

ANALISIS DAN SIMULASI NUMERIS DEFORMASI *RAFT FOOTING* DI ATAS TANAH LUNAK DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN TANAH MOHR COULOMB

(Studi kasus: Bangunan Fakultas Hukum Universitas Sultan Agung Semarang)

Irdhiani*

Abstract

The main problem in designing construction structure on soft soil is a considerable large deformation, therefore in this research light material is used that is styrofoam concrete to replace landfill in raft footing so the deformation can be reduced. The percentage styrofoam used in concrete mixture are 40%, 60%, 80% dan 100%, then the deformation form caused by construction weight is analysed using Plaxis software version 7.0 with soil model Mohr-Coulomb at three soil water surface condition, they are in very deep water surface, in foundation base and on soil surface. The research result shows that the large the total construction weight, the larger vertical and horizontal movements happened. For styrofoam concrete with the percentage of styrofoam 100% the vertical movement is the opposite direction with other material-fills, because the total weight of construction is lesser than excavated soil weight at 2,45 meter deep.

Keyword: *Raft footing, styrofoam, deformation*

1. Pendahuluan

Kestabilan struktur merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan struktur yang berada di atas tanah lunak. Hal ini berkaitan dengan kondisi tanah dasar dengan kapasitas dukung yang rendah serta tanah dasar yang bersifat kompresibel sehingga berpengaruh terhadap keterbatasan kemampuan tanah dalam menerima beban dan memungkinkan terjadinya penurunan yang besar akibat beban yang bekerja. Agar dapat mereduksi penurunan yang terjadi serta meningkatkan stabilitas konstruksi di atas tanah lunak tersebut maka dapat dilakukan perbaikan kondisi tanah atau menyesuaikan konstruksi dengan parameter tanah yang ada.

Salah satu usaha untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah yang kondisinya tidak menguntungkan yaitu menggunakan fondasi *Raft footing* dengan merencanakan kedalaman galian sama dengan jumlah berat struktur ditambah berat sendiri *Raft footing*, sehingga penurunan struktur menjadi tidak begitu penting.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada tanah dasar di bawah *Raft footing* akibat beban yang bekerja di atasnya dengan menggunakan program Plaxis. Beban yang

bekerja tersebut berupa beban bangunan dengan bahan timbunan tanah dan sirtu serta beton *styrofoam* ringan sebagai pengganti tanah timbunan di bawah *Raft footing* dengan persentase *styrofoam* 40%, 60%, 80% dan 100%. *Styrofoam* adalah busa polystyrene yang dipadatkan. Berat satuan *styrofoam* dalam bentuk granular sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13-16 kg/m³ sehingga diharapkan penggunaan *styrofoam* ringan ini dapat mereduksi penurunan yang terjadi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah lunak

Tanah lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar mengandung butir-butir yang sangat halus seperti lempung/lanau (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000).

Beberapa ahli memiliki definisi berbeda-beda tentang tanah lempung. Wesley (1977) menyatakan lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan mempunyai sifat plastis dan kohesif sedangkan Hardiyatmo (2002a) menyatakan lempung merupakan hasil dari pelapukan batuan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Selain itu, Bowles (1984) menjelaskan bahwa mineral lempung berukuran sangat kecil ($< 2 \mu\text{m}$) dan merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

2.2 Raft floating

Raft footing (raft foundation atau mat foundation), didefinisikan sebagai bagian bawah dari struktur yang berbentuk rakit melebar di seluruh bagian dasar bangunan. Bagian tersebut berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah di bawahnya. *Raft footing* digunakan bila lapisan tanah fondasi berkapasitas dukung rendah, sehingga jika digunakan fondasi telapak akan memerlukan luas area yang hampir memenuhi bagian bawah bangunannya (Hardiyatmo, 2002b).

2.3 Styrofoam

Styrofoam dikenal sebagai salah satu dari busa *polystyrene* yang dipadatkan dan biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2$), yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak *benzena* mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus, sebagai hasilnya *polyester* mempunyai bentuk yang tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik yang cukup regas. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 100°C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* memiliki berat sampai $1050 \text{ kg per } 1 \text{ m}^3$, kuat tarik sampai 40 MN/m^2 , modulus lentur sampai 3 GN/m^2 , modulus geser sampai 0.990 GN/m^2 dan angka *poisson* 0.330 (Crawford, 1998).

