



Respons spektra spesifik situs harus dihitung dengan beberapa syarat tambahan berikut:

- Respons spektra diizinkan untuk disesuaikan dengan efek kinematik ITS dengan mengalikan nilai spektra percepatan pada setiap periode dengan rasio respons spektra masing-masing untuk salah satu efek *base slab averaging* maupun efek penanaman atau efek keduanya ( $RRS_{bsa} \times RRS_e$ ), atau dengan secara langsung menggabungkan satu atau kedua efek ini pada saat menghitung respons spektra;
- Untuk struktur yang tertanam dalam tanah, respons spektra spesifik situs diizinkan untuk dihitung pada kedalaman dasar yang tertanam. Pada kasus ini rasio respons spektra akibat efek dari penanaman ( $RRS_e$ ) harus diambil sebesar 1.0
- Respons spektra spesifik situs termodifikasi untuk interaksi kinematik tidak boleh diambil kurang dari 80 % dari  $S_a$  sebagaimana ditentukan dari respons spektra spesifik situs;
- Respons spektra spesifik situs termodifikasi untuk interaksi kinematik tidak boleh diambil kurang dari 70 % dari  $S_a$  sebagaimana ditentukan dari respons spektra desain dan respons spektra MCER

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Redaman Fondasi (SNI 1726:2019 - Pasal 14.3)



### Rasio Redaman Histeretik Tanah Efektif

Efek dari redaman histeretik tanah harus diwakili oleh rasio redaman histeretik tanah efektif,  $\beta_s$ , ditentukan berdasarkan penyelidikan spesifik situs. Secara praktis, diizinkan untuk mengambil nilai  $\beta_s$  sesuai Tabel 42.

**Tabel 42 – Rasio redaman histeretik tanah,  $\beta_s$**

Kelas situs	Percepatan puncak efektif, $S_{DS}/2,5^a$			
	$S_{DS}/2,5 = 0$	$S_{DS}/2,5 = 0,1$	$S_{DS}/2,5 = 0,4$	$S_{DS}/2,5 \geq 0,8$
C	0,01	0,01	0,03	0,05
D	0,01	0,02	0,07	0,15
E	0,01	0,05	0,20	<i>b</i>
F	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

**CATATAN**  
<sup>a</sup> Gunakan interpolasi linear untuk nilai  $S_{DS}/2,5$  di antara nilai  $S_{DS}/2,5$  pada tabel  
<sup>b</sup> Harus dilakukan investigasi geoteknik spesifik situs dan analisis respons dinamik situs lebih lanjut

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Redaman Fondasi (SNI 1726:2019 - Pasal 14.3)



### Rasio Kecepatan Gelombang Geser Efektif Tanah

**Tabel 40 – Rasio kecepatan gelombang geser efektif ( $v_s/v_{sw}$ )**

Kelas situs	Percepatan puncak efektif, $S_{DS}/2,5^a$			
	$S_{DS}/2,5 = 0$	$S_{DS}/2,5 = 0,1$	$S_{DS}/2,5 = 0,4$	$S_{DS}/2,5 \geq 0,8$
A	1,00	1,00	1,00	1,00
B	1,00	1,00	0,97	0,95
C	1,00	0,97	0,87	0,77
D	1,00	0,95	0,71	0,32
E	1,00	0,77	0,22	<i>b</i>
F	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

**CATATAN**  
<sup>a</sup> Gunakan interpolasi linear untuk nilai  $S_{DS}/2,5$  diantara nilai  $S_{DS}/2,5$  pada tabel  
<sup>b</sup> Harus dilakukan investigasi geoteknik spesifik situs dan analisis respons dinamik situs lebih lanjut

### Rasio Modulus Geser Efektif Tanah

**Tabel 41 – Rasio modulus geser efektif ( $G/G_0$ )**

Kelas situs	Percepatan puncak efektif, $S_{DS}/2,5^a$			
	$S_{DS}/2,5 = 0$	$S_{DS}/2,5 = 0,1$	$S_{DS}/2,5 = 0,4$	$S_{DS}/2,5 \geq 0,8$
A	1,00	1,00	1,00	1,00
B	1,00	1,00	0,95	0,9
C	1,00	0,95	0,75	0,60
D	1,00	0,90	0,50	0,10
E	1,00	0,60	0,05	<i>b</i>
F	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

