

## PEMANFAATAN BETON STYROFOAM RINGAN SEBAGAI PENGGANTI TANAH URUG PADA RAFT FOOTING UNTUK MENINGKATKAN JUMLAH BEBAN DI ATAS TANAH LUNAK

Irdhiani \*

### Abstract

Soft soil characteristic is compressible that may lead to a large deformation due to the applied loads. One of the alternatives to reduce such deformation is by reducing the weight of construction using lighter materials for either upper structures or landfill in this case, the light material used is styrofoam as a concrete mixture for landfill filler. This research using styrofoam concrete with styrofoam percentage 40%, 60% 80% dan 100%. The applied loads consist of both construction and landfill weight. The construction weight was determined by using Structural Analysis Program (SAP). The safety factor and the number of loads or structure floor which was added to three soil water surface, they are in very deep water surface, in foundation base and on soil surface. Can be determined through a counting analysis. The research result shows that the largest safety factor is in styrofoam concrete with 100% styrofoam with the highest safety for land bearing capacity with soil surface on the land surface and the largest number of loads or construction floor that can be added to styrofoam concrete with 100% styrofoam is as many as 3,36 floor for land bearing capacity for very deep water surface.

**Key word:** *Raft footing, styrofoam, bearing capacity, safety factor, deformation*

### Abstrak

Tanah lunak memiliki sifat kompresibel sehingga memungkinkan terjadinya penurunan yang besar akibat beban yang bekerja. Salah satu alternatif untuk mereduksi penurunan yang terjadi yaitu mereduksi berat bangunan berarti 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 untuk bahan pengisi timbunan. Penelitian ini menggunakan beton Styrofoam dengan persentase styrofoam 40%, 60%, 80% dan 100%. Beban yang bekerja terdiri dari berat bangunan dan berat timbunan. Berat bangunan ditentukan dengan menggunakan *Structural Analysis Program (SAP)*, kemudian Faktor aman dan jumlah beban atau lantai bangunan yang dapat ditambahkan pada tiga kondisi muka air tanah yaitu muka air terletak sangat dalam, di dasar fondasi dan di permukaan tanah dapat ditentukan melalui suatu analisis hitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor aman terbesar terjadi pada beton styrofoam dengan persentase styrofoam 100% yaitu diperoleh sangat aman untuk kapasitas dukung tanah dengan letak muka air di permukaan tanah dan jumlah beban atau lantai bangunan terbesar yang dapat ditambahkan terjadi pada beton styrofoam dengan persentase styrofoam 100% yaitu sebanyak 3,36 lantai untuk kapasitas dukung tanah dengan letak muka air sangat dalam.

**Kata kunci:** *Raft footing, styrofoam, kapasitas dukung, faktor aman, deformasi*

### 1. Pendahuluan

Salah satu masalah yang sering dijumpai di dalam bidang teknik sipil adalah tanah lunak. Bangunan yang didirikan di atas tanah tersebut akan mengalami penurunan (*settlement*), karena tanah memiliki kapasitas dukung

tanah yang rendah. Untuk itu, dua alternatif dapat diungkapkan untuk penyelesaian masalah ini yaitu perlu dilakukan perbaikan kondisi tanah atau menyesuaikan konstruksi dengan parameter tanah yang ada.

Salah satu fondasi yang dapat digunakan di atas tanah lunak adalah

---

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

*raft footing* yaitu dengan merencanakan kedalaman galian sama dengan jumlah berat bangunan atau mengganti bahan timbunan tanah di bawah *raft footing* dengan material yang lebih ringan seperti beton *styrofoam* sehingga penurunan struktur menjadi tidak begitu penting.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung, faktor aman dan jumlah beban atau lantai yang dapat ditambahkan melalui suatu analisis hitungan akibat beban yang bekerja di atasnya. 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 beton *styrofoam* ringan ini diharapkan dapat mereduksi penurunan yang terjadi sehingga jumlah bangunan dapat ditingkatkan sesuai dengan faktor aman yang telah ditentukan.

## 2. Studi 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).

Das (1998) menyatakan bahwa lempung sebagian besar terdiri dari

partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berasal dari pelapukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai tinggi, sedangkan dalam keadaan kering bersifat sangat keras dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan.