Penelitian mengenai beton *styrofoam* ringan dilakukan oleh Wijaya (2005), dengan menggunakan semen *Portland* tipe I sebesar 250 kg/m^3 . Dari penelitian ini, tampak bahwa untuk berat beton tidak direndam dengan persentase *styrofoam* sebesar 20% dan 40% pada campuran beton dapat mengurangi berat beton sebesar $\pm 28\%$ dan $\pm 39\%$ dari beton normal yang mempunyai berat beton sekitar 2400 kg/m^3 sedangkan untuk berat beton direndam dengan persentase *styrofoam* sebesar 20% dan 40% pada campuran beton dapat mengurangi berat beton sebesar $\pm 23\%$ dan $\pm 35\%$.

2.4 Analisa Metode Elemen Hingga

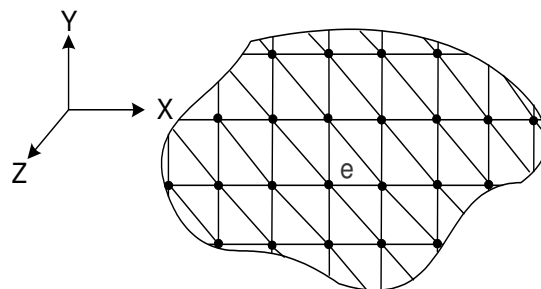
Analisis deformasi tanah dasar di bawah *Raft footing* dilakukan secara numeris dengan menggunakan *software Plaxis versi 7.0*. *Plaxis* merupakan *software* yang berdasar pada metode elemen hingga dan merupakan kependekan dari *plane strain* dan *axisymmetry* (Brinkgreve dan Vermeer, 1998). Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analitis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dengan derajat kebebasan tak berhingga disederhanakan dengan diskretisasi kontinum ke dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis.

Plaxis merupakan suatu paket program elemen hingga khusus menghitung deformasi dan stabilitas tanah pada konstruksi geoteknik. Permasalahan geoteknik membutuhkan suatu model konstitutif untuk mensimulasi perilaku non-linear suatu tanah dan pengaruh waktu. *Plaxis* memberikan beberapa pilihan model konstitutif dalam memecahkan masalah, yaitu : *Mohr-Coulomb model*, *Hardening Soil model*, *Soft Soil model* dan *Soft Soil Creep model* (Brinkgreve dan Vermeer, 1998).

Dalam analisis ini digunakan program *Plaxis* model *Mohr-Coulomb (perfect-plasticity)*. Parameter yang digunakan pada *Mohr-Coulomb* model ini terdiri dari lima parameter yang dapat diperoleh dari tes pada tanah uji yaitu parameter E dan ν mewakili elastisitas tanah, ϕ dan c mewakili plastisitas tanah dan ψ sebagai sudut *dilatancy*.

Beberapa langkah yang dapat digunakan sebagai pedoman analisis dengan pendekatan metode elemen hingga (Suhendro 2000) yaitu :

- 1) Pembagian (*discretizing*) struktur menjadi elemen-elemen (nyata atau imajiner) dengan garis-garis (*grid lines*) yang saling berpotongan di titik-titik nodal (Gambar 1),



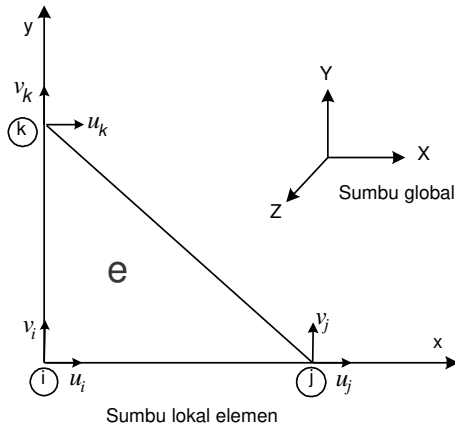
Gambar 1. Diskritisasi struktur dalam sumbu koordinat global.

2) Menetapkan fungsi pendekatan yang digunakan (*approximate functions*) dan penjabaran komponen – komponen perpindahan (*displacements*) (Gambar 2).

$$u = \sum_{i=1}^n a_i \phi_i(x, y, z)$$

$$v = \sum_{i=1}^n b_i \psi_i(x, y, z) \dots\dots\dots(1)$$

$$w = \sum_{i=1}^n c_i \eta_i(x, y, z)$$



Gambar 2. Perpindahan nodal dalam sumbu koordinat lokal elemen.

