

Studi Pengaruh Pembebanan Statis dan Dinamis Terhadap Pondasi Dangkal dengan Perkuatan Tiang Buis dari Komposisi Optimal Beton yang Menggunakan Material Limbah di Kabupaten Bangkalan (Pemodelan di Laboratorium)

Wahyu Ady Sulisty, Ridha Annisa Imaniar, Ignasius Rahmat Santoso, Trihanyndio Rendy Satrya,
Ria Asih Aryani Soemitro

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: soemitroaa@yahoo.com

Abstrak—Pondasi pendukung suatu bangunan atau penyangga konstruksi yang paling dasar adalah tanah. Jenis tanah yang kita pakai adalah tanah andosol yang ada di kabupaten Bangkalan. Tanah andosol merupakan tanah lempung yang berasal dari sisa abu vulkanik dari letusan gunung berapi yang memiliki nilai kembang susut yang cukup tinggi, sehingga tanah tidak stabil dan mudah menimbulkan penurunan/*settlement*. Salah satu desain pondasi untuk struktur tahan gempa pada rumah sederhana adalah menggunakan buis beton sebagai perkuatan pada pondasi dangkal. Dengan inovasi baru pada konstruksi buis beton yaitu menggunakan material tambahan yaitu *fly ash*, *copper slag*, dan batu putih. Limbah batu putih yang digunakan dalam penelitian ini terdapat di Kabupaten Bangkalan. Penelitian dilaksanakan di laboratorium menggunakan tanah yang dikondisikan seperti tanah di Bangkalan dengan nilai LL 78,32%. Berupa campuran pasir 56,16% *bentonite* 43,84%. Pondasi menggunakan komposisi campuran 1:2:3 dengan perbandingan 50%:50% untuk tiap bahan utama dan limbah, yang memiliki nilai kuat tekan besar. Kemudian pondasi diberi beban statis vertikal 10 kg - 40 kg, untuk kombinasi beban statis dan dinamis digunakan boks getar. Pemodelan pondasi yang digunakan adalah segitiga dan persegi dengan dan tanpa buis beton, diameter buis 0,3m, jarak pemasangan tiang buis beton $S = 3D$ dan kedalaman 1m dengan skala 1:10. Penelitian di laboratorium mendapatkan hasil, pondasi dengan luas telapak pondasi terkecil memiliki penurunan terbesar dibandingkan dengan luas telapak besar. Pondasi tanpa perkuatan memiliki penurunan terbesar daripada pondasi dengan perkuatan dan penurunan pondasi pada percepatan gempa 0,2g lebih besar dari pada 0,15g. Semakin besar volume berat tanah (γ_t), geser tanah (C), derajat kejenuhan (S_u), dan Porositas (n) penurunan besar, sedangkan semakin kecil angka pori (e) penurunan semakin besar.

Kata Kunci—Beban Statis dan Beban Dinamis, *Copper slag*, *Fly ash*, Limbah Industri, Kabupaten Bangkalan, Pemodelan Laboratorium, Peta Gempa 2010, Pondasi Buis Beton.

I. PENDAHULUAN

TANAH adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri [1]. Untuk

mengidentifikasi jenis tanah berdasarkan ukuran partikelnya, tergantung klasifikasi yang digunakan. Tanah berbutir kasar dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran butiran [2]. Sedangkan pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bangunan bagian atas ke lapisan tanah bagian bawah pondasi [3].