<sup>a</sup> Gunakan interpolasi linear untuk nilai  $S_{DS}/2,5$  diantara nilai  $S_{DS}/2,5$  pada tabel  
<sup>b</sup> Harus dilakukan investigasi geoteknik spesifik situs dan analisis respons dinamik situs lebih lanjut

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Interaksi Tanah Struktur Kinematik (SNI 1726:2019 - Pasal 14.4)



Efek dari ITS kinematik diizinkan untuk diwaliki oleh :

- Faktor modifikasi respons spektra ( $RRS_{bsa}$ ) untuk base slab averaging
- $RRS_e$  untuk penanaman, yang dikalikan dengan nilai percepatan spektra pada setiap periode.

Hasil perkalian  $RRS_{bsa} \times RRS_e$  tidak boleh lebih kecil dari 0,7.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Interaksi Tanah Struktur Kinematik (SNI 1726:2019 - Pasal 14.4)



### 14.4.1 Base slab averaging

Efek dari *base slab averaging* melalui pembuatan fungsi transfer spesifik situs yang mewakili ITS kinematik yang diperkirakan pada situs untuk konfigurasi fondasi tertentu, diizinkan untuk dipertimbangkan. Secara praktis, modifikasi *base slab averaging* menggunakan prosedur pada pasal ini diizinkan untuk kasus-kasus berikut:

1. Semua struktur yang berada pada kelas situs C, D, atau E
2. Struktur dengan sistem fondasi yang terdiri dari struktur mat atau elemen fondasi yang saling terhubung dengan pelat beton atau yang secara menerus terhubung dengan *grade beam* atau elemen fondasi lain yang memiliki kekakuan lateral yang cukup sehingga tidak dikategorikan memiliki sifat fleksibel menurut 0.

Faktor modifikasi untuk *base slab averaging* ( $RRS_{bsa}$ ) harus ditentukan menggunakan persamaan (245) untuk setiap periode yang dibutuhkan dalam analisis.

$$RRS_{bsa} = 0,25 + 0,75 \times \left\{ \frac{1}{b_0^2} \left[ 1 - \left( \exp(-2b_0^2) \right) \times B_{bsa} \right] \right\}^{1/2} \quad (245)$$

$$B_{bsa} = \begin{cases} 1 + b_0^2 + b_0^4 + \frac{b_0^6}{2} + \frac{b_0^8}{4} + \frac{b_0^{10}}{12} & b_0 \leq 1 \\ \left[ \exp(2b_0^2) \right] \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}b_0} \left( 1 - \frac{1}{16b_0^2} \right) \right] & b_0 > 1 \end{cases}$$

$$b_0 = 0,0023 \times \left( \frac{b_e}{T} \right)$$

**Keterangan:**

$b_e$  adalah ukuran fondasi efektif

$$b_e = \sqrt{A_{base}} \leq 80 \text{ m}$$

$$200 \leq v_s \leq 500 \text{ (m/s)}$$

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Efek Interaksi Tanah Struktur Kinematik (SNI 1726:2019 - Pasal 14.4)



### 14.4.2 Penanaman

Respons spektra harus dihitung berdasarkan penelitian spesifik situs pada kedalaman dimana dasar struktur berada. Secara praktis, modifikasi akibat penanaman diizinkan dengan menggunakan prosedur pada pasal ini.