3) Penggabungan (*assembling*) matrik $[k_g^{(e)}]$, $\{P\}_g^{(e)}$ dan $\{d\}_g^{(e)}$ untuk setiap elemen menjadi matrik $[K]$, $\{P\}$ dan $\{d\}$ struktur,

sehingga diperoleh persamaan keseimbangan struktur dalam koordinat global, yaitu :

$$[K] \cdot \{d\} = \{P\}, \dots\dots\dots(2)$$

4) Penyelesaian persamaan tersebut di atas dengan cara memasukan kondisi – kondisi batas (*boundary conditions*) agar diperoleh solusi berupa perpindahan titik (*nodal displacements*),

5) Penghitungan besarnya tegangan, regangan, maupun gaya – gaya dalam, untuk setiap elemen berdasarkan perpindahan masing – masing titik (*nodal displacements*) yang sudah diperoleh.

$$\{\sigma\} = [E] \{\epsilon\}^{(e)} = [E][B] \{d\}^{(e)} \dots\dots(3)$$

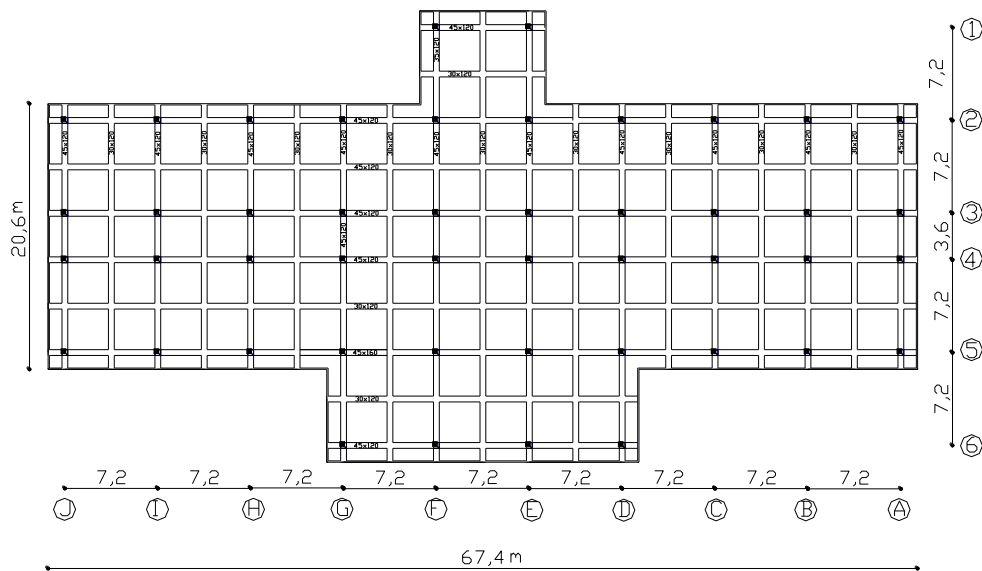
3. Metode Penelitian

3.1 Data

Data penelitian yang digunakan sebagai data analisis dan *input* dasar dalam simulasi numeris adalah gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Jawa Tengah, yang menggunakan fondasi *Raft footing*, yang dilaksanakan pada tahun 1995 dan data tanah yang digunakan sebagai pedoman analisis adalah data yang diperoleh dari hasil uji di lapangan dan uji di laboratorium yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang. Adapun data *input* material tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data *input* material tanah dasar

	γ_{dry} (kN/m^3)	γ_{wet} (kN/m^3)	k_x (m/hr)	k_y (m/hr)	E (kN/m^2)	ν	c	ϕ ($^\circ$)	ψ ($^\circ$)
Clay	10,97	16,62	$2,53147 \times 10^{-5}$	$2,53147 \times 10^{-5}$	2000	0,3	15,6	7,50	0
Clay	10,81	16,51	$1,20663 \times 10^{-4}$	$1,20663 \times 10^{-4}$	2000	0,3	4,17	5,08	0
Clay	11,91	17,18	$1,20663 \times 10^{-4}$	$1,20663 \times 10^{-4}$	2200	0,3	7,25	6,10	0
Clay 4	11,91	17,18	$1,20663 \times 10^{-4}$	$1,20663 \times 10^{-4}$	2200	0,3	7,25	6,10	0



Gambar 3. Denah fondasi Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Tabel 2. Data *input* material fondasi

	Normal stiffness (EA) kN/m	Flexural rigidity (EI) kN.m ² /m	d (m)	Weight (w) (kN/m/m)	ν
Raft footing	337238045,0592	44656493,5090	1,261	4,8	0,15

Tabel 3. Hasil pemeriksaan berat beton dengan semen *portland* tipe I 250 kg/m³

Variasi Adukan	Nilai fas	Perbandingan Volume Bahan		Berat Beton Rerata (kg/m ³)	
		<i>Styrofoam</i>	Pasir	Direndam	Tidak Direndam
I	0.425	100%	0%	391	321
II	0.500	80%	20%	817	758
III	0.700	60%	40%	1239	1157
IV	0.875	40%	60%	1568	1454

Gambar 3 merupakan Denah fondasi Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Deformasi pada *Raft footing* ditinjau dalam arah sumbu *y*. Lebar *Raft footing* yang di-*input* pada *Plaxis* atau searah sumbu *y* adalah 20,6 meter.