Dalam penelitian yang dilaksanakan di laboratorium, pemodelan tanah menggunakan pasir dan *bentonite* untuk mendapatkan jenis tanah andosol yang ada di Kabupaten Bangkalan yang bersifat lempung, Lempung adalah tanah berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Lempung mempunyai sifat plastis dalam kisaran kadar air tertentu, dan kekuatannya tinggi bila tanahnya pada kondisi kering [2]. *Bentonite* adalah lempung yang mengandung *montmorilonite* dengan kadar tinggi. Kebanyakan *bentonite* terbentuk dari perubahan kimiawi abu vulkanik. Bila berhubungan dengan air, *bentonite* kering mengembang lebih besar dibanding lempung kering lainnya, sedangkan *bentonite* jenuh menyusut lebih banyak jika dikeringkan [4]. Material limbah digunakan sebagai bahan campuran beton dan pengisinya berupa batu putih, *copper slag* dan *fly ash*. Batu putih pada dasarnya adalah batuan sedimen dari batu kapur. *Copper slag* adalah hasil limbah industri peleburan tembaga, yang sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir [5]. *Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara [6].

Manfaat penelitian ini yaitu mengetahui seberapa besar kestabilan pondasi perkuatan buis beton dari penurunan dan angka keamanan, dari variasi kedalaman dan material limbah yang digunakan pada pondasi buis beton terhadap pengaruh kombinasi beban statis vertikal dan beban dinamis dengan menggunakan peta gempa 2010. Melalui hasil analisa, diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk mengurangi kerusakan akibat gempa pada rumah sederhana menggunakan pondasi dangkal yang diperkuat dengan buis beton memanfaatkan material limbah.

