

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

Jaka Propika, Ifnul Manaf, Agustina Dwi Atmaji, 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— Tanah merupakan bagian penting dalam suatu konstruksi yang mempunyai fungsi menyangga konstruksi di atasnya. Salah satunya adalah tanah alluvial yang ada di Kabupaten Gresik. Tanah alluvial merupakan tanah lempung yang memiliki nilai kembang susut yang cukup tinggi, sehingga belum tentu tanah tersebut baik digunakan untuk pendukung kekuatan struktur. Tidak mengherankan apabila sering terjadi naik turunnya tanah pada pondasi bangunan rumah sederhana tiga lantai yang diakibatkan penurunan tanah. Dalam perkembangan konstruksi saat ini, kebutuhan material konstruksi semakin meningkat sehingga menghasilkan inovasi-inovasi baru teknologi konstruksi. Adanya berbagai material baru yang diambil dari limbah-limbah industri yang bisa digunakan sebagai pengganti beberapa material yang lain. Beberapa limbah industri yang masih bisa dimanfaatkan adalah *flyash*, batu putih, dan *copper slag*, yang ada di Kabupaten Gresik.

Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan tanah yang dikondisikan seperti tanah di daerah Gresik, yaitu tanah yang dibuat dari campuran pasir 66,34% bentonit 33,66% dengan nilai LL 62,43%. Pemodelan pondasi yaitu model segitiga dan persegi ($L/B = 2$) dengan/tanpa perkuatan tiang buis beton dengan beban arah vertikal sebesar 10 kg, 20kg, 30kg, 40kg.

Pondasi dengan komposisi campuran 50%:50% memiliki penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi campuran 80% *flyash*:20% semen. Luas telapak pondasi yang lebih kecil (persegi $L/B = 2$) memiliki penurunan lebih besar dibandingkan dengan luas telapak besar (segitiga). Pondasi tanpa perkuatan memiliki penurunan terbesar dari pada pondasi dengan perkuatan dan penurunan pondasi pada percepatan gempa 0,2g lebih besar dari pada 0,15g dan semakin besar volume berat tanah (γ_t), geser tanah (C), derajat kejenuhan (S_r), dan porositas (n) penurunan besar sedangkan semakin kecil angka pori (e) penurunan besar.

Kata Kunci—Beban Statis dan Beban Dinamis, *Copper slag*, *Flyash*, Kabupaten Gresik, Limbah Industri, 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 bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur bangunan bagian atas ke lapisan tanah dibagian bawah pondasi[3].

Dalam penelitian yang dilaksanakan di laboratorium, pemodelan tanah menggunakan pasir dan bentonite untuk mendapatkan jenis tanah alluvial yang ada di Kabupaten Gresik yang berbentuk 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 *montmorillonite* dengan kadar tinggi. Kebanyakan bentonit terbentuk dari perubahan kimiawi abu vulkanik. Bila berhubungan dengan air, bentonit kering mengembang lebih besar dibanding lempung kering lainnya, sedangkan bentonit jenuh menyusut lebih banyak jika dikeringkan[4]. Material limbah digunakan sebagai bahan campuran beton dan pengisinya berupa batu putih, *copper slag* dan *flyash*. 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[7]. *Flyash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batu bara[8].

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu mengetahui seberapa besar kestabilan pondasi dengan 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.