Raft footing dimodelkan sebagai *beam* pada *Plaxis* dengan lebar 20,6 m. *Properties beam* sebagai *Raft footing* yang di-*input* pada *Plaxis*

diperoleh dari hasil hitungan sesuai dengan gambar rencana. Data *input* material *Raft footing* dapat dilihat pada Tabel 2.

Beton *styrofoam* ringan pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengganti timbunan sirtu dan tanah. Data beton *styrofoam* ringan yang digunakan yaitu dari hasil penelitian (Wijaya, 2005). Adapun hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

*Analisa Simulasi dan Numeris Deformasi Raft Floating di Atas Tanah Lunak dengan Menggunakan Pemodelan Tanah Mohr Coulomb
(Studi kasus: Bangunan Fakultas Hukum Universitas Sultan Agung Semarang)*

Beban yang bekerja pada *Raft footing* merupakan beban bangunan yang terdiri dari 3 lantai dengan tinggi timbunan sebesar 3,35 m. Selisih antara tekanan akibat penggalian dengan tekanan akibat penimbunan termasuk beban lantai satu dengan beban penimbunan pada penelitian ini

ada dua macam yaitu sirtu dan tanah sesuai pelaksanaan di lapangan serta beton *styrofoam* ringan yang berfungsi untuk mereduksi total berat bangunan yang bekerja. Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan data input beban pada Plaxis.

Tabel 4. Total berat bangunan untuk muka air terletak di permukaan tanah

Berat lantai 2, lantai 3 dan atap hasil analisis SAP (a)			26,706		
Berat lantai satu di atas timbunan (b)			5,504		
σ_{tanah} yang terjadi (kN/m ²)	Akibat timbunan (c)	Tanah & sirtu	65,611		
		styrofoam	100%	23,317	
			80%	35,379	
			60%	46,392	
	40%		54,589		
Akibat tanah asli (sebelum digali) (d)		40,670			
Tanah & sirtu			57,151		
Total berat bangunan (kN/m ²)			styrofoam		
(a+b+c-d)				100%	14,858
				80%	26,919
				60%	37,932
			40%	46,130	

Tabel 5. Total berat bangunan untuk muka air terletak sangat dalam muka air terletak di dasar fondasi

Berat lantai 2, lantai 3 dan atap hasil analisis SAP (a)			26,706		
Berat lantai satu di atas timbunan (b)			5,504		
σ_{tanah} yang terjadi (kN/m ²)	Akibat timbunan	Tanah & sirtu	65,611		
		styrofoam	100%	25,249	
			80%	37,007	
			60%	48,655	
	40%		57,736		
Akibat tanah asli (sebelum digali) (d)		40,670			
gaya uplift			24,500		
Tanah & sirtu			32,651		
Total berat bangunan (kN/m ²)			styrofoam		
(a+b+c-d)				100%	-7,710
				80%	4,048
				60%	15,696
			40%	24,776	

3.2 Alat

Satu set perangkat keras (*hardware*) berupa komputer Pentium IV dengan memori 256 MB dan perangkat lunak (*software*) program *Plaxis* versi 7.0. Program *Plaxis* ini merupakan suatu paket program *finite element* yang khusus

digunakan untuk analisis deformasi dan stabilitas tanah pada konstruksi geoteknik.

3.3 Prosedur penelitian

Deformasi yang ditinjau berupa perpindahan vertikal dan perpindahan horisontal

dengan menggunakan program *Plaxis* sebagai berikut :