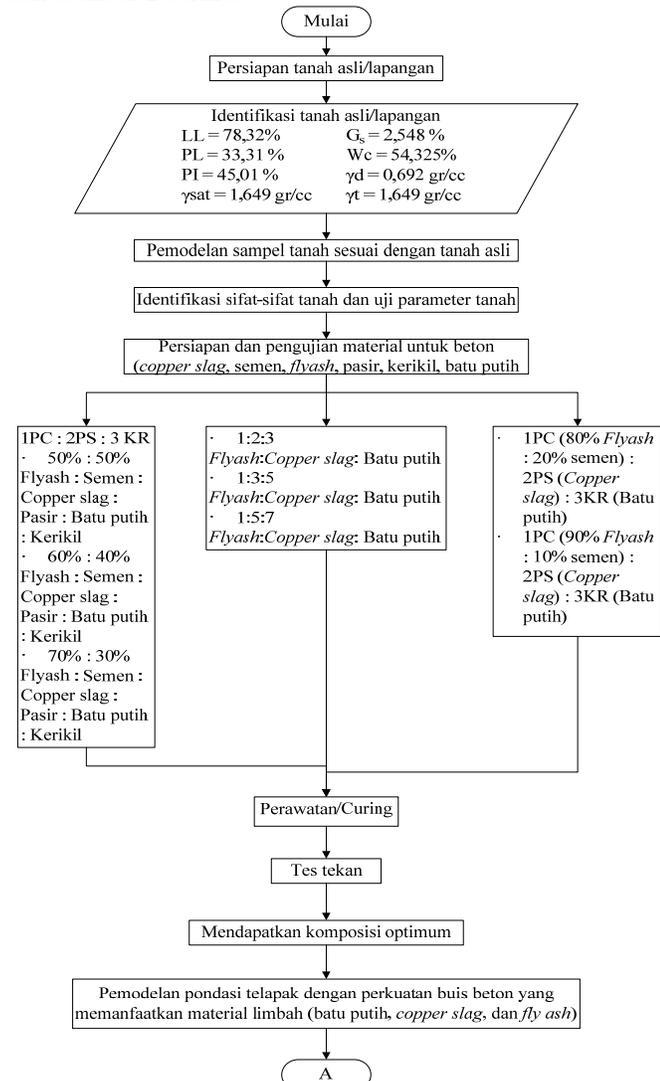
II. METODE

A. Tahap Telaah

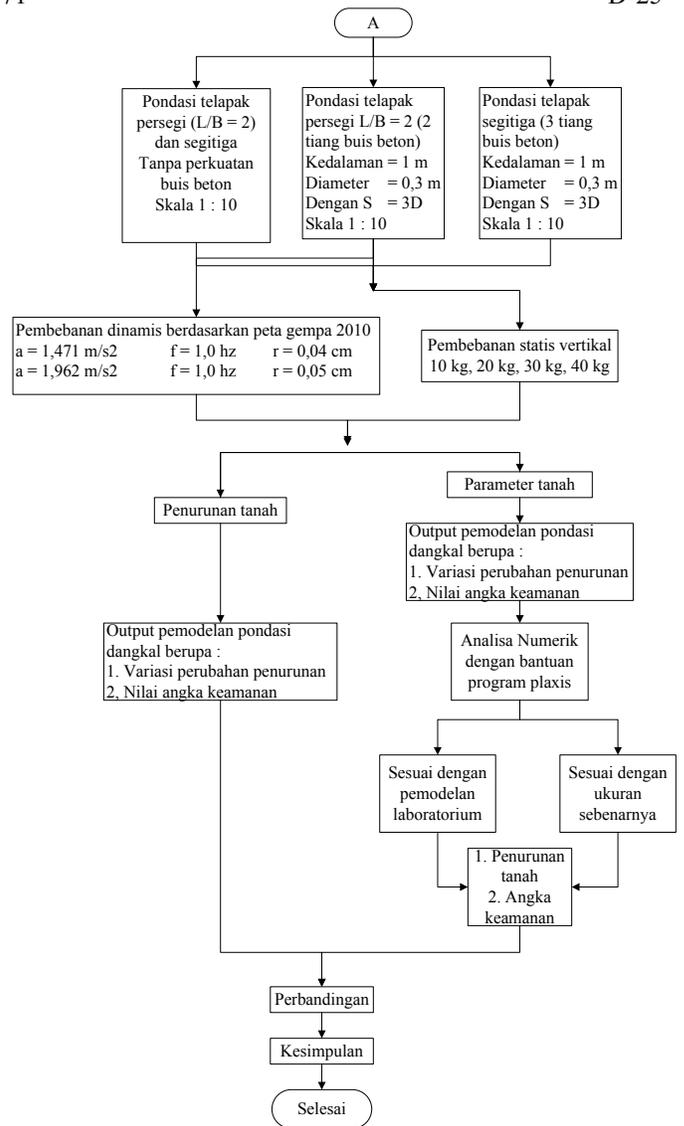
Langkah awal dalam penelitian ini menyiapkan material yang akan dibandingkan untuk uji kelayakan. Menentukan komposisi bentonite dan pasir untuk mendapatkan permodelan tanah uji yang sesuai, menentukan komposisi campuran bahan pondasi dari material limbah (batu putih, *copperslag*, *fly ash*) dan material utama (kerikil, pasir, semen), menentukan permodelan pondasi yang akan di uji, penentuan percepatan gempa dari peta gempa, melakukan pembebanan statis dan dinamis pada pondasi dan menghitung penurunan dan daya dukung tanah.

B. Metodologi

Metode pengujian penelitian dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan menggunakan boks getar dan pemodelan dengan analisa numerik sebagai pembanding. Adapun langkah-langkah penelitian dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut :



Gambar. 1. Bagan alir detail penelitian.



Gambar. 2. Bagan alir detail penelitian (lanjutan).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Tanah

Untuk mendapatkan tanah uji dengan kondisi LL tertentu maka bentonite dicampur dengan pasir dan air secara merata dengan perbandingan tertentu secara coba-coba, dengan memperhitungkan berat alami dan kadar air masing-masing material.

Dari hasil pencampuran bentonite dan pasir kemudian dilakukan pengujian *Liquid Limit* pada tanah uji tersebut Dengan Batas Cair (LL) = 78,32 % seperti kondisi tanah di Bangkalan, maka perbandingan Bentonite : Pasir = 43,84% : 56,16%. Hasil Pengujian *Volumetri/Gravimetri* untuk tanah Bangkalan didapat dari data tanah pada daerah Kel. Tanjung Kec. Burneh, Bangkalan tahun 2008 dengan kadar air (w_c) = 54,32%, $\gamma_d = 0,692$ gr/cc, $\gamma_t = 1,649$ gr/cc dan didapatkan nilai kohesi (C) sebesar 0,047 kg/cm² dan sudut geser (ϕ) sebesar 11,97°.