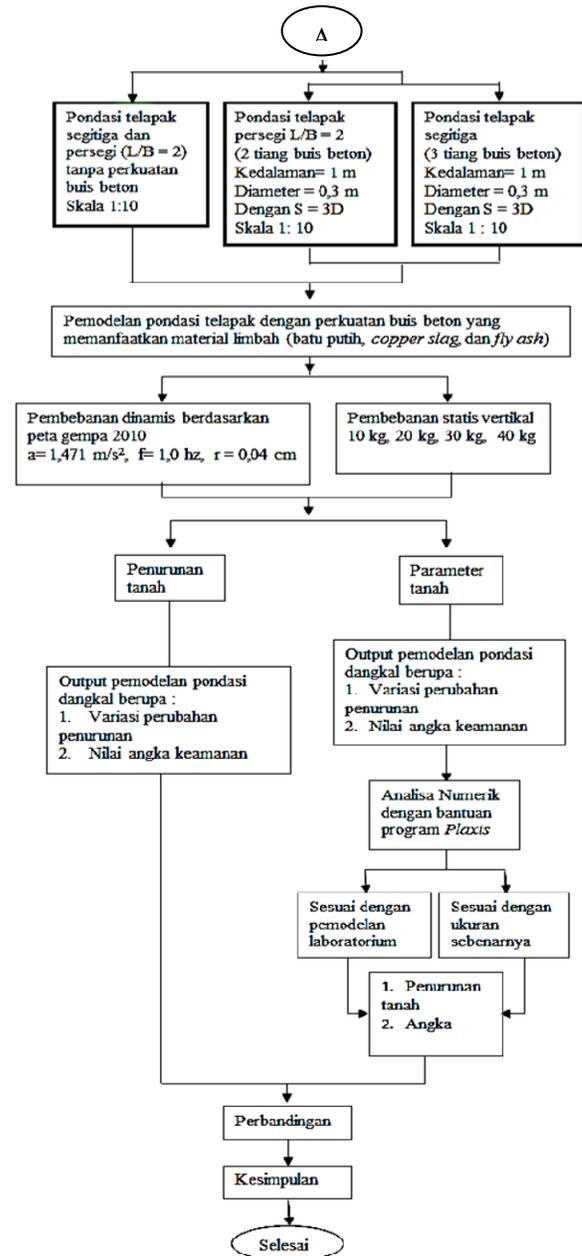
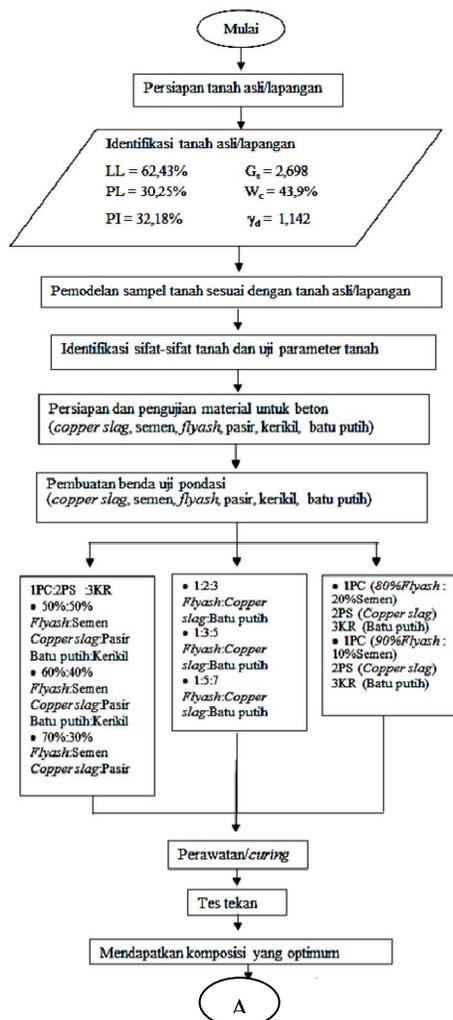
Melalui hasil analisa, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan sebagai perkuatan pada pondasi dangkal untuk bangunan rumah sederhana. Penelitian ini penting untuk dilakukan guna lebih mengetahui pengaruh perkuatan buis beton terhadap kapasitas daya dukung dari bangunan mengurangi kerusakan akibat gempa pada rumah sederhana dengan menggunakan pondasi dangkal yang diperkuat dengan buis beton.

II. METODE PENELITIAN

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, copper slag, flyash) 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 dan pondasi.

B. Metodologi



Gambar 1 Bagan Alir Detail Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Tanah

Untuk mendapatkan tanah uji dengan kondisi LL tertentu maka bentonit 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 bentonit dan pasir kemudian dilakukan pengujian *Liquid Limit* pada tanah uji tersebut Dengan Batas Cair (LL) = 62,43 % seperti kondisi tanah di Gresik, maka perbandingan Pasir:Bentonit = 66,34%:33,66%. Hasil Pengujian *Volumetri* untuk tanah Gresik didapat dari data tanah pada daerah Kel. Karang Turi Kec. Gresik, Gresik tahun 2009 dengan kadar air (w_c) = 43,9%, γ_d = 1,142 gr/cc, γ_t = 1,644 gr/cc. dan didapatkan nilai kohesi (C) sebesar 0,044 kg/cm² dan sudut geser (ϕ) sebesar 10,15°.

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 Gresik, menggunakan perbandingan, 50%:50% dengan hasil kuat tekan sebesar 5,49 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 dan kapasitas horisontal dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1 Daya dukung pondasi statis

Tegangan <i>ultimate</i>			A(cm ²)	Beban (kg)
Persegi	0,413	kg/cm ²	162	69,82
Segitiga	0,48	kg/cm ²	283,5	138,45

(Sumber : Hasil perhitungan)

Tabel 2 Daya dukung tiang pondasi

Pondasi	Jumlah tiang S=3d	Qu 3(D)	Qu Telapak	Qu Total
Persegi	2	5.37	69.82	75.19
Segitiga	3	6.83	138.45	145.28

(Sumber : Hasil perhitungan)