- a. Penggambaran model geometri ke bidang gambar dalam program *Plaxis* sesuai dengan koordinat yang telah ditetapkan serta koordinat tanah dasar fondasi sesuai dengan kedalaman yang diinginkan,
- b. Jika kondisi tanah dasar fondasi mempunyai nilai *properties* yang berbeda, maka geometri konstruksi dibagi dan dikelompokan sesuai dengan nilai *properties* yang sama, kemudian nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam *input data*,
- c. Pada penelitian ini tanah timbunan dan tanah dasar menggunakan model material tipe *Mohr-Coulomb*, parameter yang dibutuhkan adalah berat volume basah (γ_{wet}), berat volume kering (γ_{dry}), modulus elastisitas (E), *Poisson's ratio* (ν), kohesi (c) dan sudut gesek dalam tanah (ϕ),
- d. *Raft footing* dimodelkan sebagai *beam*, parameter yang dibutuhkan adalah *elastic axial stiffness* (EA), *flexural rigidity* (EI), ketebalan ekuivalen (d), berat *beam* (w), *Poisson's ratio* (ν),
- e. Berat total bangunan per m² di-*input* sebagai beban merata yang bekerja di atas *beam*,
- f. Ketika model geometri sudah selesai dibuat beserta data *inputnya*, lalu *finite element mesh* dapat di-*generate* secara otomatis oleh *Plaxis*. Konstruksi akan dibagi menjadi elemen-elemen dasar (segitiga) yang sesuai dengan elemen struktur. Proses *generate* didasarkan pada prinsip triangulasi yang kuat, yaitu mencari nodal-nodal dengan nilai optimum, sehingga hasilnya dapat berbentuk jaring segitiga yang tidak teratur,
- g. Hasil hitungan dapat diketahui nilai deformasi yang terjadi pada setiap nodal elemen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perpindahan Arah Vertikal untuk Sirtu dan Tanah serta Beton *Styrofoam* Ringan sebagai Timbunan ditinjau ke Arah Horisontal

Gambar 4 memperlihatkan pola perpindahan vertikal untuk sirtu dan tanah sebagai timbunan serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40%, 60%, 80% dan 100% sebagai bahan pengganti tanah dan sirtu.

Perpindahan vertikal terbesar pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40%, 60%, 80% dan 100% untuk muka

air tanah terletak sangat dalam berturut-turut sebesar -0,23683 m, -0,16009 m, -0,10618 m, -0,03638 m dan 0,08008 m, untuk muka air terletak di dasar fondasi berturut-turut sebesar -0,23999 m, -0,16452 m, -0,11112 m, -0,04129 m dan 0,08610 m, dan untuk muka air terletak di permukaan tanah berturut-turut sebesar -0,14136 m, -0,09075 m, -0,03362 m, 0,06396 m dan 0,13739 m.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40% dan 60% pada tiga kondisi muka air tanah dan beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80% pada muka air terletak sangat dalam dan muka air terletak di dasar fondasi memiliki pola perpindahan vertikal yang sama yaitu perpindahan vertikal terbesar terjadi pada jarak ± 9 m dari pusat fondasi. Hal ini disebabkan beban yang bekerja cukup besar sehingga deformasi plastis tanah mulai nampak dan gerakan tanah pada kedudukan plastis tersebut dimulai dari tepi fondasi. Pada jarak lebih besar dari 30 m dari pusat fondasi, tanah mengalami pergerakan ke arah atas (*heaving*). Ini dikarenakan tanah di dasar fondasi mencapai kapasitas dukung maksimumnya sehingga tidak mampu menahan beban yang semakin bertambah besar sehingga tanah di bawah dasar fondasi bergerak ke arah luar yang disertai dengan menggelembungnya tanah permukaan. Sedangkan untuk beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80% pada muka air terletak di permukaan tanah dan beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% pada tiga kondisi muka air tanah, pergerakan ke arah atas terbesar terjadi tepat di tengah fondasi. Hal ini disebabkan beton *styrofoam* tersebut lebih ringan daripada tanah yang digali sedalam 2,45 m.

Perpindahan vertikal pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* untuk muka air yang terletak di permukaan tanah mengalami reduksi. Hal ini disebabkan adanya gaya ke arah atas (*uplift*) akibat air setinggi 2,45 m pada fondasi. Untuk beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% mengalami gaya *uplift* terbesar yaitu 0,13739 m.