B. Analisa Kuat Tekan Pondasi

Pengujian analisa kuat tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton (Mpa) dan menentukan jenis campuran yang ekonomis dengan memanfaatkan hasil limbah. Maka komposisi campuran untuk pondasi pada daerah Bangkalan, menggunakan perbandingan, 50%:50% dengan hasil kuat tekan sebesar 6,42 Mpa.

C. Perhitungan Daya Dukung

Dalam menentukan beban batas yang dapat diterima oleh tanah uji dilakukan perhitungan daya dukung tanah terlebih dahulu. Nilai daya dukung tiap pondasi dan kapasitas hoisontal dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4 :

Tabel 1.

Daya dukung pondasi telapak

Tegangan <i>ultimate</i>		A (cm ²)	Beban (kg)
Persegi Panjang	0,517 kg/cm ²	162	83,75
Segitiga	0,528 kg/cm ²	283,5	149,69

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 2.

Daya dukung pondasi tiang buis beton

Pondasi	Jumlah tiang	Q _u	Q _u	Q _u Total
	S = 3D	3 (D)	Telapak	
Persegi	2	6,324	83,75	90,074
Segitiga	3	9,214	149,69	158,904

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 3.

Daya dukung dinamis pondasi telapak

Tegangan <i>ultimate</i>		A(cm ²)	Beban (kg)
Persegi	0,00752 kg/cm ²	162	1,218
Segitiga	0,01505 kg/cm ²	283,5	4,267

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 4.

Kapasitas horisontal tiang buis beton

Pondasi	Spektrum 0,2 g		Spektrum 0,15 g	
	F	H _U	F	H _U
L/B = 2 ; h = 10 cm	0,3789	11,838	0,2840	11,838
Segitiga ; h = 10	0,6461	11,838	0,3093	11,838

(Sumber: Hasil Perhitungan)

D. Pembebanan Tanah Uji

Pondasi yang digunakan berupa pondasi telapak yang diberi perkuatan tiang buis beton dengan variasi persegi L/B = 2 dan model segitiga, variasi perkuatan pondasi diberikan tiang buis beton dengan jarak pemasangan 3D sedangkan kedalaman tiang 10 cm dengan diameter 3,0 cm.

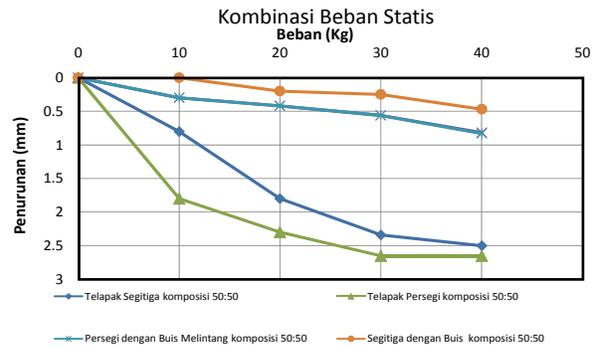
Simulasi beban dinamis di laboratorium diberikan pada zona gempa dengan spektrum 0,15 dan 0,2 g sedangkan beban statis vertikal terdapat beberapa variasi pembebanan yang berbeda-

beda seperti pada Tabel 5. Dengan hasil penurunan yang terdapat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 5.

Tabel 5.

