

PEMANFAATAN BETON STYROFOAM RINGAN UNTUK FONDASI SUMURAN

Sriyati Ramadhani*

Abstract

Some foundation types that could be used in soft clay with high ground water level were footplate with large contact area or pile foundation. The usage of pile foundation, spread footing and footplate in lightweight construction were very expensive. Alternative solution suggested was lightweight concrete, it was chosen to reduce cement volume in foundation construction and to reduce foundation construction cost. In this research, the usage of styrofoam in lightweight concrete was presented as an alternative solution. This research emphasized in the effect of lightweight-styrofoam concrete usage as caisson foundation constructed on soft clay with two ground water level conditions which were the condition of ground water level that higher than the depth of foundation base and lower than the depth of foundation base. Styrofoam concrete was modeled in test box in laboratory. The materials used were Portland cement type I, styrofoam with 2 - 3 mm for grain diameter, sand and water, where the composition of water was proportional. There were 6 variations of volume composition between styrofoam and sand. They were 100 % styrofoam and 0 % sand, 80 % styrofoam and 20 % sand, 60 % styrofoam and 40 % sand, 40 % styrofoam and 60 % sand, 20 % styrofoam and 80 % sand, 0 % styrofoam and 100 % sand. The sizes of foundation model were 44 cm for diameter size, 50 cm length and embedded in 45 cm depth. The highest bearing capacity for either higher or lower level of ground water toward foundation base obtained in 0 % styrofoam composition.

Key words : Styrofoam, lightweight concrete, caisson foundation

Abstrak

Di daerah tanah lunak dengan letak muka air tinggi diperlukan ukuran luasan fondasi cukup besar (fondasi telapak, pelat) atau digunakan fondasi tiang. Apabila jenis fondasi tiang, fondasi langsung (telapak) atau fondasi pelat digunakan pada bangunan ringan berakibat mahal biaya konstruksi. Untuk itu, dicari alternative lain yaitu fondasi beton ringan guna mengurangi volume pemanfaatan material semen, dan menekan biaya konstruksi fondasi. Dalam penelitian ini, pemanfaatan beton ringan merupakan salah satu alternative untuk menyelesaikan masalah tersebut dengan memanfaatkan *styrofoam*. Penelitian ini menitikberatkan pada pengaruh pemanfaatan beton *styrofoam* ringan untuk fondasi sumuran pada tanah lempung lunak dengan dua kondisi muka air tanah yaitu di atas dasar fondasi dan di bawah dasar fondasi. Beton *styrofoam* ringan dimodelkan dalam kotak uji di laboratorium, bahan yang digunakan berupa semen Portland tipe I, *styrofoam* dengan diameter 2-3 mm, pasir dan air, dimana komposisi air proporsional dengan campurannya. Perbandingan volume bahan dengan 6 variasi campuran berupa campuran *styrofoam* 100 % dan pasir 0 %, *styrofoam* 80 % dan pasir 20 %, *styrofoam* 60 % dan pasir 40 %, *styrofoam* 40 % dan pasir 60 %, *styrofoam* 20 % dan pasir 80 % serta *styrofoam* 0 % dan pasir 100 %. Model fondasi dengan ukuran diameter 44 cm dan panjang 50 cm dan tertanam 45 cm. Kapasitas dukung ultimit yang terbesar terjadi pada kandungan *styrofoam* 0 % baik untuk muka air tanah di atas dasar fondasi maupun muka air tanah di bawah dasar fondasi.

Kata Kunci : Styrofoam, beton ringan, fondasi sumuran

1. Pendahuluan

Tanah merupakan material konstruksi yang memegang peran

penting sebagai dasar fondasi, sehingga mutlak diperlukan tanah yang memiliki kuat dukung tinggi dengan

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

penurunan sekecil mungkin. Oleh karena itu, diperlukan analisis kuat dukung tanah dan perancangan seksama agar tidak terjadi kegagalan struktur akibat runtuhnya tanah dasar di bawah fondasi dan berakibat rusaknya struktur bangunan di atasnya.

Salah satu masalah yang sering dijumpai di dalam bidang teknik sipil adalah tanah lunak. Di daerah tanah lunak, muka air tanah umumnya dangkal, sehingga tekanan ke atas (*up lift*) oleh air perlu dimanfaatkan. Bangunan yang didirikan di atas tanah lunak akan mengalami penurunan (*settlement*) atau mengalami kegagalan, sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dasar fondasi atau konstruksi fondasi menyesuaikan dengan parameter tanah yang ada. Pada tanah dasar fondasi lunak dengan ketebalan tanah lunak cukup besar umumnya untuk bangunan (konstruksi) berat, digunakan jenis fondasi tiang, namun untuk bangunan ringan (lantai 1 s/d 2), penggunaan fondasi tiang mengakibatkan biaya konstruksi menjadi mahal. Apabila digunakan fondasi langsung (telapak) yang umumnya konstruksi beton bertulang akan diperoleh luasan fondasi saling tumpang tindih, atau digunakan tipe fondasi pelat. Penggunaan tipe fondasi inipun berakibat mahalnya biaya konstruksi, sehingga perlu dicari alternatif lain dalam usaha menghemat biaya konstruksi.

Pemanfaatan beton ringan seperti beton *styrofoam* ringan merupakan salah satu alternatif untuk menyelesaikan masalah tersebut untuk menghemat biaya konstruksi, karena bahan *styrofoam*nya sendiri dianggap murah dan mudah mendapatkannya. Oleh karena itu, pemakaian beton *styrofoam* ringan untuk fondasi sumuran di daerah tanah lunak dengan muka air tanah dangkal sangat menarik untuk diteliti. Dari hasil penelitian ini

diharapkan terjadi peningkatan beban ultimit yang bekerja pada fondasi tersebut dan memberikan penurunan yang kecil dibanding dengan konstruksi fondasi sumuran yang langsung menopang di atas tanah dasar fondasi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Beton ringan

Beton ringan menurut Dobrowolski (1998) merupakan beton dengan berat di bawah 1900 kg/m^3 lebih rendah dibandingkan dengan berat beton normal. Neville dan Brooks (1987) memberikan batasan beton ringan dengan berat beton di bawah 1800 kg/m^3 . Menurut Murdock (1988) bahwa berat volume beton ringan berkisar antara 1360 sampai 1840 kg/m^3 dan berat volume 1850 kg/m^3 dapat dianggap sebagai batas dari beton ringan yang sebenarnya, meskipun nilainya kadang-kadang melebihi.

2.2 Styrofoam

Styrofoam termasuk dalam kategori polimer sintetik dengan berat molekul tinggi. Polimer sintetik berbahan baku monomer berbasis etilena yang berasal dari perengkahan minyak bumi. *Styrofoam* hanya sebuah nama dalam dunia perdagangan, nama sesungguhnya adalah *Polistyrena* atau *poli (feniletena)* dalam bentuk foam. *Feniletena* atau *styrene* dapat dipolimerkan dengan menggunakan panas sinar ultraviolet atau katalis. *Poli (feniletena)* merupakan bahan termoplastik yang bening (kecuali jika ditambahkan pewarna atau pengisi), dan dapat dilunakan pada suhu sekitar 100°C . *Poli (feniletena)* tahan terhadap asam, basa dan zat pengarat (korosif) lainnya, tetapi mudah larut dalam hidrokarbon aromatik dan berklor. Dalam propanon (aseton) *poli (feniletena)* hanya mengembang.

Penyinaran dalam waktu yang lama oleh sinar ultra ungu, sinar putih, atau panas, sedikit mempengaruhi kekuatan dan ketahanan polimer terhadap panas. *Poli (feniletena)* berbusa atau *styrofoam* diperoleh dari pemanasan *poli (feniletena)* yang menyerap hidrokarbon rolatil ketika dipanasi oleh kukus (*steam*), butiran akan melunak, dan penguapan hidrokarbon di dalam butiran akan menyebabkan butiran mengembang (Cowd, 1991).

2.3 Uji Beban Vertikal Pada Fondasi

Hitungan kuat dukung fondasi dapat diperoleh dari hitungan cara statis berdasarkan karakteristik kuat geser tanah, kedalaman, bentuk dan dimensi fondasi, serta dari persamaan empiris berdasarkan hasil uji di lapangan, seperti uji SPT dan uji sondir. Hasil hitungan berdasarkan ke dua cara tersebut dapat divalidasi dengan melakukan uji beban vertikal pada fondasinya, seperti yang sudah sering dilakukan pada fondasi tiang.

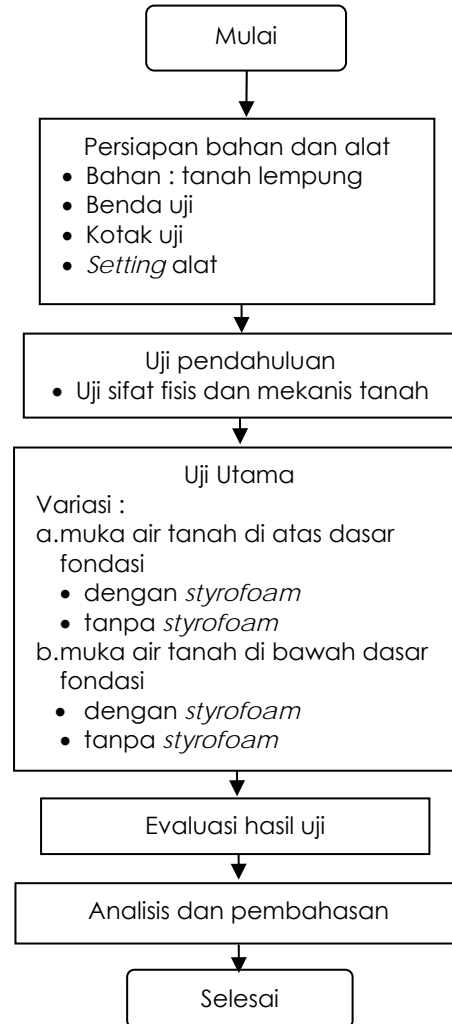
Uji beban vertikal pada fondasi tiang mempunyai maksud-maksud sebagai berikut (Hardiyatmo, 2002) :

- untuk menentukan grafik hubungan beban dan penurunan, terutama pada daerah beban rencana yang telah ditentukan,
- sebagai percobaan guna meyakinkan bahwa keruntuhan fondasi tidak akan terjadi sebelum beban yang ditinjau tercapai, beban ini nilainya beberapa kali nilai beban kerja yang dipilih dalam perancangan, nilai pengali tersebut kemudian dipakai sebagai faktor aman,
- untuk menentukan kuat dukung ultimit tiang yang sebenarnya, yaitu untuk kontrol hasil hitungan kuat dukung tiang yang diperoleh dari formula statis dan empiris.

3. Metode Penelitian

3.1 Tempat penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir pelaksanaan penelitian

3.1 Bahan dan alat

Tanah yang digunakan adalah tanah lempung dengan

plastisitas tinggi. Model fondasi terbuat dari campuran semen, pasir, *styrofoam* dan air dengan diameter 44 cm dan panjang 50 cm. Jumlah fondasi bervariasi sesuai dengan perbandingan volume bahan yaitu *styrofoam* 100 % dan pasir 0 %, *styrofoam* 80 % dan pasir 20 %, *styrofoam* 60 % dan pasir 40 %, *styrofoam* 40 % dan pasir 60 %, *styrofoam* 20 % dan pasir 80 %, dan *styrofoam* 0 % dan pasir 100 %. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotak uji berdimensi panjang 200 cm, lebar 200 cm, tinggi 100 cm dan seperangkat alat berupa *Frame* baja sebagai pengaku, *hydraulic jack*, *dial gauge*, *transducer*, *load cell*, pipa paralon, *catrol*, serta alat uji fisis tanah.

3.2 Metode

- Tahap persiapan
 Persiapan dilakukan pemasangan pipa paralon sebanyak 4 buah, pengolahan media lempung untuk mendapatkan konsistensi yang diinginkan, untuk muka air tanah di atas dasar fondasi pada kotak uji terlebih dahulu diisi air kemudian tanah lempung dimasukkan, untuk muka air tanah di bawah dasar fondasi airnya diturunkan sampai mencapai kadar air tertentu. Tanah dibiarkan selama 3 hari, agar homogen kadar airnya, selanjutnya pemasangan fondasi sampai kedalaman ± 45 cm dan pemasangan alat uji beban.
- Tahap penelitian terbagi 2 yaitu, penelitian pendahuluan dilakukan uji sifat fisis tanah dan uji beban dilakukan dengan 2 kondisi muka air tanah yaitu, muka air tanah rata dengan muka tanah dan muka air tanah di bawah dasar fondasi. Pembebanan dilakukan sampai terjadi keruntuhan, selama uji beban dilakukan pencatatan penurunan dan beban yang terjadi, kemudian gambarkan dalam suatu grafik. Uji

beban ini dilakukan berdasarkan ASTM 1143.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil pengujian propertis tanah
 Hasil uji pendahuluan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji propertis tanah

Gravitasi khusus ASTM D 854-02	2,55
Kadar air rerata MAT atas ASTM D 2216-98	91,23 %
Kadar air rerata MAT bawah ASTM D 2216-98	71,03 %
Kuat tekan bebas (qu) kg/cm ² ASTM D 2166-00	0,10 – 0,18
Kohesi tanah MAT bawah (c _u) kg/cm ²	0,05 – 0,09
Kohesi tanah MAT atas (c _u) kg/cm ² ASTM 2573-01	0,0098-0,0144
Adhesi tanah (c _d) kg/cm ² ASTM D 3080-98	0,07 – 0,15
Kepadatan tanah MAT atas (γ _d) kg/cm ³ (0 % - 100 %) ASTM D 1556-00	0,94 – 0,90
Kepadatan tanah MAT bawah (γ _d) kg/cm ³ (0 % - 100 %) ASTM D 1556-00	0,97 – 0,92

Menurut klasifikasi Unified, diperoleh LL = 87,48 %, PI = 55,16 %, gradasi butiran pasir 7,48 %, fraksi halus 92,52 %, menurut ASTM D-2487-00 maka tanah termasuk pada jenis tanah berbutir halus dengan simbol CH dalam kelompok *fat clay*.

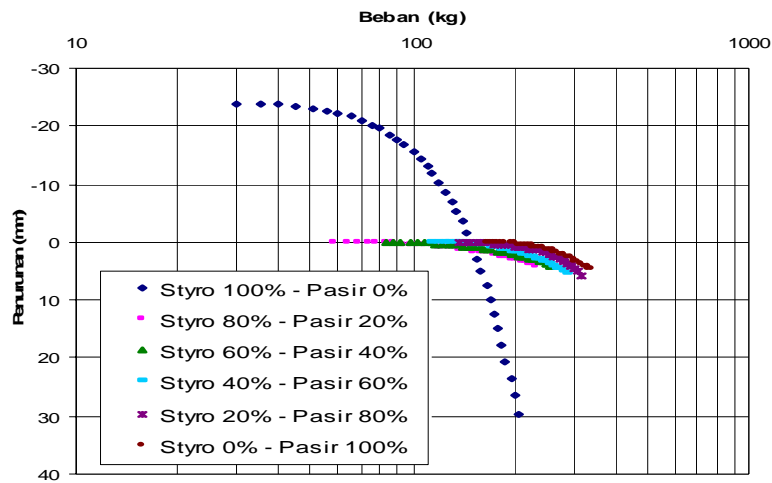
4.2 Uji Beban

- Kondisi muka air tanah di atas dasar fondasi

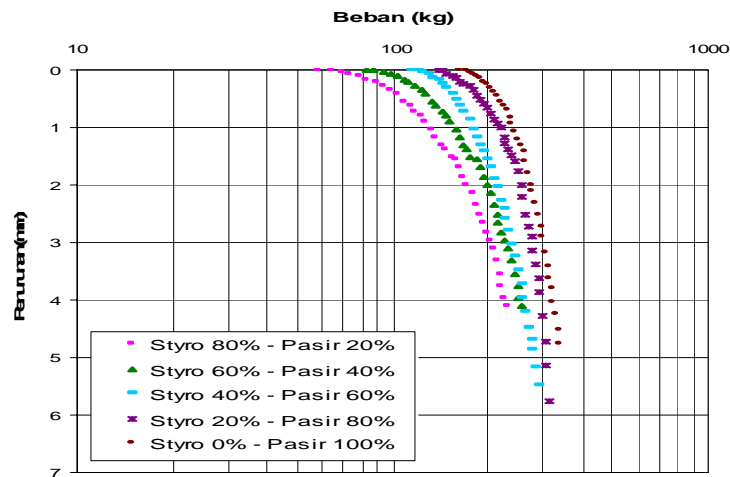
Hasil uji beban statis untuk muka air tanah di atas dasar fondasi

dengan berbagai variasi persentase campuran *styrofoam* pada lubang uji dengan media tanah lempung dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar

3. Pada kondisi ini digunakan elevasi muka tanah $\pm 0,00$ m dan elevasi muka air tanah $\pm 0,00$ m.



Gambar 2. Hubungan beban dan penurunan untuk muka air tanah di atas dasar fondasi untuk variasi campuran *styrofoam*.



Gambar 3. Hubungan beban dan penurunan untuk muka air tanah di atas dasar fondasi untuk variasi campuran *styrofoam*.

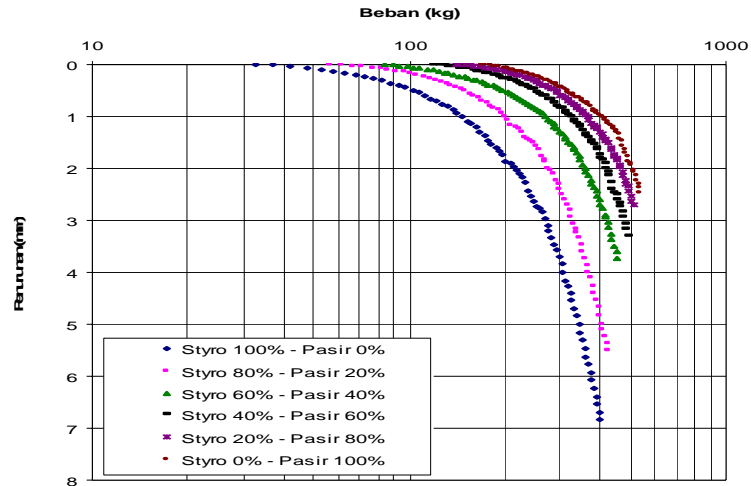
Dari Gambar 2 dan Gambar 3 pada kondisi muka air tanah di atas dasar fondasi terlihat bahwa bertambahnya beban pada fondasi maka akan bertambah juga penurunannya, hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut tanahnya sangat lunak, kadar airnya sangat tinggi sebesar 91,23 % dan kepadatan tanahnya kecil sehingga penurunan yang terjadi cukup besar. Pada persentase kandungan *styrofoam* 100 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 % mempunyai nilai penurunan masing-masing sebesar -22,23 mm, 0,422 mm, 0,539 mm, 0,726 mm, 0,757 mm dan 0,760 mm hal tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil prosentase *styrofoam*, maka semakin besar penurunan yang terjadi. Untuk prosentase kandungan *styrofoam* 100 % penurunan yang terjadi sangat kecil, karena fondasinya sangat ringan dan adanya pengaruh *uplift* sebesar 24 mm, sedangkan untuk persentase jumlah *styrofoam* 0 % penurunan yang terjadi sangat besar, karena pengaruh dari berat fondasi sebesar 165,4 kg, sehingga tanah tidak mampu menahan berat dari fondasi. Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 untuk kondisi tanah dengan muka air tanah yang tinggi, pada persentase jumlah *styrofoam* 100 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 % mempunyai nilai kapasitas dukung masing-masing sebesar 125,2 kg, 133,6 kg, 153 kg, 169,3 kg, 239,4 kg dan 264,4 kg hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil prosentase *styrofoam*nya, maka semakin besar kuat dukung yang terjadi, karena pada kandungan *styrofoam* yang kecil mempunyai nilai lekatan (adhesi) yang besar. Kapasitas dukung ultimit juga dipengaruhi oleh adanya kapasitas dukung dasar fondasi yang semakin meningkat karena luas

penampang yang hampir sama dengan selimut fondasi yang dapat mendistribusi beban sentris ke semua bidang fondasi. Dari nilai kapasitas dukung fondasi, dapat dilihat bahwa kandungan *styrofoam* 0 % mempunyai nilai kapasitas dukung yang lebih besar dibandingkan dengan kandungan *styrofoam* 100 %, karena pada kandungan *styrofoam* 0 % tanahnya lebih padat sebesar 0,94 gr/cm³ dan lekatan (adhesi) yang terjadi sebesar 0,0144 kg/cm² sedangkan pada kandungan *styrofoam* 100 % kepadatan tanahnya sebesar 0,90 gr/cm³ dan nilai lekatannya (adhesi) sebesar 0,0098 kg/cm².

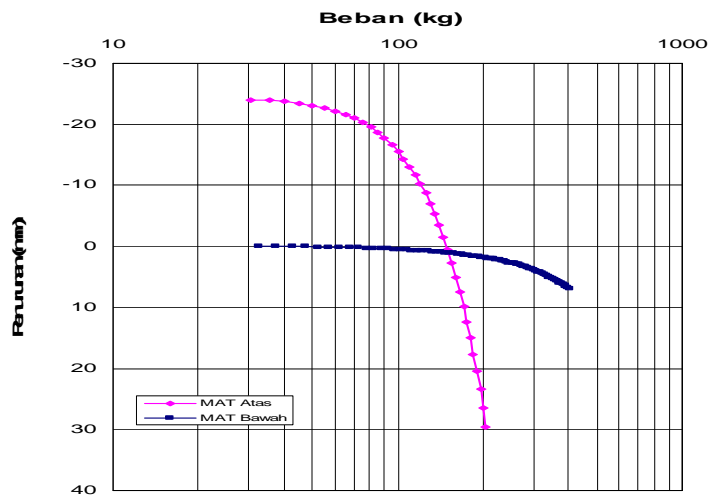
- Kondisi muka air tanah di bawah dasar fondasi
Hasil uji beban statis untuk muka air tanah di bawah dasar fondasi dengan berbagai variasi persentase campuran *styrofoam* pada lubang uji dengan media tanah lempung dapat dilihat pada Gambar 4. Pada kondisi ini digunakan elevasi muka tanah ± 0,00 m dan elevasi muka air tanah ± 0,80 m. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar prosentase kandungan *styrofoam*nya semakin besar pula penurunan yang terjadi. Hal ini dipengaruhi karena tanahnya lunak dengan kadar air 71,03 %, kepadatan tanahnya rendah dan nilai lekatan (adhesi) yang terjadi semakin kecil pada fondasi dengan prosentase kandungan *styrofoam* yang besar. Dari gambar tersebut diperoleh nilai penurunan pada masing-masing persentase kandungan *styrofoam* 100 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 % adalah sebesar 0,549 mm, 0,468 mm, 0,467 mm, 0,458 mm, 0,358 mm dan 0,353 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase *styrofoam* maka semakin besar penurunan yang

terjadi. Pada kandungan *styrofoam* 0 % mempunyai penurunan yang kecil, karena pada kandungan *styrofoam* 0 % tanahnya lebih padat sebesar $0,97 \text{ gr/cm}^3$ serta lekatan yang terjadi masing-masing sebesar $0,15 \text{ kg/cm}^2$.

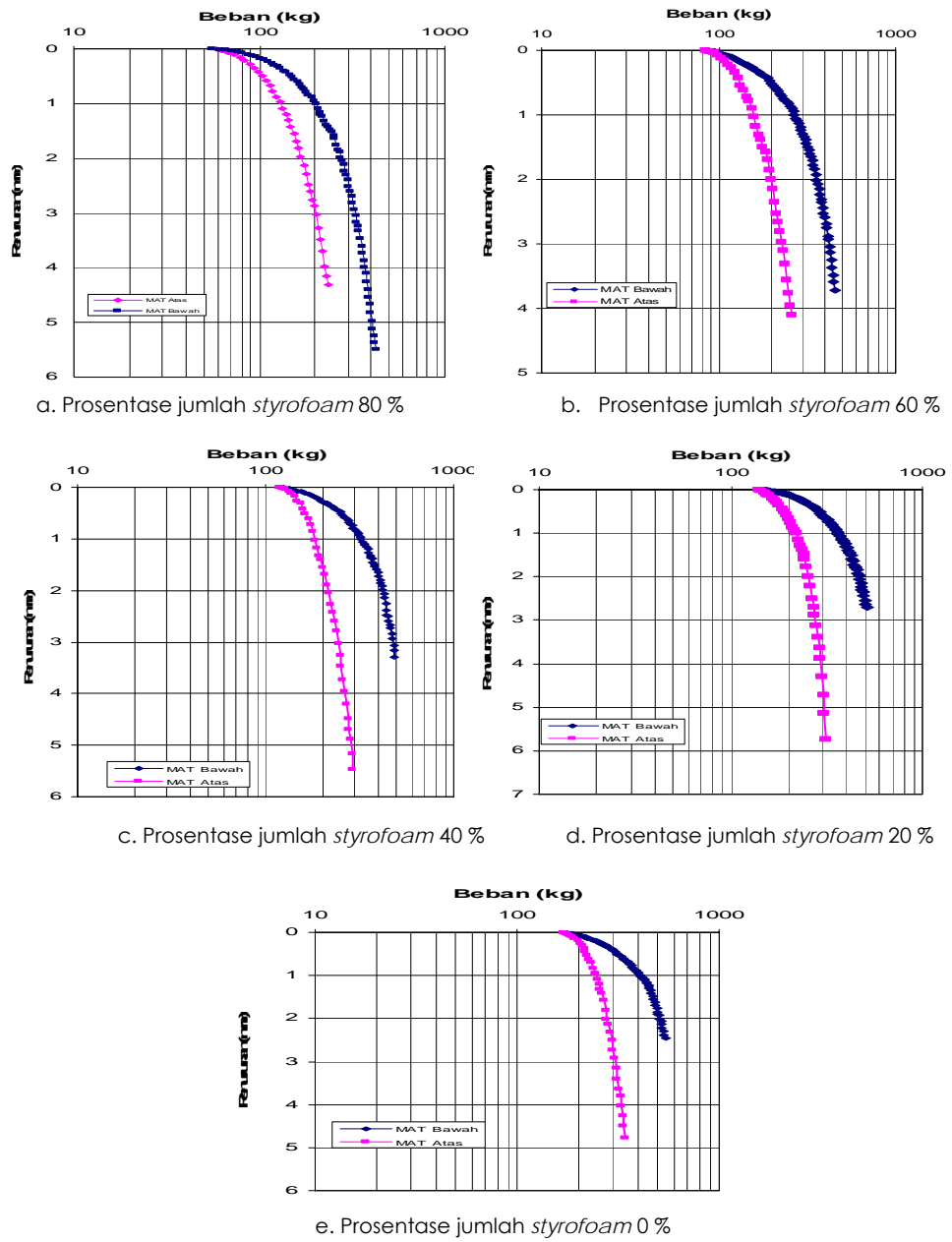
Pada kandungan *styrofoam* 100 % penurunannya sangat besar, karena pada kandungan *styrofoam* 100 % selain tidak terjadi *uplift*, nilai lekatannya (adhesi) kecil yaitu sebesar $0,07 \text{ kg/cm}^2$.



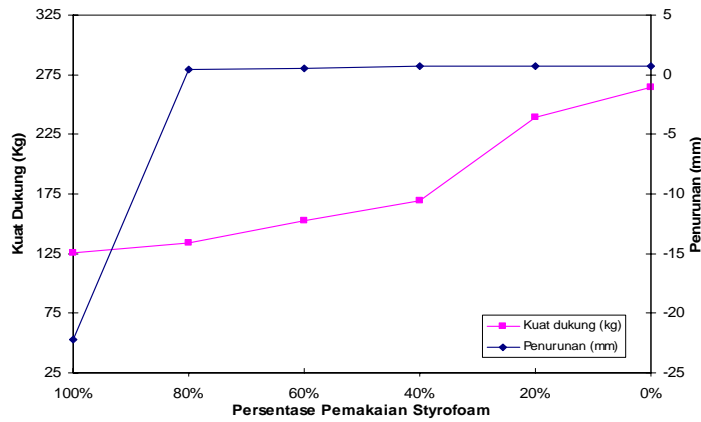
Gambar 4. Hubungan beban dan penurunan untuk muka air tanah di bawah dasar fondasi.



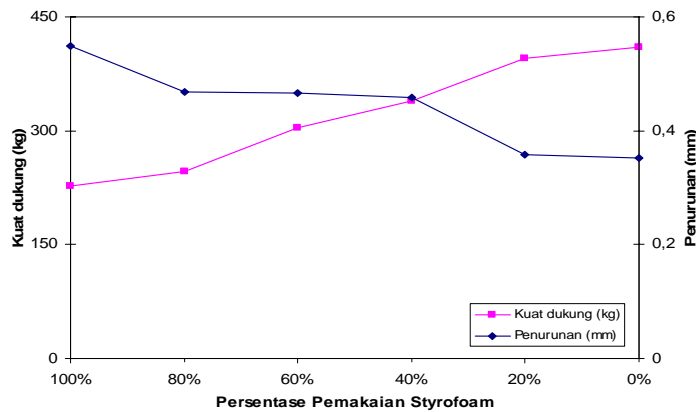
Gambar 5. Hubungan beban dan penurunan untuk prosentase jumlah *styrofoam* 100 %



Gambar 6. Hubungan beban dan penurunan untuk prosentasi sejumlah styrofoam 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 %.



Gambar 7. Hubungan kuat dukung dan penurunan terhadap persentase pemakaian *styrofoam* untuk kondisi muka air tanah rata dengan muka tanah.



Gambar 8. Hubungan kuat dukung dan penurunan terhadap persentase pemakaian *styrofoam* untuk kondisi muka air tanah di bawah dasar fondasi.

4.3 Pengaruh uplift terhadap kondisi muka air tanah

- Prosentase jumlah *styrofoam* 100 %
 Dari Gambar 5 pada persentase jumlah *styrofoam* 100 % dapat dilihat bahwa *uplift* tampak jelas terjadi pada kondisi muka air tanah di atas dasar fondasi dan pada kondisi muka air tanah di bawah

dasar fondasi tidak terjadi *uplift*. Hal ini disebabkan pada kondisi muka air tanah di atas dasar fondasi tanahnya sangat lunak, kadar airnya sangat tinggi dan untuk fondasinya sendiri sangat ringan, sehingga fondasi tidak mampu menahan gaya dorong (*uplift*) dari dalam tanah.

- Prosentase jumlah styrofoam 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 %

Dari Gambar 6 pada jumlah *styrofoam* 80 %, 60 %, 40 %, 20 %, dan 0 % dapat dilihat bahwa *uplift* terjadi pada muka air tanah di atas dasar fondasi, namun gaya *uplift* tidak mampu mengimbangi berat fondasi masing-masing sebesar 56,3 kg, 83,6 kg, 118,7 kg, 140,3 kg dan 169,7 kg . Selain itu, pengaruh muka air tanah tinggi (di atas dasar fondasi), mengakibatkan kuat dukung tanah diperhitungkan terhadap tegangan efektif tanah ($\sigma' = \sigma_n - u$) yang lebih kecil dari tegangan normal (σ_n). Sehingga semakin berat fondasi, maka semakin besar penurunan yang terjadi.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase pemakaian *styrofoam* yang paling optimal tergantung dari kondisi muka air tanahnya, pada Gambar 10 menunjukkan bahwa hubungan kuat dukung dan penurunan diperoleh persentase pemakaian *styrofoam* yang optimal adalah pada persentase *styrofoam* antara 100 % -80 % untuk kondisi muka air tanah rata dengan muka tanah. Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa hubungan kuat dukung dan penurunan diperoleh persentase *styrofoam* yang optimal adalah pada persentase *styrofoam* 40 % untuk kondisi muka air tanah di bawah dasar fondasi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- untuk kondisi muka air tanah di atas dasar fondasi penurunan yang terjadi pada kandungan *styrofoam* 100 % lebih kecil dibanding dengan kandungan *styrofoam* 80 %, 60 %, 40 %, 20 % dan 0 %, karena pada kandungan *styrofoam* 100 % terjadi gaya *uplift* sebesar 24 mm sehingga

dapat mereduksi penurunan yang terjadi,

- untuk kondisi muka air tanah di bawah dasar fondasi penurunan yang terjadi pada kandungan *styrofoam* 0 % lebih kecil dibanding dengan kandungan *styrofoam* 100 %, 80 %, 60 %, 40 %, dan 20 % hal ini disebabkan karena pada kandungan *styrofoam* 0 % telah terjadi kepadatan tanah akibat dari berat fondasi.
- kondisi tanah yang sangat lunak dan kurang padat memperbesar penurunan dan mengurangi kapasitas dukung fondasi,
- kapasitas dukung yang diperoleh untuk muka air tanah di atas dasar fondasi yaitu sebesar: untuk *styrofoam* 100% dan pasir 0% sebesar 125,2 kg, untuk *styrofoam* 80% dan pasir 20% sebesar 133,6 kg, untuk *styrofoam* 60% dan pasir 40% sebesar 153 kg, untuk *styrofoam* 40% dan pasir 60% sebesar 169,3 kg, untuk *styrofoam* 20% dan pasir 80% sebesar 239,4 kg, untuk *styrofoam* 0% dan pasir 100% sebesar 265,4 kg,
- kapasitas dukung yang diperoleh untuk muka air tanah di bawah dasar fondasi yaitu sebesar: untuk *styrofoam* 100% dan pasir 0% sebesar 227,5 kg, untuk *styrofoam* 80% dan pasir 20% sebesar 246,3 kg, untuk *styrofoam* 60% dan pasir 40% sebesar 303,6 kg, untuk *styrofoam* 40% dan pasir 60% sebesar 338,7 kg, untuk *styrofoam* 20% dan pasir 80% sebesar 395,3 kg, untuk *styrofoam* 0% dan pasir 100% sebesar 409,7 kg,
- presentase pemakaian *styrofoam* yang optimal adalah pada persentase *styrofoam* antara 100 % - 80 % dengan kuat dukung sebesar 125 kg dan penurunan sebesar -15 mm untuk kondisi muka air tanah rata dengan muka tanah.
- presentase pemakaian *styrofoam* yang optimal adalah pada persentase *styrofoam* antara 40 %

dengan kuat dukung sebesar 338,7 kg dan penurunan sebesar 0,458 mm untuk kondisi muka air tanah di bawah dasar fondasi.

- sifat dari *styrofoam* sangat licin, sehingga mengurangi lekatan antara tanah dan fondasi.

5.2 Saran

- diperlukan penelitian seperti ini dengan melihat pemanfaatan beton *styrofoam* di bawah fondasi telapak pada tanah pasir.
- penelitian ini mengamati kondisi muka air tanah yaitu di atas dan di bawah dasar fondasi diperlukan penelitian lain dengan muka air tanah jauh di bawah dasar fondasi dengan kadar air yang lebih rendah.

6. Daftar Pustaka

- Anonim, 1986. *Annual Book of ASTM Standard (Soils, Rocks and Building Stones)*. USA: American Society for Testing and Material.
- Cowd. M.A., 1991. *Kimia Polimer*. Bandung, ITB.
- Dobrowolski, A., J., 1988, *Concrete Construction Hand Book*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hardiyatmo. H. C., 2002. *Mekanika Tanah*. Edisi ke-2. Yogyakarta: Beta Offset
- Hardiyatmo. H. C., 2002. *Teknik Pondasi II*. Edisi ke-2. Yogyakarta: Beta Offset.
- Murdock. L., J., 1986. *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Neville. A., M. And Brooks. J.J., 1987, *Concrete Technology*. 1st Ed. England: Longman Scientific and Technical.