Faktor modifikasi untuk penanaman,  $RRS_e$ , harus ditentukan menggunakan persamaan (249) untuk setiap periode yang dibutuhkan dalam analisis.

$$RRS_e = 0,25 + 0,75 \times \cos\left(\frac{2\pi e}{Tv_s}\right) \quad (249)$$

#### Keterangan:

- $e$  = kedalaman penanaman fondasi, tidak lebih besar dari 6,1 meter. Sedikitnya 75 % dari tapak fondasi harus mencapai kedalaman penanaman. Fondasi untuk struktur yang berada pada daerah lereng harus diambil dari kedalaman penanaman terkecil
- $v_s$  = kecepatan gelombang geser efektif rata-rata pada tanah, diambil sebagai rata-rata dari nilai kecepatan sepanjang kedalaman penanaman dari fondasi yang ditentukan berdasarkan  $v_{s0}$  dan Tabel 40 atau berdasarkan penyelidikan tanah spesifik situs dan tidak boleh lebih kecil dari 200 m/s
- $v_{s0}$  = kecepatan gelombang geser rata-rata fondasi pada tingkat regangan kecil sepanjang kedalaman penanaman fondasi
- $T$  = periode untuk menghitung nilai respons spektra, tidak boleh diambil lebih kecil dari 0,2 detik apabila digunakan padapersamaan (249)

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## RINGKASAN DASAR DASAR INTERAKSI TANAH STRUKTUR



- ITS tidak memberikan pengaruh significant pada kasus struktur yang fleksibel pada tanah yang kaku
- ITS dapat memberikan pengaruh cukup significant pada struktur yang kaku pada tanah lunak
- Fundamental period pada system tanah struktur adalah lebih besar daripada struktur yang diasumsikan berdiri pada fixed base
- Efektif damping pada system tanah struktur adalah lebih besar daripada struktur saja
- Peralihan total dapat bertambah besar pada ITS – akan menjadi penting pada struktur yang berdekatan
- Dengan mengabaikan ITS adalah ekivalen dengan menganggap struktur tersebut berdiri pada material yang kaku (cadas batu)

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

# Thank You

## **Persyaratan Desain Gempa pada Fondasi (SNI 8460:2017 - Pasal 12.2.4)**



### **12.2.4.2 Evaluasi lateral spreading displacements (PEER Report 2011/04)**

Evaluasi deformasi tanah akibat potensi likuifaksi (*potential liquefaction-induced ground deformation*) meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut.

a. Karakterisasi situs dan evaluasi potensi likuifaksi

Karakterisasi situs meliputi interpretasi kondisi geologi lokal, evaluasi foto udara, dan catatan kejadian di masa lampau. Penyelidikan lapangan harus meliputi kombinasi antara uji penetrasi standar, uji penetrasi konus, dan uji laboratorium. Uji penetrasi standar yang digunakan untuk evaluasi likuifaksi harus memenuhi kriteria yang dinyatakan pada ASTM D-6066 (ASTM 2008). Analisis potensi likuifaksi harus dilakukan oleh ahli bidang geoteknik tersertifikasi yang telah memiliki pengalaman di bidang tersebut.

b. Pemicu likuifaksi (*triggering of liquefaction*)

Potensi likuifaksi pada tanah tidak kohesif (*cohesionless soils*) dapat dilakukan menggunakan pendekatan Seed-Idriss (1971) atau Idriss and Boulanger (2004, 2010), yaitu melakukan prosedur pendugaan rasio tegangan cyclic akibat gempa (earthquake induced Cyclic Stress Ratio, CSR) dan korelasi potensi likuifaksi berdasarkan hasil uji lapangan (Standard Penetration Test, SPT dan Cone Penetration Test, CPT) untuk memperkirakan Cyclic Resistance Ratio, (CRR)

## Persyaratan Desain Gempa pada Fondasi (SNI 8460:2017 - Pasal 12.2.4)



### 12.2.4.3 Efek Likuifaksi pada Perancangan Fondasi

Untuk kebutuhan perancangan, likuifaksi diperkirakan untuk terjadi bersamaan dengan beban puncak pada struktur (tidak dilakukan pengurangan perpindahan energi seismik akibat likuifaksi dan pelunakan tanah).

Efek likuifaksi pada fondasi meliputi:

- a) Pengurangan kapasitas lateral dan aksial serta kekakuan fondasi dalam;
- b) Lateral spreading;
- c) Penurunan tanah dan kemungkinan efek downdrag.