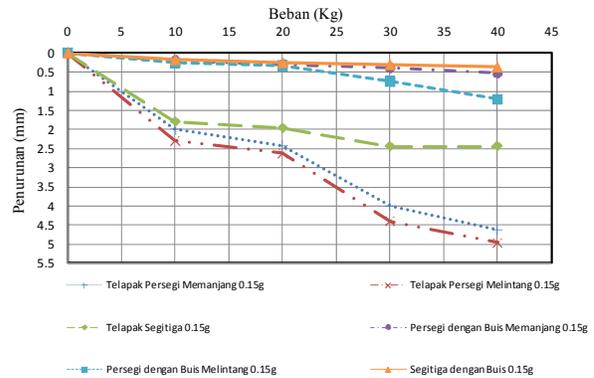
Variasi beban yang diberikan pada setiap pondasi

Variasi Pondasi		Spektrum 0,15 g dan 0,2 g			
Bentuk	Perletakan	1	2	3	4
Persegi	Telapak	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	Memanjang	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	S = 3D ; h = 10 cm	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	Melintang	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	S = 3D ; h = 10 cm	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
Segitiga	Telapak	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	S = 3D ; h = 10 cm	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg



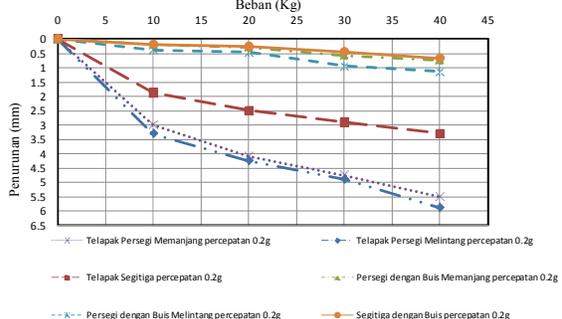
Gambar. 3. Penurunan beban statis (Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium).

Penurunan Beban Dinamis Untuk Semua Model Pondasi pada Percepatan 0,15g



Gambar. 4. Penurunan akibat pembebanan dinamis spektrum 0,15g (Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium).

Penurunan Beban Dinamis Untuk Semua Model Pondasi pada Percepatan 0,2g



Gambar. 5. Penurunan akibat pembebanan dinamis spektrum 0,2 g (Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium).

Pembebanan 40 kg untuk pondasi telapak persegi L/B = 2

B = 9 cm $C_f = 1,21$ $\nu = 0,2$
 L = 18 cm E = 2800 kN/m²

$$S_i = C_f \cdot \frac{1-\nu^2}{E} q \cdot B$$

$$S_i = 1,21 \cdot \frac{1-0,2^2}{2800} \left(\frac{0,4}{0,18 \times 0,09} \right) \cdot 0,09$$

$$= 0,00092 \text{ m} = 0,92 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan penurunan secara manual pada beban 40 kg (skala lapangan 0,4 kN) didapatkan penurunan sebesar 0,92 mm sedangkan dari hasil plaxis sebesar 0,82 mm. Dimana terdapat perbedaan sebesar 0,10 mm atau sebesar 10,87%.

Pembebanan 40 kg untuk pondasi telapak segitiga

B = L = 16,837 cm E = 2800 kN/m²
 $C_f = 1,21$ $\nu = 0,2$

$$S_i = C_f \cdot \frac{1-\nu^2}{E} q \cdot B$$

$$S_i = 1,21 \cdot \frac{1-0,2^2}{2800} \left(\frac{0,4}{0,16837 \times 0,16837} \right) \cdot 0,16837$$

$$= 0,00099 \text{ m} = 0,99 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan penurunan secara manual pada pondasi segitiga dengan beban 40 kg (skala lapangan 0,4 kN) didapatkan penurunan sebesar 0,99 mm sedangkan dari hasil plaxis sebesar 0,82 mm. Dimana terdapat perbedaan sebesar 0,17 mm atau sebesar 17,1 %.