Lebih lanjut Chen (1975) menyatakan bahwa mineral lempung mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah yang banyak yang dapat menyebabkan lempung mempunyai sifat kembang susut yang besar. Akibat kepekaan terhadap air, maka lempung mempunyai stabilitas yang rendah jika kadar airnya tinggi.

### 2.2 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

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

Tabel 1. Berat volume dari material ringan (Anonim, 2001)

No.	Material	Berat volume (t/m <sup>3</sup> )
1.	Pasir	1,8 – 2,2
2.	Tanah kohesif	1,6 – 1,9
3.	Kayu (korduroi)	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 (EPS)</i>	0,02 -0,04
10.	Pembentuk rongga ( <i>void formers</i> )	0,5 – 1,5

(a) 30% rongga, tak jenuh

(b) Edil & Bosscher, 1994

(c) Jenuh

### 2.3 Beton ringan

Menurut Murdock (1986), berat volume beton ringan berkisar antara 1360 – 1840 kg/m<sup>3</sup> dan berat volume 1850 kg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> lebih rendah dibandingkan dengan berat beton normal. Neville dan Brooks (1987) memberikan batasan beton ringan yaitu beton dengan berat beton di bawah 1800 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.4 Styrofoam

Styrofoam dikenal sebagai salah satu dari busa polystyrene yang dipadatkan dan biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. Polystyrene sendiri dihasilkan dari styrene (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH=CH<sub>2</sub>), 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 kg per 1 m<sup>3</sup>, kuat tarik sampai 40 MN/m<sup>2</sup>, modulus lentur sampai 3 GN/m<sup>2</sup>, modulus geser sampai 0.990 GN/m<sup>2</sup> 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<sup>3</sup>. 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 ± 28% dan ± 39% dari beton normal yang

mempunyai berat beton sekitar 2400 kg/m<sup>3</sup> sedangkan untuk berat beton direndam dengan persentase styrofoam sebesar 20% dan 40% pada campuran beton dapat mengurangi berat beton sebesar ± 23% dan ± 35%.

### 2.5 Analisis Kapasitas Dukung Tanah

Kapasitas dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi yang bekerja di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Untuk analisis kapasitas dukung tanah digunakan persamaan Mayerhoff (1955) dalam Hardiyatmo (2002) yaitu dengan mempertimbangkan bentuk fondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas fondasi pada persamaan 1.

$$q_u = F_{cs} F_{qs} F_{\gamma s} F_{cd} F_{qd} F_{\gamma d} F_{ci} F_{qi} F_{\gamma i} q N_q + F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} 0,5 \gamma B N_{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

$$N_q = tg^2 (45 + \varphi / 2) e^{\pi tg \varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_{\gamma} = 2 (N_q + 1) \tan \varphi$$

F<sub>cs</sub>, F<sub>qs</sub>, F<sub>γs</sub> : faktor bentuk fondasi

F<sub>cd</sub>, F<sub>qd</sub>, F<sub>γd</sub>: faktor kedalaman fondasi

F<sub>ci</sub>, F<sub>qi</sub>, F<sub>γi</sub> : faktor kemiringan beban

Suatu angka aman digunakan untuk menghitung kapasitas dukung yang diijinkan untuk tanah di bawah fondasi. Angka aman yang digunakan untuk beban normal = 3 dan untuk beban sementara = 2 (suryolelono, 1994).

Menurut Das (1998) kapasitas dukung ijin (q<sub>ijin</sub>) merupakan beban per satuan luas yang diijinkan untuk dibebankan pada tanah di bawah fondasi, agar kemungkinan terjadinya keruntuhan dapat dihindari. Kapasitas dukung ijin dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$q_{ijin} = \frac{q_u}{F_s} \dots\dots\dots(2)$$

### 2.6 Pengaruh muka air tanah

Berat volume tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air dan kedudukan muka air tanah, sehingga hal tersebut berpengaruh pula pada kapasitas dukungnya. Dalam penelitian ini ditinjau tiga kondisi muka air tanah yaitu muka air terletak sangat dalam, muka air terletak di dasar fondasi dan muka air terletak di permukaan tanah seperti dalam Gambar 1 (hardiyatmo,2002).

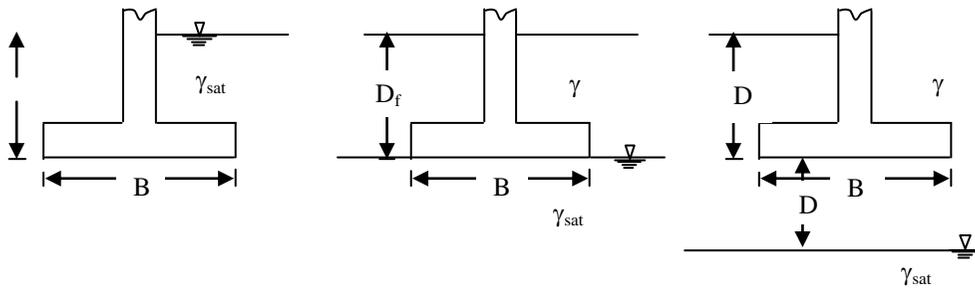
menggunakan fondasi *raft footing*, yang dilaksanakan pada tahun 1995 dan data tanah yang digunakan sebagai pedoman analisis adalah data yang diperoleh dari hasil uji di lapangan dan uji di laboratorium yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang. Adapun data *input* material tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 2.

### 3. Metode Penelitian

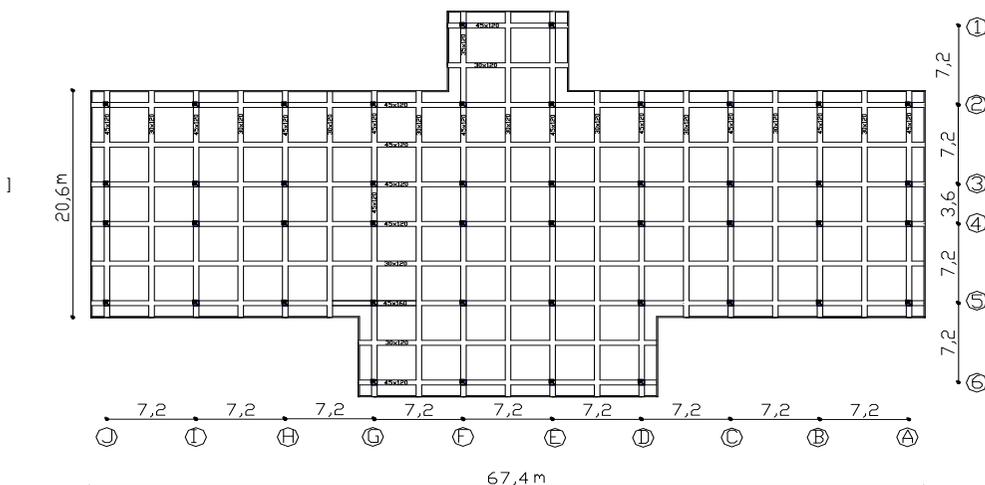
#### 3.1 Data penelitian

Data penelitian yang digunakan sebagai data analisis adalah gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Jawa Tengah, yang

Gambar 2 merupakan Denah fondasi Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung Semarang. *Raft footing* pada Gambar 2 tersebut terbuat dari beton bertulang dengan panjang 67,4 meter dan lebar fondasi terbesar 35 meter.



Gambar 1. Letak muka air tanah terhadap dasar fondasi



Gambar 2. Denah fondasi Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Tabel 2. Data input material tanah dasar

	$\gamma_{dry}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{wet}$ ( $kN/m^3$ )	c	$\phi$ ( $^{\circ}$ )
Clay 1	10,97	16,62	15,67	7,50
Clay 2	10,81	16,51	4,17	5,08
Clay 3	11,91	17,18	7,25	6,10
Clay 4	11,91	17,18	7,25	6,10

Tabel 3. Hasil pemeriksaan berat beton dengan semen portland tipe I 250  $kg/m^3$

Variasi Adukan	Nilai fas	Perbandingan Volume Bahan		Berat Beton Rerata ( $kg/m^3$ )	
		Styrofoam	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

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	
$\sigma_{tanah}$ 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 ( $kN/m^2$ )				
(a+b+c-d)				
		styrofoam	100%	14,858
			80%	26,919
			60%	37,932
			40%	46,130

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.

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. Gambar 2 merupakan potongan melintang struktur yang ditinjau dan data beban dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

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

<b>Berat lantai 2, lantai 3 dan atap hasil analisis SAP (a)</b>			26,706	
<b>Berat lantai satu di atas timbunan (b)</b>			5,504	
$\sigma_{\text{tanah}}$ yang terjadi (kN/m <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )				
(a+b+c-d)				
			100%	-7,710
			80%	4,048
			60%	15,696
			40%	24,776

### 3.2 Prosedur penelitian

Penelitian ini terdiri atas sirtu dan tanah sebagai timbunan sesuai dengan pelaksanaan di lapangan dan beton styrofoam ringan dengan persentase styrofoam 40%, 60% 80% dan 100% sebagai pengganti sirtu dan tanah. Analisis dilakukan dalam 3 kondisi muka air yaitu muka air terletak sangat dalam, muka air terletak di dasar fondasi dan muka air terletak di permukaan tanah. Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. pengumpulan data sekunder berupa data tanah hasil uji di lapangan dan di laboratorium serta gambar struktur bangunan Fakultas Hukum Universitas Islam Sultan Agung, Semarang,
2. menentukan berat total lantai dua, lantai tiga dan atap per m<sup>2</sup> yaitu 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,
3. menentukan beban lantai satu per m<sup>2</sup> dengan cara menghitung beban 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 terletak sangat dalam dan di dasar fondasi 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,
4. menentukan berat total bangunan per m<sup>2</sup> untuk sirtu dan tanah serta beton styrofoam ringan dengan tiga kondisi muka air tanah,
  5. menentukan kapasitas dukung ultimit tanah untuk tiga kondisi muka air tanah,
  6. menentukan jumlah lantai bangunan yang dapat ditambahkan untuk bahan timbunan sirtu dan tanah serta beton styrofoam ringan pada tiga kondisi muka air tanah yang memiliki kapasitas dukung ultimit yang berbeda,
  7. menentukan faktor aman untuk bahan timbunan sirtu dan tanah serta beton styrofoam ringan pada

tiga kondisi muka air tanah yang memiliki kapasitas dukung ultimit yang berbeda,

timbunan yang digunakan, dimana semakin kecil berat volume bahan yang digunakan maka semakin kecil selisih tekanan antara timbunan dan galian yang dihasilkan sehingga total berat bangunannya juga semakin kecil.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Dari Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dilihat bahwa total berat bangunan bervariasi tergantung bahan

Tabel 6. Jumlah beban atau lantai bangunan yang dapat ditambahkan dan faktor aman untuk muka air terletak sangat dalam

Total berat bangunan per m <sup>2</sup>		Kapasitas dukung ultimit tanah	Kapasitas dukung ijin (q <sub>ijin</sub> )	Faktor keamanan (FS)	Selisih kapasitas dukung ijin dengan total berat bangunan	Jumlah lantai bangunan yang dapat ditambahkan	
(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )		
a		b	c = b/3	d = b/a	e = c - a	f = e/12.5	
tanah & sirtu	50,933	180,8135	60,2712	3,55	9,3385	0,75	
Styrofoam	100%			14,842	12,18	45,4294	3,63
	80%			26,903	6,72	33,3677	2,67
	60%			37,916	4,77	22,3549	1,79
	40%			46,114	3,92	14,1573	1,13

Tabel 7. Jumlah beban atau lantai bangunan yang dapat ditambahkan dan faktor aman untuk muka air terletak di dasar fondasi

Total berat bangunan per m <sup>2</sup>		Kapasitas dukung ultimit tanah	Kapasitas dukung ijin (q <sub>ijin</sub> )	Faktor keamanan (FS)	Selisih kapasitas dukung ijin dengan total berat bangunan	Jumlah lantai bangunan yang dapat ditambahkan	
(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )		
a		b	c = b/3	d = b/a	e = c - a	f = e/12.5	
tanah & sirtu	50,933	140,0042	46,6681	2,75	-4,2646	-0,34	
Styrofoam	100%			14,842	9,43	31,8263	2,55
	80%			26,903	5,20	19,7646	1,58
	60%			37,916	3,69	8,7518	0,70
	40%			46,114	3,04	0,5542	0,04

Tabel 8. Jumlah beban atau lantai bangunan yang dapat ditambahkan dan faktor aman untuk muka air terletak di permukaan tanah

Total berat bangunan per m <sup>2</sup>		Kapasitas dukung ultimit tanah	Kapasitas dukung ijin (q <sub>ijin</sub> )	Faktor keamanan (FS)	Selisih kapasitas dukung ijin dengan total berat bangunan	Jumlah lantai bangunan yang dapat ditambahkan	
(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )		
a		b	c = b/3	d = b/a	e = c - a	f = e/12.5	
tanah & sirtu	32,635	50,3488	16,7829	1,54	-15,8524	-1,27	
Styrofoam	100%			-7,726	sangat aman	24,5090	1,96
	80%			4,032	12,49	12,7510	1,02
	60%			15,680	3,21	1,1033	0,09
	40%			24,760	2,03	-7,9775	-0,64

Untuk muka air terletak sangat dalam memiliki kapasitas dukung ijin tanah yang paling besar dibandingkan muka air yang terletak di dasar fondasi dan di permukaan tanah. Ini berarti bahwa selisih kapasitas dukung ijin tanah dengan total berat bangunan pada muka air terletak sangat dalam adalah paling besar diantara kedua muka air tanah tersebut sehingga jumlah lantai bangunan yang dapat ditambahkan jauh lebih banyak.

Faktor aman pada muka air terletak sangat dalam untuk semua bahan timbunan dan pada muka air terletak di dasar fondasi dan di permukaan tanah untuk bahan timbunan beton *styrofoam* ringan adalah aman. Hal ini berarti total berat bangunan masih dapat dipikul oleh tanah di bawah fondasi tanpa menyebabkan keruntuhan.

Untuk muka air di permukaan tanah memiliki total berat bangunan lebih kecil dibandingkan muka air terletak sangat dalam dan di dasar fondasi. Hal ini disebabkan adanya gaya *uplift* yang bekerja setinggi 2,45 m pada fondasi sehingga dapat mereduksi besarnya total berat bangunan yang bekerja tersebut. Selain itu, faktor aman yang dihasilkan pada muka air di permukaan tanah lebih kecil dibandingkan muka air terletak sangat dalam dan di dasar fondasi karena kapasitas dukung ultimit tanah dalam keadaan jenuh adalah sangat kecil.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

- 1) Semakin kecil berat volume bahan timbunan yang digunakan maka semakin banyak pula jumlah lantai yang dapat ditambahkan. Pada penelitian ini, jumlah lantai bangunan terbanyak yang dapat ditambahkan yaitu pada beton *styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% yaitu 3,63 lantai.
- 2) Faktor aman dipengaruhi oleh kapasitas dukung tanah dan berat total bangunan. Faktor aman terbesar terjadi pada beton

*styrofoam* dengan persentase *styrofoam* 100% untuk ketiga kondisi muka air tanah.

### 5.2 Saran

Ketelitian uji lapangan dan uji laboratorium yang menghasilkan parameter serta ketelitian penentuan parameter tersebut adalah menentukan ketepatan hasil analisa.

## 6. Daftar Pustaka

- Anonim, 2001, *Panduan Geoteknik 4 (Desain dan Konstruksi)*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Bandung.
- Bilmeyer, Jr, F.W., 1984, *Text Book of Polymer Science*, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc, Singapore.
- Chen, F.H., 1975, *Foundation On Expansive Soil*, Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Crawford, R.J., 1998, *Plastic Engineering*, Third Edition.
- Das, B.M., 1998, *Principles of Foundation Engineering*, PWS Publisher, Boston, USA.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Teknik Fondasi I*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Murdock, L.J., et.al., 1986, *Bahan dan Praktek beton*, edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.
- Neville, A.M., and Brooks, J.J., 1987, *Concrete Technology*, Firts Edition, Longman Scientific & Technical England.
- Suryolelono, K.B., 1994, *Teknik Fondasi I*, Nafiri, Yogyakarta.
- Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K., 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasil*, Cetakan Ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wijaya, S.N., 2005, *Efek Perendaman Beton Styrofoam Ringan dengan Semen Portland Tipe I 250 kg/m<sup>3</sup>*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.