Penurunan tanah akibat densifikasi tanah tanah yang mengalami likuifaksi dapat mengakibatkan *down drag* pada tiang, oleh karenanya maka penurunan fondasi harus dievaluasi dan analisis *down drag* harus dilakukan.

Faktor keamanan ( $FK > 1.1$ ) harus dipenuhi daya dukung tiang pada kondisi *down drag* tersebut

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Desain Gempa pada Fondasi (SNI 8460:2017 - Pasal 12.2.4)



### 12.2.4.3 Efek Likuifaksi pada Perancangan Fondasi

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada perancangan fondasi adalah sebagai berikut.

- a) Penggunaan fondasi dangkal/fondasi telapak tidak direkomendasikan pada tanah dengan potensi likuifaksi tinggi, kecuali dilakukan metode perbaikan tanah untuk menghilangkan kondisi likuifaksi tersebut.
- b) Untuk fondasi tiang, tahanan friksi pada lapisan tanah dengan potensi likuifaksi harus diabaikan atau tidak diperhitungkan dalam perhitungan daya dukung aksial ataupun uplift.
- c) Penggunaan pengurangan kekuatan geser (kondisi residual) digunakan untuk mengevaluasi kapasitas lateral fondasi menggunakan metode liquified p-y curve dengan kriteria mengacu pada R Seed & L Harded (1990).
- d) Gunakan modifikasi PL/AE pada kurva T-Z dengan pertimbangan, bila zona likuifaksi mereduksi tahanan friksi hingga kurang dari 50% daya dukung ultimitnya, maka gunakan kondisi daya dukung ujung pada evaluasi perhitungan daya dukung tiang. Jika sebaliknya, gunakan evaluasi daya dukung dengan memperhitungkan daya dukung friksi tiang.
- e) Penggunaan tiang miring (*battered piles*) dan tiang beton prategang tidak direkomendasikan pada tanah dengan potensi likuifaksi tinggi. Penggunaan tiang baja direkomendasikan dengan mempertimbangkan kelenturan dan daktilitas sistem fondasi.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia



## Persyaratan Desain Gempa pada Dinding Penahan (SNI 8460:2017)



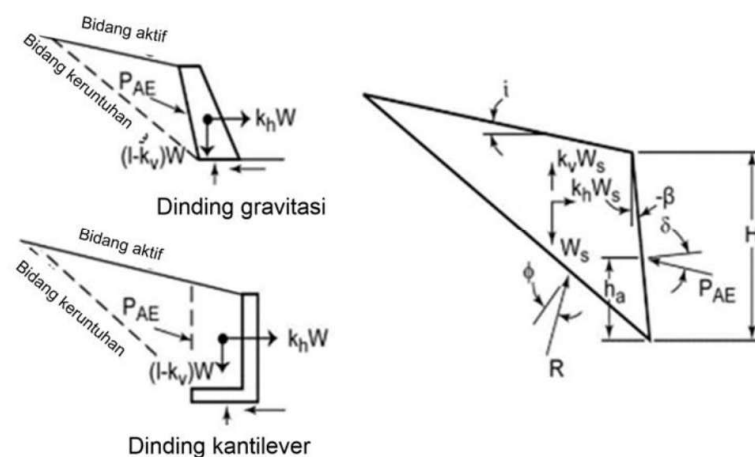
Persyaratan gempa untuk dinding penahan mengacu pada AASHTO Bridge Design Specification (2012). Evaluasi gaya gempa pada dinding penahan harus dilakukan menggunakan pendekatan yang sesuai dengan kondisi dan batasan yang disyaratkan oleh masing-masing persamaan sebagai berikut:

### a. Pendekatan pseudostatik menggunakan pendekatan Mononobe (1929) dan Okabe (1926) dengan dengan asumsi:

- 1) Abutmen bebas berdeformasi sedemikian sehingga memberikan kondisi tekanan aktif. Bila abutmen kaku terkekang dan tidak dapat bergerak, maka tekanan tanah yang diperoleh akan lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis MononobeOkabe.
- 2) Timbunan di belakang abutmen bersifat non-koheusif dengan sudut geser dalam.
- 3) Timbunan tidak jenuh sehingga tidak ada pengaruh likuifaksi.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Desain Gempa pada Dinding Penahan (SNI 8460:2017)