Perbandingan hasil penurunan secara manual dan program dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6.
Kontrol Penurunan

Pondasi	Beban (kg)	Penurunan (mm)		Perbedaan Penurunan (mm)	Persentase (%)
		Plaxis	Manual		
Telapak Persegi L/B=2	10	0.26	0.23	0.03	12.81
	20	0.32	0.46	0.14	30.58
	30	0.68	0.69	0.01	1.65
	40	0.82	0.92	0.10	11.05
Telapak Segitiga	10	0.26	0.25	0.01	5.52
	20	0.32	0.49	0.17	35.06
	30	0.68	0.74	0.06	8.01
	40	0.82	0.99	0.17	16.80

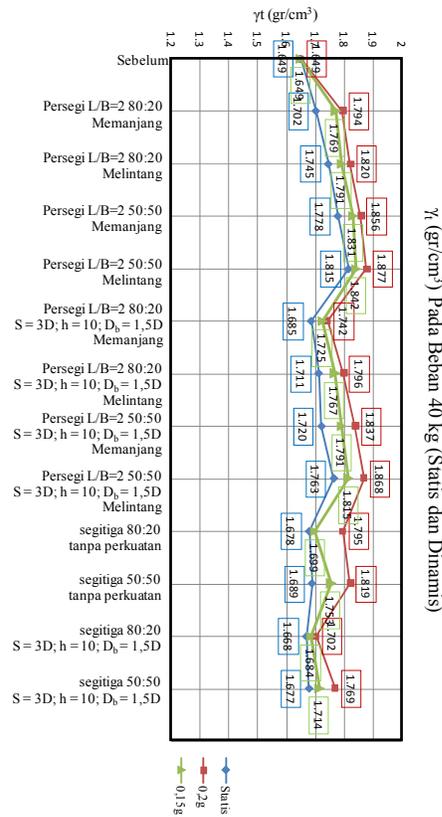
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Pondasi

E. Pengujian Parameter Fisik dan Kuat Geser Tanah

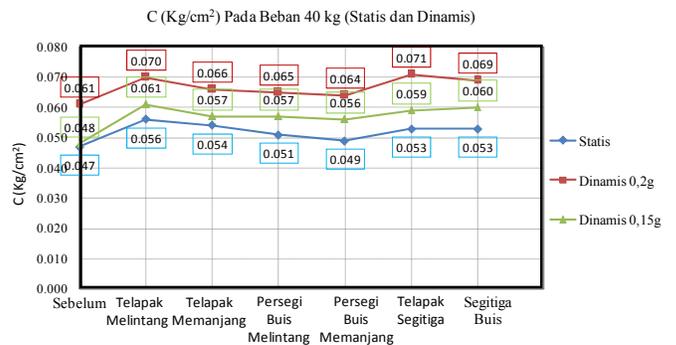
Nilai dari berat volume tanah (γ_t) pada tanah uji di setiap simulasi percobaan diambil pada saat kombinasi beban statis 40 kg dengan beban percepatan 0,15g dan 0,2g yang terdapat pada Gambar 6.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan berat volume tanah setelah diberikan beban dinamis. Sebelum di berikan beban dinamis berat volume tanah (γ_t) 1,649 gr/cm³.



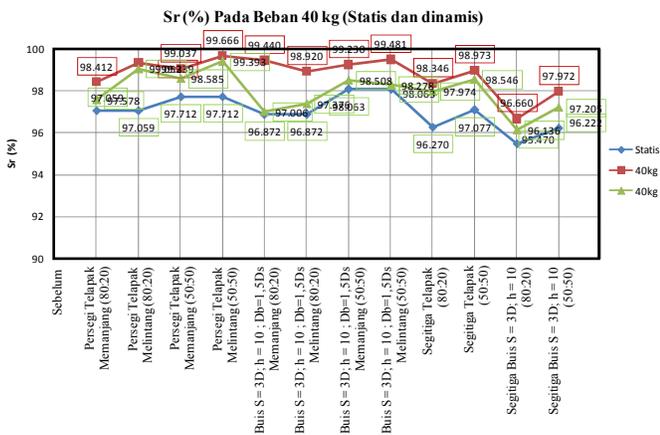
Gambar. 6. Berat volume tanah (γ_t) pada seluruh variasi pondasi telapak statis & dinamis percepatan 0,15g dan 0,2g (Sumber : Hasil Perhitungan).

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji geser langsung dan didapatkan nilai kohesi pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis sampai 40 kg. Hasil nilai kohesi pada Gambar 7 berikut:



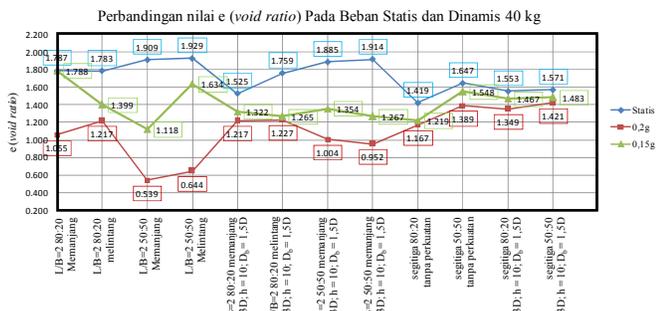
Gambar. 7. Grafik perbandingan nilai C (kg/cm²) pada seluruh variasi pondasi. (Sumber : Hasil Perhitungan).

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji volumetri pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg. Hasilnya berupa nilai Sr pada Gambar 8 berikut:



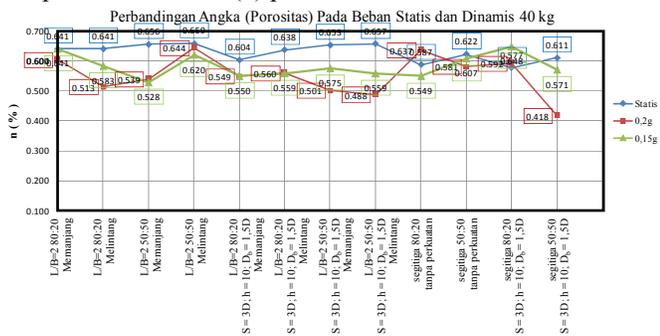
Gambar. 8. Grafik perbandingan nilai derajat kejenuhan (Sr) (%) pada seluruh variasi pondasi (Sumber : Hasil Perhitungan).

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji *Volumetri/Gravimetri* pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg. Didapat perbandingan nilai *e* (void ratio) seperti pada Gambar 9.



Gambar. 9. Grafik perbandingan nilai angka pori (e) pada seluruh variasi pondasi (Sumber : Hasil Perhitungan).

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji *volumetri/gravimetri* pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg. Hasilnya berupa nilai Porositas (n) pada Gambar 10 berikut:



Gambar. 10. Grafik perbandingan nilai porositas (n) pada seluruh variasi pondasi. (Sumber : Hasil Perhitungan).

F. Analisa Angka Keamanan

Analisa angka keamanan untuk kondisi pemodelan Tanah Uji pada Batas Cair (LL) = 78,32% dan kadar air (w_c) = 54,32% pada beban Statis adalah sebagai berikut :

- Beban (P) yang terpakai pada kondisi ini adalah = 10 kg, 20 kg dan 30 kg, 40 kg.
- Luas penampang pondasi (A) adalah L x B
- Tegangan yang terjadi berarti $Q_{terjadi} = P/A$ (kg/ cm²).

Untuk contoh perhitungan akan diambil Pembebanan (P) = 10 kg dan Q_{ult} pada Pondasi L/B = 2 polos dengan dengan ukuran L= 18 cm dan B = 9 cm.

$$Q_{terjadi} = P/(B \times L) = 10/(9 \times 18) = 0,0617 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{ult} = 0,517 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_F = Q_{ult} / Q_{terjadi} = 0,517 / 0,0617 = 8,375$$

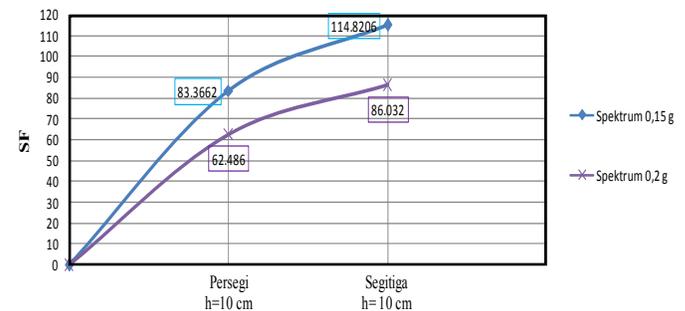
Jadi akan didapat angka keamanan sebesar 8,375 Dengan cara yang sama, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7 dan grafik angka keamanannya pada Gambar 10 :

Tabel 7.

Rekap Angka Keamanan berbagai tipe pondasi

Pondasi	Spektrum 0,15 g		Spektrum 0,2 g		SF	
	F	Hu	f	Hu	Spektrum 0,15 g	Spektrum 0,2 g
Persegi h=10 cm	0.2840	11.8380	0.3789	11.8380	83.3662	62.4861
Segitiga h=10cm	0.3093	11.8380	0.4128	11.8380	114.8206	86.0320

(Sumber: Hasil perhitungan)



Gambar. 11. Grafik angka keamanan kapasitas horisontal tiang buis beton pada percepatan 0,15g dan percepatan 0,2g.

(Sumber : Hasil Perhitungan).

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mendapatkan hasil dari tiap peninjauan yang dilakukan pada tanah Bangkalan terhadap tiap jenis pondasi. Dari hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi bentuk pondasi
Semakin luas penampang pondasi, semakin kecil penurunan yang terjadi, tak terkecuali pembandingnya mempunyai perbandingan berat yang sama atau hampir mendekati.
2. Variasi pembebanan
Penambahan buis beton pada pondasi telapak, dapat mengurangi resiko penurunan dan mendapat kestabilan yang cukup baik, saat pembebanan statis maupun dinamis.

3. Parameter Tanah

Dari hasil pengujian di laboratorium, jenis tanah lempung mempunyai nilai kohesi yang sangat rendah dengan sudut geser tinggi, namun setelah mengalami pembebanan dan percepatan gempa, nilai kohesinya bertambah, dan sudut gesernya berkurang karena tanah yang semakin padat.

4. Angka keamanan

Pada saat dilakukan pembebanan statis maupun dinamis, angka keamanan pondasi terkecil adalah pondasi telapak persegi dibanding dengan pondasi lainnya, sedangkan pondasi segitiga dengan buis beton memiliki angka keamanan optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Ir. Ria Asih A. S., M.Eng., dan Bapak Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT. selaku dosen pembimbing selama pengerjaan tugas akhir ini.

Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D, Bapak Dr. Tech. Pujo Aji, ST, MT, dan Ibu Dr. Ir. Ria Asih A. S., M. Eng. selaku dosen pengajar mata kuliah teknik penulisan ilmiah.

Para anggota Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil ITS, laboratorium Beton Teknik Sipil ITS, Laboratorium Perhubungan dan Konstruksi Jalan Teknik Sipil ITS yang telah banyak membantu dalam praktikum penelitian Tugas Akhir ini.

Kedua orang tua yang selalu mendoakan keberhasilan dan kesuksesan

Teman-teman Lintas Jalur Teknik Sipil khususnya angkatan 2010 yang telah memberikan saran-saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sodarsono, Suyono. dan Nakazawa, Kazuto. 2000, "Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi", Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta
- [2] Hardiyatmo, Hary Christady., 2010, *Teknik Fondasi I*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [3] Das, B.M., 1998, "Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] Terzhagi, Karl dan Peck, R.B. 1993 "Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] www.wikipedia.org
- [6] <http://www.scribd.com/doc/54119616/Sri-Prabandiyani-Retno-Wardani>