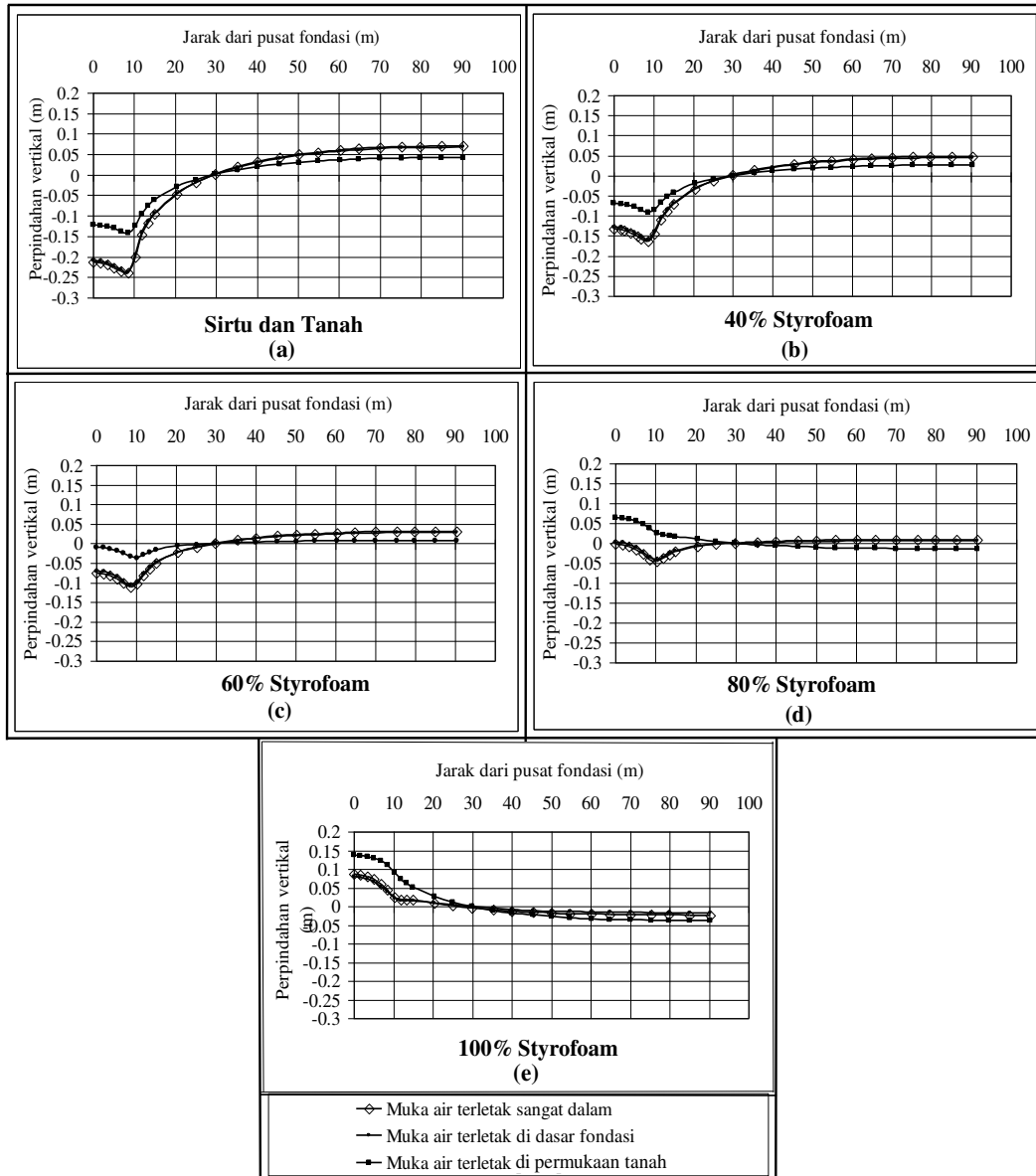
4.2 Perpindahan Arah Vertikal untuk Sirtu dan Tanah serta Beton *Styrofoam* Ringan sebagai Timbunan ditinjau ke Arah Vertikal

Gambar 5 menunjukkan pola perpindahan vertikal pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40%, 60%, 80% dan 100% yang ditinjau di pusat fondasi sampai kedalaman 80 m. Perpindahan vertikal yang terjadi searah sumbu -x apabila beban yang bekerja cukup besar.

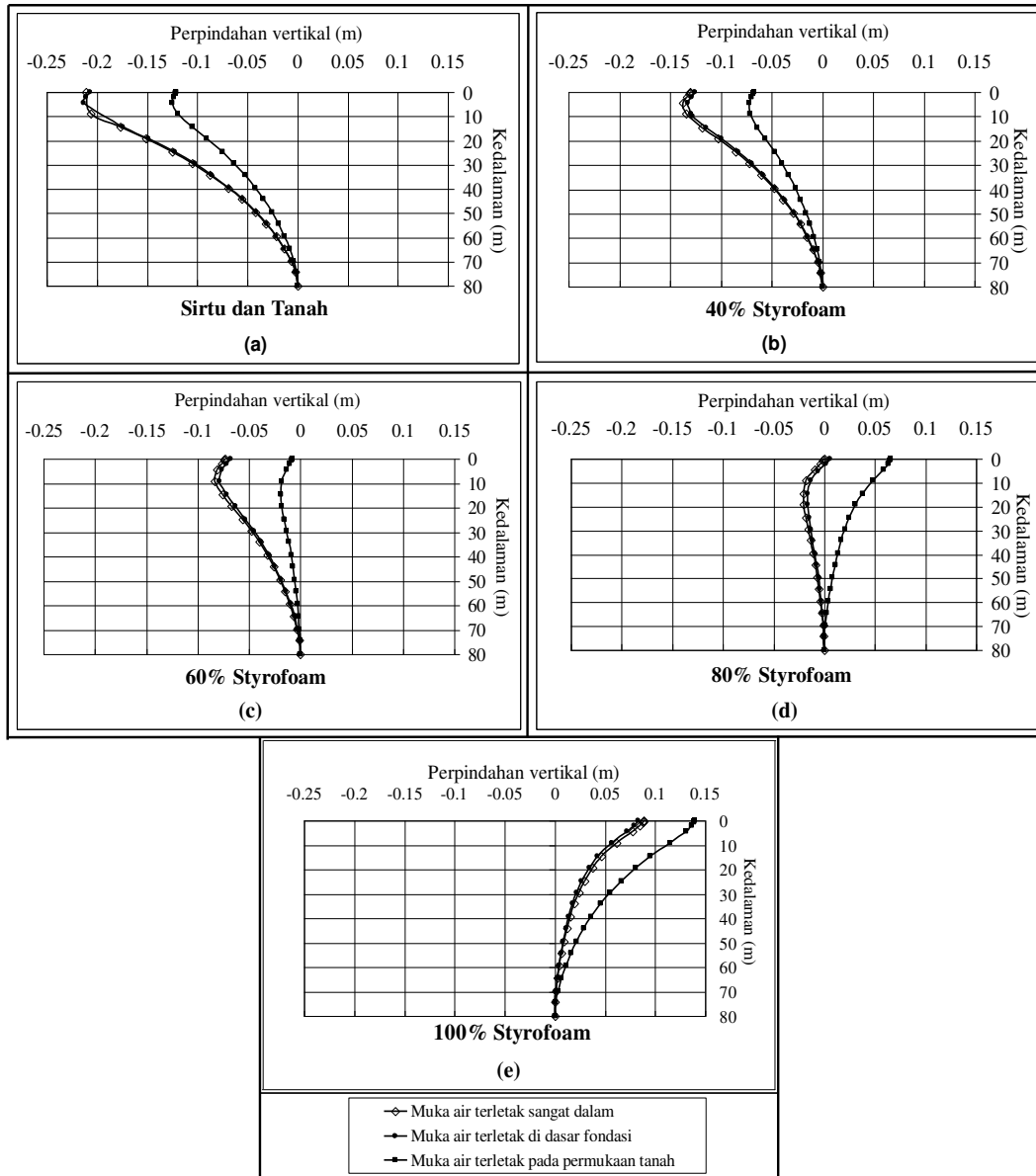
*Analisa Simulasi dan Numeris Deformasi Raft Floating di Atas Tanah Lunak dengan Menggunakan
Pemodelan Tanah Mohr Coulomb
(Studi kasus: Bangunan Fakultas Hukum Universitas Sultan Agung Semarang)*

Untuk sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40%, 60%, 80% dan 100% mengalami perpindahan vertikal terbesar pada muka air tanah terletak sangat dalam berturut-turut yaitu -0,21339 m, -0,13327 m, -0,07894 m, -0,01694 m dan 0,08297 m, pada

muka air terletak di dasar fondasi berturut-turut sebesar -0,21685 m, -0,13772 m, -0,08323 m, -0,02079 m, dan 0,08899 m, dan pada muka air terletak di permukaan tanah berturut-turut sebesar -0,12473 m, -0,07271 m, -0,019269 m, 0,06580 m dan 0,13945 m.



Gambar 4. Perpindahan vertikal pada tanah dasar dengan sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* ringan sebagai timbunan yang ditinjau dari pusat fondasi ke arah horisontal



Gambar 5. Perpindahan vertikal pada tanah dasar dengan sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* ringan sebagai timbunan yang ditinjau dari pusat fondasi terhadap kedalaman.

Perpindahan vertikal terjadi searah sumbu $-x$ pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40% dan 60% untuk ke tiga kondisi muka air tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80% untuk muka air terletak sangat dalam dan di dasar fondasi. Terlihat pula pada kedalaman -80 m, perpindahan vertikal yang terjadi mendekati nol. Hal ini

diakibatkan pada kedalaman tersebut tanah bersifat relatif lebih padat dibandingkan dengan lapisan di atasnya. Selain itu, pengaruh tekanan akibat beban yang bekerja di atasnya sangat kecil.

Perpindahan vertikal pada beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80% untuk muka air terletak di permukaan tanah dan beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% untuk ke tiga

kondisi muka air tanah adalah searah sumbu +x. Hal ini disebabkan adanya gaya *uplift* setinggi 2,45 m pada fondasi sehingga beban yang bekerja lebih ringan dibandingkan dengan tanah yang digali sedalam 2,45 m tersebut. Selain itu, terlihat bahwa semakin jauh dari permukaan tanah, perpindahan vertikal semakin kecil dan pada kedalaman -80 m mendekati nol.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

- 1) Total berat bangunan, perpindahan vertikal dan perpindahan horisontal terbesar terjadi pada tanah dan sirtu sebagai timbunan, sehingga semakin berat suatu bangunan, maka semakin besar pula deformasi yang terjadi baik dalam arah vertikal maupun horisontal.
- 2) Perpindahan vertikal terbesar ditinjau dari pusat fondasi secara horisontal sampai *boundary condition* terjadi pada tanah dan sirtu yaitu untuk muka air terletak sangat dalam -0,23683 m, muka air terletak di dasar fondasi -0,23999 m dan muka air terletak di permukaan tanah -0,14136 m. Perpindahan vertikal terbesar tersebut terjadi pada jarak ± 9 m, sementara pada jarak ± 30 m, perpindahan vertikal yang terjadi sama dengan nol. Sedangkan pada 100% *styrofoam*, perpindahan vertikal terbesar terjadi pada pusat fondasi yaitu untuk muka air terletak sangat dalam 0,08008 m, muka air terletak di dasar fondasi 0,08610 m dan muka air terletak di permukaan tanah 0,13739 m.
- 3) Perpindahan horisontal terbesar terjadi pada jarak $\pm 6,86667$ m. Perpindahan horisontal tersebut ditinjau dari pusat fondasi secara horisontal sampai *boundary condition* terjadi pada tanah dan sirtu yaitu untuk muka air terletak sangat dalam 0,03049 m, muka air terletak di dasar fondasi 0,03076 m dan muka air terletak pada permukaan tanah 0,02665 m. Sedangkan pada 100% *styrofoam* terjadi perpindahan vertikal terbesar terjadi pada jarak $\pm 11,86250$ m yaitu untuk muka air terletak sangat dalam -0,01823 m, muka air terletak di dasar fondasi -0,01975 m dan muka air terletak di permukaan tanah -0,01651 m.
- 4) Perpindahan vertikal terbesar ditinjau dari pusat fondasi sampai kedalaman 80 m terjadi pada tanah dan sirtu yaitu untuk muka air terletak sangat dalam -0,21339 m, muka air terletak di dasar fondasi -0,21685 m dan muka air terletak di permukaan tanah -0,12473 m. Pada 100% *styrofoam* terjadi perpindahan

vertikal terbesar tepat di bawah fondasi atau pada kedalaman 0 m yaitu untuk muka air terletak sangat dalam 0,08297 m, muka air terletak di dasar fondasi 0,08899 m dan muka air terletak di permukaan tanah 0,13945 m.

5.2 Saran

- 1) Data-data pendukung seperti uji laboratorium maupun uji lapangan yang lengkap sangat diperlukan sebagai penunjang penelitian,
- 2) Penggunaan model elemen hingga untuk tanah yang lebih detail dengan tingkat diskretisasi material yang lebih tinggi, seperti *soft soil model*, *soft soil creep model* agar hasil yang diperoleh bisa lebih mendekati kondisi asli di lapangan.

6. Daftar Pustaka

- Bilmeyer, Jr, FW., 1984, *Text Book of Polymer Science*, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc, Singapore.
- Bowles, J.E., 1984, *Physical and Geotechnical Properties of Soil*, second edition McGraw-Hill, Singapore.
- Brinkgreve, R.B.J and Vermeer, P.A., 1998, *Plaxis Version 7*, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland.
- Crawford, R.J., 1998, *Plastic Engineering*, Third Edition.
- Hardiyatmo, H.C., 2002a, *Mekanika Tanah I*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002b, *Teknik Fondasi I*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K., 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi I*, Cetakan Ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suhendro, B., 2000, *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Wesley, L.D., 1977, *Mekanika Tanah*, Cetakan ke VI, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wijaya, S.N., 2005, *Efek Perendaman Beton Styrofoam Ringan dengan Semen Portland Tipe I 250 kg/m³*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.