Gambar 73 – Diagram gaya metode Mononobe-Okabe (AASHTO, 2012)

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Desain Gempa pada Bendungan (SNI 8460:2017)



Modus keruntuhan yang harus diperiksa pada bendungan urugan akibat gempa :

- 1) Desain fondasi bendungan harus memastikan tidak terjadi likuifaksi.
- 2) Penurunan berlebih akibat deformasi volumetrik plastik atau deformasi geser plastik yang disebabkan oleh peningkatan tegangan geser akibat beban gempa.
- 3) Kelongsoran tebing waduk akibat gempa masuk ke dalam waduk sehingga memicu gelombang tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya pelimpahan melewati tubuh bendungan.
- 4) Kondisi lainnya yang spesifik dengan kondisi setempat yang dapat menjadi modus keruntuhan akibat gempa.
- 5) Analisis dinamik equivalent linear atau nonlinear dengan riwayat waktu dapat dilakukan dengan prosedur *finite element* atau *finite difference*. Beban gempa yang digunakan dalam analisis dinamik harus mempertimbangkan parameter gerak tanah seperti periode natural struktur yang dianalisis.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Desain Gempa pada Bendungan (SNI 8460:2017)



Pemodelan analisis respons dinamik dilakukan dengan memenuhi persyaratan berikut.

- a) Topografi di sekitar bendungan dapat memberikan pengaruh yang besar. Oleh karena itu, penting untuk memodelkan topografi ebatmen (sandaran atau tumpuan) dan tapak fondasi secara akurat. Apabila dalam tubuh bendungan terdapat struktur seperti menara intake atau menara morning glory maka perlu dievaluasi interaksi antara struktur dengan tubuh timbunan.
- b) Penentuan input motion yang digunakan harus berdasarkan hasil seismic hazard analysis pada pasal 12.3.3. Ground motion yang digunakan sebagai input motion selain menggunakan hasil seismic hazard juga menggunakan ground motion hasil seismic hazard analysis yang arah gempanya dibalik atau dengan cara mengalikan dengan -1 (minus 1), hal ini untuk mendapatkan respons dinamik yang paling signifikan. Untuk lokasi bendungan yang dekat dengan sumber gempa nilai gempa vertikal sama dengan nilai gempa horizontal. Sedangkan untuk lokasi bendungan yang jauh nilainya 2/3 dari gempa horizontal.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Desain Gempa pada Lereng (SNI 8460:2017)



Percepatan puncak di permukaan tanah dapat mengakibatkan gaya-gaya inersia signifikan pada lereng atau timbunan dan gaya tersebut dapat mengakibatkan ketidakstabilan atau deformasi permanen. Analisis performa lereng terhadap beban seismik dapat dilakukan menggunakan 2 (dua) pendekatan:

- a) Metode kesetimbangan batas (limit equilibrium methods) menggunakan gaya seismik yang direpresentasikan dalam model pseudostatik. Koefisien seismik yang digunakan adalah percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan faktor keamanan minimum terhadap gempa ( $FK > 1,0$ ). Koefisien seismik horizontal,  $k_h$ , ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi.
- b) Analisis berbasis perpindahan (displacement-based) menggunakan konsep blok keruntuhan Newmark (Newmark sliding block) atau metode pemodelan numerik.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

## Persyaratan Gempa untuk Struktur Tertanam (SNI 8460:2017)



Ketika tanah yang stabil mengalami deformasi akibat gelombang gempa, gorong-gorong, pipa, atau terowongan yang berada di bawah tanah akan mengalami deformasi.

Perilaku struktur tertanam harus dievaluasi terhadap kemungkinan mengalami deformasi aksial, deformasi berbentuk kurva dan perubahan bentuk menjadi oval.

GEOTALK XIX 2022 – Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia