

ANALISIS DEFORMASI DUA DIMENSI PADA *RAFT FOOTING* DI ATAS TANAH LUNAK AKIBAT BEBAN BANGUNAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Irdhiani

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako
e-mail: irdhiani@yahoo.co.id

Abstract: *The main problem in design of building structure on soft soil is very big degradation. One of the alternative to reduce the degradation is to reduce the building weight by using lighter materials both for the upper structure and under structure on hoard. In this problem, light material of styrofoam is used as concrete mixture and as filler substance for hoard. The percentage of styrofoam to concrete used in this research are 40 %, 60 %, 80 % and 100 % of the mix concrete. The deformation pattern due to the building weight is analyzed using Plaxis software version 7.0 with modeling of Mohr-Coulomb soil on three conditions of soil water face, that are water face deeply located, in base of raft footing, and in ground surface. The result of this research shows the higher building total weight, the higher vertical and horizontal transferring. For 100% styrofoam arise contrarily vertical transferring with the other hoard because of building total weight is smaller than the weight of dig ground in 2.45 meter depth.*

Keywords: *raft footing, styrofoam, deformation*

Abstrak: Permasalahan utama dalam perancangan struktur bangunan di atas tanah lunak adalah penurunan yang cukup besar. Salah satu alternatif untuk mereduksi penurunan yang terjadi yaitu mereduksi berat bangunan, antara lain menggunakan material yang lebih ringan baik pada struktur bagian atas maupun pada timbunan. Dalam masalah ini, material ringan yang digunakan adalah *styrofoam* yang digunakan sebagai campuran beton maupun sebagai bahan pengisi untuk timbunan. Penelitian ini menggunakan beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40 %, 60 %, 80 % dan 100 % dari campuran beton. Pola deformasi akibat berat bangunan tersebut dianalisis menggunakan *software Plaxis* versi 7,0 dengan pemodelan tanah Mohr-Coulomb pada tiga kondisi muka air tanah yaitu muka air terletak sangat dalam, di dasar fondasi tipe *raft footing* dan di permukaan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar total berat bangunan maka semakin besar perpindahan vertikal dan horisontal yang terjadi. Untuk beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% terjadi perpindahan vertikal yang berlawanan arah dengan bahan timbunan lainnya yang disebabkan total berat bangunannya lebih kecil daripada berat tanah galian sedalam 2,45 meter.

Kata Kunci: *raft footing, styrofoam, deformasi*

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan konstruksi/struktur sering dijumpai keadaan tanah dengan sifat-sifat yang tidak mendukung struktur tersebut, sehingga perlu dilakukan perbaikan kondisi tanah atau menyesuaikan konstruksi dengan parameter tanah yang ada. Tanah lunak berupa tanah lempung merupakan salah satu tanah yang bermasalah di bidang konstruksi karena selain mempunyai kuat dukung rendah juga mempunyai sifat *compressible*, sehingga

memungkinkan terjadinya penurunan yang besar akibat beban yang bekerja.

Dalam penelitian ini akan dipelajari tentang pemanfaatan beton *styrofoam* ringan yang merupakan salah satu material ringan. Beton *styrofoam* ringan tersebut digunakan sebagai pengganti tanah timbunan di bawah *raft footing* pada tanah lunak. *Styrofoam* adalah busa *polystyrene* yang dipadatkan. Berat satuan *styrofoam* dalam bentuk granular sangat kecil

yaitu hanya berkisar antara 13 sampai 16 kg/m³.

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

Beban yang bekerja tersebut berupa beban bangunan dengan bahan timbunan tanah dan sirtu serta beton *styrofoam* ringan dengan persentase *styrofoam* 40 %, 60 %, 80 % dan 100 %. Penggunaan *styrofoam* ringan ini diharapkan dapat mereduksi penurunan yang terjadi sehingga jumlah bangunan dapat ditingkatkan sesuai dengan faktor aman yang telah ditentukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan Material Ringan pada Timbunan

Stabilitas dan besarnya penurunan di atas tanah lunak dipengaruhi oleh berat konstruksi di atasnya. Semakin berat suatu konstruksi maka semakin besar pula penurunan dan tegangan yang terjadi pada tanah. Apabila suatu konstruksi membutuhkan suatu timbunan, maka penurunan dan tegangan yang terjadi pada tanah dapat dikurangi dengan menggunakan material yang lebih ringan dibandingkan dengan material pada timbunan yang biasa digunakan.

Berat volume material-material yang dapat digunakan untuk timbunan dapat dilihat pada Tabel 1.

Beton Ringan

Menurut Murdock (1986), berat volume beton ringan berkisar antara 1360 sampai 1840 kg/m³ dan berat volume 1850 kg/m³ dapat dianggap sebagai batas dari beton ringan yang

sebenarnya, meskipun nilai ini kadang-kadang melebihi. Beton ringan menurut Dobrowolski (1998) merupakan beton dengan berat beton di bawah 1900 kg/m³ lebih rendah dibandingkan dengan berat beton normal. Neville dan Brooks (1987) memberikan batasan beton ringan dengan berat beton di bawah 1800 kg/m³.

Tabel 1. Berat Volume dari Material Ringan

| No. | Material | Berat volume (t/m ³) |
|-----|--|----------------------------------|
| 1. | Pasir | 1,8 – 2,2 |
| 2. | Tanah kohesif | 1,6 – 1,9 |
| 3. | Kayu (kordurol) | 0,7 (a) |
| 4. | Potongan ban bekas | 0,4 – 0,6 (b) |
| 5. | Batu apung | 1,09 |
| 6. | Ampas gergaji | 1 (perkiraan) |
| 7. | Bal gambut (<i>peat bales</i>) | 1 (perkiraan) |
| 8. | Pelet lempung yang dikembangkan | 0,8 (c) |
| 9. | Busa <i>Expanded Polystyrene</i> (EPS) | 0,02 -0,04 |
| 10. | Pembentuk rongga (<i>void formers</i>) | 0,5 – 1,5 |

Sumber: Puslitbang Prasarana Transportasi 2002

Keterangan:

(a) 30 % rongga, tak jenuh

(b) Edil & Bosscher, 1994

(c) Jenuh

Styrofoam

Styrofoam dikenal sebagai salah satu dari busa *polystyrene* yang dipadatkan dan biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH₉CH₂), yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) dengan susunan 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

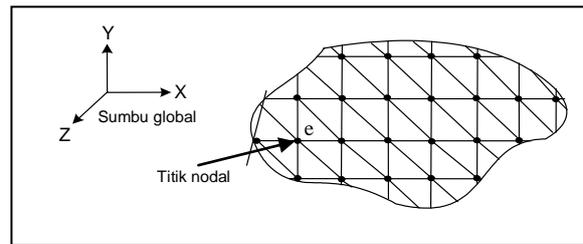
regas. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 100 °C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* memiliki berat sampai 1050 kg per 1 m³, kuat tarik sampai 40 MN/m², modulus lentur sampai 3 GN/m², modulus geser sampai 0,990 GN/m² dan angka *poisson* 0,330 (Crawford, 1998 dalam Wijaya, 2005).

Analisis 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 di mana 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.

Beberapa langkah yang dapat digunakan sebagai pedoman analisis dengan pendekatan metode elemen hingga (Suhendro 2001) 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.),



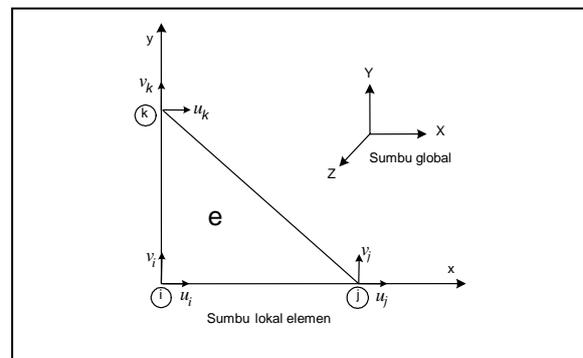
Gambar 1. Diskritisasi Struktur dalam Sumbu Koordinat Global.

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

$$\begin{aligned}
 u &= \sum_{i=1}^n a_i \phi_i(x, y, z) \\
 v &= \sum_{i=1}^n b_i \psi_i(x, y, z) \quad \dots\dots\dots (1) \\
 w &= \sum_{i=1}^n c_i \eta_i(x, y, z)
 \end{aligned}$$

dengan:

- $a_1, b_1, c_1 = 3n$ parameter independen linier yang harus ditetapkan,
- u, v, w = komponen *displacement* searah $x, y,$ dan $z,$
- ϕ_1, ψ_1, η_1 = fungsi menerus dari koordinat $x, y,$ dan $z.$



Gambar 2. Perpindahan Nodal dalam Sumbu Koodinat 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 ke-seimbangan struktur dalam koordinat global, yaitu:

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

dengan:

- [K] = matriks kekakuan struktur
- { d } = vektor *displacement* struktur
- { P } = vektor beban titik nodal struktur

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.

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

dengan:

- { σ } = tegangan
- [E] = modulus elastisitas
- { ε }^(e) = regangan *element*
- { d }^(e) = vektor nodal *displacement element*
- [B] = tegangan pada sembarang titik bila terjadi satu satuan *displacement* titik nodal

Model *plane strain* banyak digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan timbunan (*embankment*), dinding penahan tanah (*retaining walls*) atau terowongan (*tunnels*). Penggunaan model *plane strain* dalam penyelesaian permasalahan tersebut karena beberapa kondisi yang memenuhi pesyaratan model *plane strain* (Suhendro, 2001) yaitu:

1. Struktur sangat panjang (dimensi arah sumbu z jauh lebih panjang dari pada dimensi lintang),

2. Bagian ujung (depan dan belakang) dianggap terjepit, sehingga w (perpindahan arah sumbu z) = 0, hal ini mengakibatkan $\varepsilon_z = 0$, $\gamma_{xz} = 0$ dan $\gamma_{yz} = 0$,

dengan:

- ε_z = regangan aksial dalam arah z
- γ_{xz} = regangan geser pada bidang x dalam arah z
- γ_{yz} = regangan geser pada bidang y dalam arah z

3. Komponen perpindahan arah sumbu x dan y (u dan v) merupakan fungsi dari x dan y saja, dengan:

- x, y = sistem koordinat lokal
- u, v = komponen *displacement* searah x, y

4. beban bekerja arah sumbu X dan Y di sepanjang struktur (berupa beban titik atau beban terbagi merata), dengan:

- X, Y = sistem koordinat global

5. persamaan tegangan-regangan (*stress-strain equation*) untuk permodelan *plane strain* adalah:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & 0 \\ \nu & (1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{1-2\nu}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$= [E] \{\varepsilon\} \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

- σ_{xx} = tegangan dalam arah x
- σ_{yy} = tegangan dalam arah y
- τ_{xy} = tegangan geser pada bidang x dalam arah y
- ε_x = regangan aksial dalam arah x
- ε_y = regangan aksial dalam arah y
- γ_{xy} = regangan geser pada bidang x dalam arah y
- E = modulus elastisitas
- ν = *Poisson's ratio*
- { ε } = vektor regangan

Plaxis merupakan suatu paket program elemen hingga yang dibuat khusus untuk 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 5 parameter, yang dapat diperoleh dari tes pada tanah uji yaitu parameter E (modulus elastisitas) dan ν (*Poisson's ratio*) mewakili elastisitas tanah, ϕ (sudut gesek dalam) dan c (kohesi) mewakili plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut *dilatancy*.

Untuk *raft footing* dimodelkan sebagai beam. Parameter yang dibutuhkan adalah *elastic axial stiffness* (EA), *flexural rigidity* (EI), ketebalan ekivalen (d), berat beam (w) dan *Poisson's ratio*.

METODE PENELITIAN

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, dilaksanakan pada tahun 1995 yang menggunakan fondasi *raft footing*. Data tanah tersebut diperoleh dari hasil uji di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang. Jenis tanah setempat adalah lempung (*clay*). Adapun data *input* material tanah dasar tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

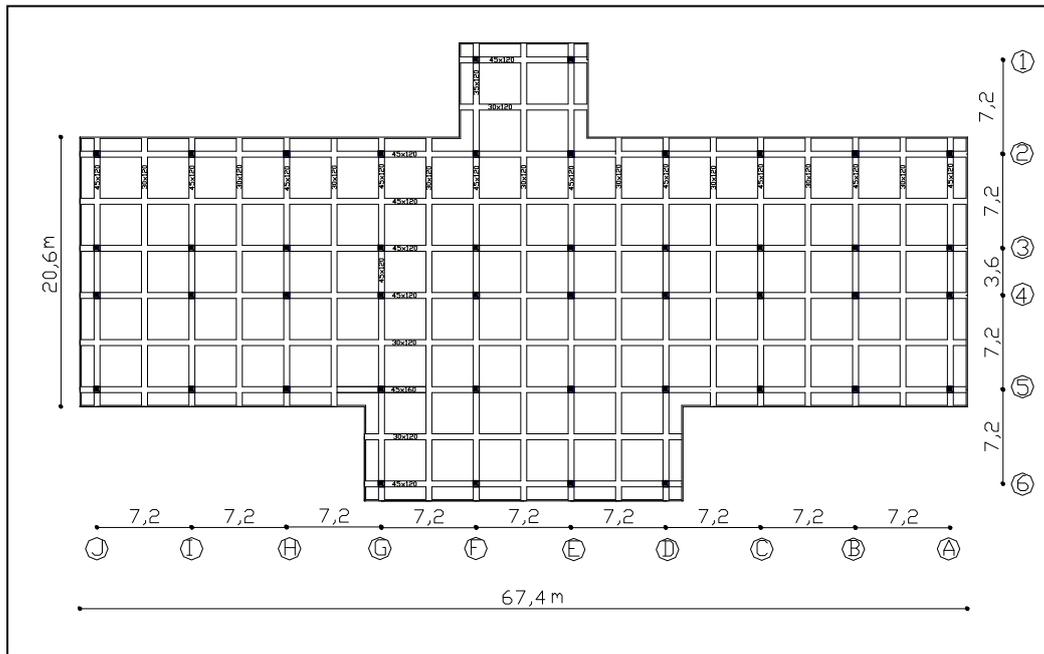
Gambar 3. merupakan denah fondasi Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Deformasi pada *raft footing* ditinjau dalam arah sumbu y . Lebar *raft footing* yang di-*input* pada *Plaxis* (searah sumbu y) adalah 20,6 meter.

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 3.

Beton *styrofoam* ringan pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengganti timbunan sirtu dan tanah. Data beton *styrofoam* ringan yang digunakan diadopsi dari hasil penelitian Wijaya (2005). Adapun hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. 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 1 | 10,97 | 16,62 | $2,53147 \times 10^{-5}$ | $2,53147 \times 10^{-5}$ | 2000 | 0,3 | 15,67 | 7,50 | 0 |
| Clay 2 | 10,81 | 16,51 | $1,20663 \times 10^{-4}$ | $1,20663 \times 10^{-4}$ | 2000 | 0,3 | 4,17 | 5,08 | 0 |
| Clay 3 | 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 3. Data *Input* Material Fondasi

| | Normal stiffness (EA) kN/m | Flexural rigidity (EI) kN.m²/m | d (m) | Weight (W) (kN/m/m) | ν |
|---------------------|---|--|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| <i>Raft footing</i> | 337238045,0592 | 44656493,5090 | 1,261 | 4,8 | 0,15 |

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Berat Beton dengan Semen *Portland* Tipe I 250 kg/m³ (Wijaya, 2005)

| Variasi Adukan | Nilai fas | Perbandingan Volume Bahan | | Berat Beton Rerata (kg/m³) | |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|-------|--|----------------|
| | | <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 |

Beban yang bekerja pada *raft footing* yaitu tinggi timbunan 3,35 m dan berat bangunan yang terdiri dari 3 lantai. Selisih antara tekanan akibat penggalian dengan tekanan akibat penimbunan termasuk beban lantai satu dengan beban penimbunan pada penelitian ini ada 2 macam yaitu sirtu dan tanah

sesuai pelaksanaan di lapangan serta beton *styrofoam* ringan yang berfungsi untuk mereduksi total berat bangunan yang bekerja.

Berat lantai satu per m² diperoleh dengan cara menghitung berat lantai satu di atas timbunan dan menghitung beban merata akibat timbunan yang bekerja di atas tanah

dasar setinggi 3,35 meter. Beban merata pada muka air terletak sangat dalam dan di dasar *raft footing* menggunakan berat volume kering untuk sirtu dan tanah dan berat beton tidak direndam untuk beton *styrofoam* ringan sedangkan pada muka air terletak di permukaan tanah menggunakan berat volume basah untuk sirtu dan tanah dan berat beton direndam untuk beton *styrofoam* ringan.

Berat total lantai dua, lantai tiga dan atap per m² diperoleh dengan cara menentukan beban atau gaya axial pada tiap-tiap kolom yang akan ditransfer oleh struktur atas ke sistem fondasi yang ada dengan menggunakan

Structural Analysis Program (SAP 2000) kemudian dibagi dengan luasan bangunan. Tabel 5 dan 6 merupakan data *input* beban pada *Plaxis*, dengan beban kerja di-*input* tiap m².

Alat

Satu set perangkat keras (*hardware*) berupa komputer Pentium IV dengan memori 256 MB dan perangkat lunak (*software*) *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.

Tabel 5. Total Berat Bangunan untuk Muka Air Terletak Sangat Dalam dan Muka Air Terletak di Dasar Fondasi

| | | | |
|---|---------------------|-----------------------|--------|
| Berat lantai 2, lantai 3 dan atap hasil analisis SAP 2000 (a) | | 26,706 | |
| Berat lantai satu di atas timbunan (b) | | 5,504 | |
| | | Tanah & sirtu | 65,611 |
| σ_{tanah} yang terjadi (kN/m ²) | Akibat timbunan (c) | 100 % | 23,317 |
| | | <i>Styrofoam</i> 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) (a+b+c-d) | | 100 % | 14,858 |
| | | <i>Styrofoam</i> 80 % | 26,919 |
| | | 60 % | 37,932 |
| | | 40 % | 46,130 |

Tabel 6. Total Berat Bangunan untuk Muka Air Terletak di Permukaan Tanah

| | | | |
|---|---------------------|-----------------------|--------|
| Berat lantai 2, lantai 3 dan atap hasil analisis SAP 2000 (a) | | 26,706 | |
| Berat lantai satu di atas timbunan (b) | | 5,504 | |
| | | Tanah & sirtu | 65,611 |
| σ_{tanah} yang terjadi (kN/m ²) | Akibat timbunan (c) | 100 % | 25,249 |
| | | <i>Styrofoam</i> 80 % | 37,007 |
| | | 60 % | 48,655 |
| | | 40 % | 57,736 |
| Akibat tanah asli (sebelum digali) (d) | | 40,670 | |
| gaya <i>uplift</i> (kN/m ²) (e) | | 24,500 | |
| | | Tanah & sirtu | 32,651 |
| Total berat bangunan (kN/m ²) (a+b+c-d-e) | | 100 % | -7,710 |
| | | <i>Styrofoam</i> 80 % | 4,048 |
| | | 60 % | 15,696 |
| | | 40 % | 24,776 |

Prosedur Penelitian

Deformasi yang ditinjau berupa perpindahan vertikal dan perpindahan horisontal sebagai berikut:

1. 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,
2. Jika kondisi tanah dasar fondasi mempunyai nilai *properties* bervariasi, maka geometri konstruksi dibagi dalam beberapa kelompok sesuai dengan variasi nilai *properties*, kemudian nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam *input data*,
3. Pada penelitian ini tanah timbunan dan tanah dasar menggunakan model material tipe *Mohr-Coulomb*, parameter yang dibutuhkan adalah γ_{wet} , γ_{dry} , E , ν , c dan ϕ ,
4. *Raft footing* dimodelkan sebagai *beam*, parameter yang dibutuhkan adalah EA , EI , d , w , dan ν ,
5. Berat total bangunan yang bekerja di atas *beam* di-*input* sebagai beban merata per m^2 ,
6. 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) menyesuaikan dengan bentuk 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,
7. Keluaran model adalah nilai-nilai deformasi yang terjadi pada setiap nodal elemen.

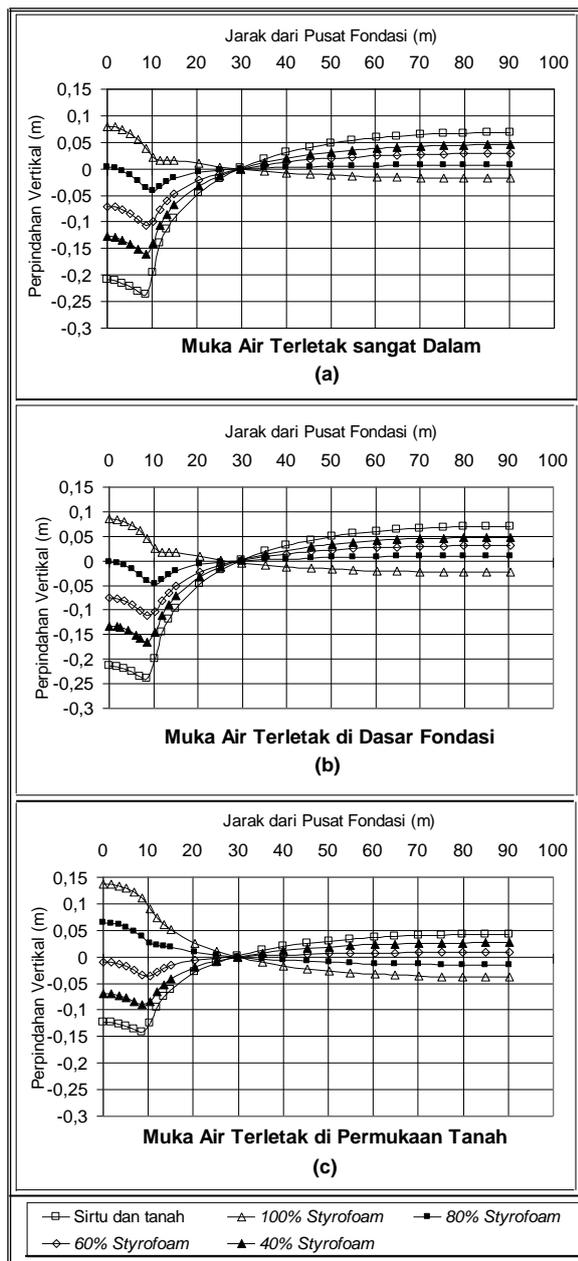
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan tanah dalam memikul beban yang terjadi dipengaruhi oleh karakteristik alami yang dimilikinya yaitu elastisitas, permeabilitas dan kekakuan, termasuk tanah lunak berupa lempung (*clay*). Beban bangunan tersebut akan memberikan pengaruh pada tanah dasar berupa adanya perpindahan pada tanah, baik arah horisontal maupun vertikal dan juga kemampuan dukung tanah dasar.

Perpindahan Arah Vertikal untuk Tiga Kondisi Muka Air Tanah Ditinjau pada Arah Horisontal

Perpindahan vertikal akibat beban bangunan yang bekerja dengan bahan timbunan di lapangan berupa sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40 %, 60 %, 80 % dan 100 % sebagai bahan pengganti sirtu dan tanah dengan tiga variasi muka air tanah dapat dilihat pada Gambar 4. Perpindahan tersebut ditinjau pada kedalaman 1,55 m dari pusat fondasi ke arah horisontal.

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



Gambar 4. Perpindahan Vertikal pada Tanah Dasar dengan Tiga Kondisi Muka Air Tanah yang Ditinjau dari Pusat Fondasi ke Arah Horizontal

Untuk sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40 % dan 60 % pada Gambar 4 diperoleh pola perpindahan vertikal sama yaitu perpindahan vertikal terbesar terjadi pada radius 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 radius 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.

Untuk beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80 % dan 100 %, 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.

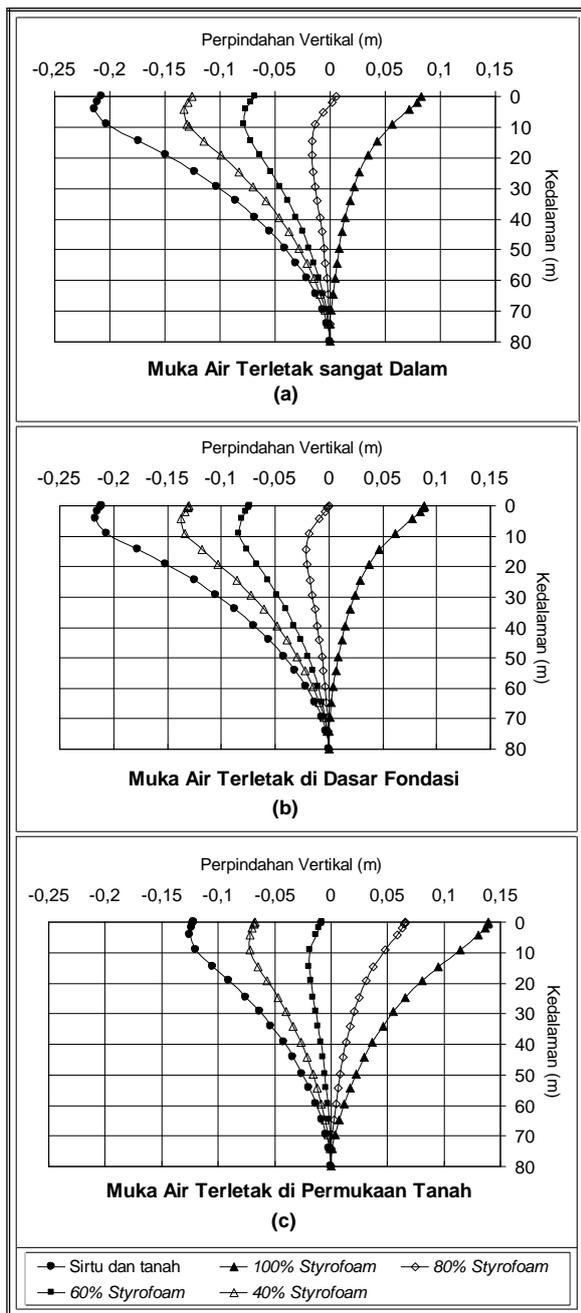
Perpindahan vertikal pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* untuk muka air yang terletak di permukaan tanah mengalami reduksi. Hal ini disebabkan adanya gaya ke arah atas (*uplift*) akibat air setinggi 2,45 m pada fondasi. Pada beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100 % dialami perpindahan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

Perpindahan Arah Vertikal untuk Tiga Kondisi Muka Air Tanah Ditinjau pada Arah Vertikal

Perpindahan vertikal dengan tiga kondisi muka air tanah pada Gambar 5. ditinjau pada tengah-tengah fondasi sampai *boundary condition* sedalam 80 m dari dasar fondasi.

Untuk sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40 %, 60 %, 80 % dan 100 % untuk muka air tanah terletak sangat dalam dialami perpindahan vertikal terbesar berturut-turut yaitu -0,21339;

-0,13327; -0,07894; -0,01694 dan 0,08297 m, Pada muka air terletak di dasar fondasi berturut-turut sebesar -0,21685; -0,13772; -0,08323; -0,02079 dan 0,08899 m. Sedangkan pada muka air terletak di permukaan tanah berturut-turut sebesar -0,12473; -0,07271; -0,019269; 0,06580 dan 0,13945 m.



Gambar 5. Perpindahan Vertikal dengan Tiga Kondisi Muka Air Tanah yang Ditinjau dari Pusat Fondasi terhadap Kedalaman

Perpindahan vertikal pada sirtu dan tanah serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 40 % dan 60 % untuk ketiga kondisi muka air tanah, serta beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 80 % untuk muka air terletak sangat dalam dan di dasar fondasi, terjadi pada arah sumbu $-x$. 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 di permukaan tanah dan beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100 % untuk ketiga kondisi muka air tanah adalah pada arah 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. Hal ini disebabkan oleh kecilnya pengaruh *uplift* pada kedalaman tersebut.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Perpindahan arah vertikal dan horisontal terbesar terjadi pada bagian dengan total berat bangunan bertimbunan tanah dan sirtu daripada beton *styrofoam* sehingga makin berat suatu bangunan makin besar pula deformasi yang terjadi baik dalam arah vertikal maupun horisontal.

2. Perpindahan vertikal terbesar ditinjau pada kedalaman 1,55 m dari pusat fondasi ke arah 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 radius 9 m dari pusat fondasi, 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 fondasi 0,08610 m, dan muka air terletak di permukaan tanah 0,13739 m.
3. 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. Sedangkan 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.

Saran

Beberapa saran yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut antara lain:

1. Ketelitian uji di lapangan dan di laboratorium dalam menghasilkan nilai

parameter perlu diperhatikan untuk mencapai ketepatan hasil analisis.

2. Penggunaan model elemen hingga untuk tanah yang lebih detail dengan tingkat diskretisasi material yang lebih tinggi, seperti *soft soil model dan/atau pun soft soil creep model* perlu dilakukan untuk mencapai hasil analisis yang lebih mendekati kondisi asli di lapangan.
3. Perlu digali lebih banyak lagi kemampuan metode elemen hingga yang dimiliki *Plaxis* untuk memecahkan permasalahan geoteknik yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilmeyer, Jr, FW.. 1984. *Text Book of Polymer Science*. Third Edition. Singapore: John Wiley and Sons, Inc.
- Brinkgreve, R. B. J. and Vermeer, P. A.. 1998. *Plaxis Version 7*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 4, Desain dan Konstruksi*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Dobrowolski, A. J.. 1998. *Concrete Construction Hand Book*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Murdock, L.J.. 1986. *Bahan dan Praktek beton*. Edisi ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J.. 1987. *Concrete Technology*. First Edition. England: Longman Scientific & Technical.
- Suhendro, B.. 2000. *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Beta Offset.
- 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.