Tabel 3 Daya dukung pondasi dinamis

Tegangan <i>ultimate</i>			A(cm ²)	Beban (kg)
Persegi	0,00527	kg/cm ²	162	0,853
Segitiga	0,00790	kg/cm ²	283,5	2,240

(Sumber : Hasil perhitungan)

Tabel 4 Kapasitas horisontal tiang buis beton

Pondasi	Spectrum 0,15g		Spectrum 0,2g	
	F	Hu	F	Hu
Persegi	2.381	8.8	3	8.8
Segitiga	2.406	13.203	3.21	13.203

(Sumber: Hasil perhitungan)

D. Pembebanan Tanah Uji

Pondasi yang digunakan terbuat dari beton dengan campuran material limbah berupa pondasi telapak dan memberikan perkuatan tiang buis beton dengan variasi 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.

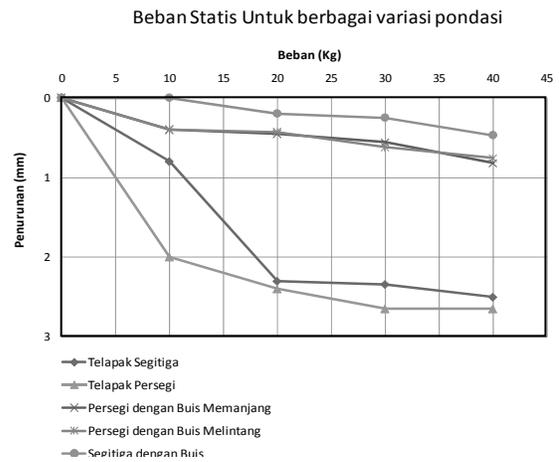
Simulasi beban dinamis di laboratorium diberikan pada zona gempa dengan spectrum 0,15-0,2g sedangkan beban statis vertikal terdapat beberapa variasi pembebanan yang berbeda-beda. Variasi beban dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Variasi beban yang diberikan pada setiap pondasi

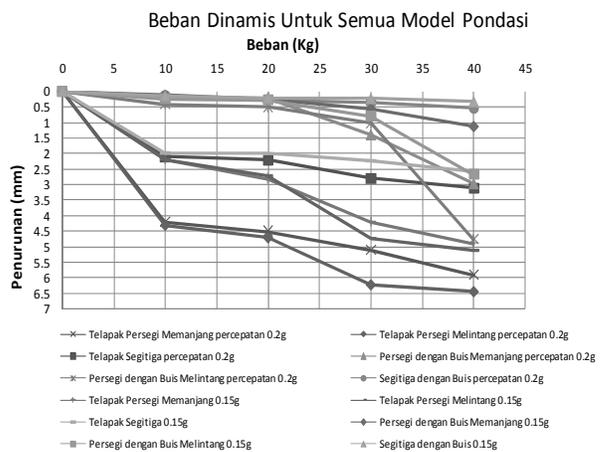
Variasi Pondasi		Spektrum 0,15 g dan 0,2 g			
Bentuk	Perletakan	1	2	3	4
Persegi	Telapak	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	Memanjang	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	S = 3D ; h = 10 cm	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	Melintang	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
Segitiga	Telapak	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg
	S = 3D ; h = 10 cm	10 kg	20 kg	30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

(Sumber : Hasil perhitungan)

Penurunan akibat beban statis dan dinamis pada penelitian di Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2 Grafik penurunan akibat beban statis (Sumber: Hasil penelitian di laboratorium)



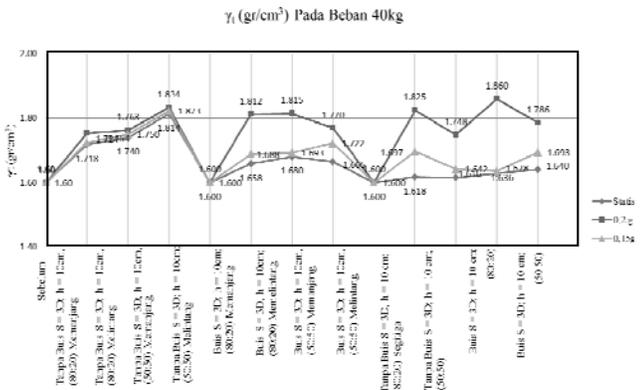
Gambar 3 Grafik penurunan akibat beban dinamis (Sumber: Hasil penelitian di laboratorium)

E. Pengujian Parameter Fisik dan Kuat Geser Tanah

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

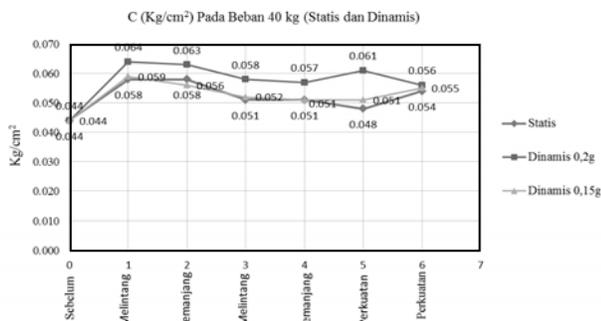
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan berat volume tanah setelah diberikan beban dinamis. Sebelum di berikan beban dinamis berat volume tanah (γ_t) 1,604 gr/

cm³. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



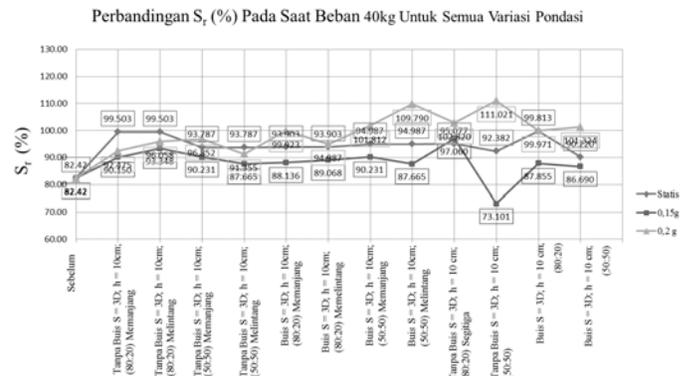
Gambar 4 Grafik perbandingan berat volume tanah pada seluruh variasi pondasi. (Sumber: Hasil perhitungan)

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji geser langsung dan didapatkan nilai kohesi pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



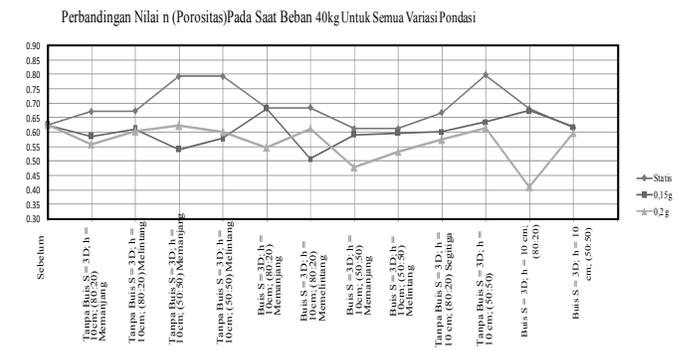
Gambar 5 Grafik perbandingan nilai kohesi dan sudut geser pada variasi pondasi. (Sumber: Hasil perhitungan)

Setelah tanah uji diberi beban statis dan dinamis 40 kg dengan bak getar kemudian tanah dibawah pondasi diambil untuk uji volumetri, derajat kejenuhan (Sr) pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg. Hasil derajat kejenuhan pada tanah uji dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 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, porositas (n) pada tanah uji setelah diberi beban kombinasi statis dan beban dinamis 40 kg yang dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 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) = 62,43% dan kadar air (w_c) = 43,9% 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.

$$Q_{\text{terjadi}} = P / (B \times L) = 10 / (9 \times 18) = 0,061 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{\text{ult}} = 0,413 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_F = Q_{\text{ult}} / Q_{\text{terjadi}} = 0,413 / 0,061 = 7$$

Jadi akan didapat angka keamanan sebesar = 7

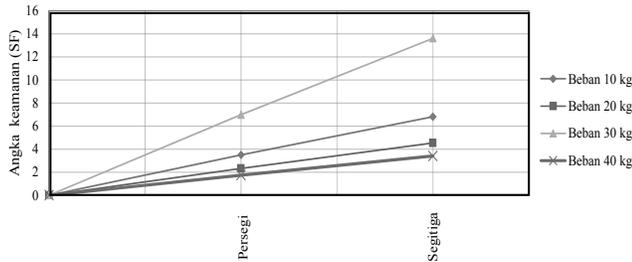
Nilai SF dengan variasi beban dan bentuk pondasi dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 8 di bawah ini.

Tabel 6 Nilai SF dengan variasi beban dan bentuk pondasi.

Variasi Pondasi	Beban (kg)			
	10	20	30	40
Persegi	7.0	3.5	2.3	1.7
Segitiga	13.6	6.8	4.5	3.4

(Sumber: Hasil perhitungan)

Angka keamanan pada variasi pondasi



Gambar 8 Grafik angka keamanan pada variasi pondasi (Sumber: Hasil perhitungan)

G. Kontrol Penurunan

Pada perhitungan penurunan secara manual dengan rumus penurunan segera (*Immediate Settlement*) dilakukan pada semua bentuk pondasi dengan pembebanan disesuaikan dengan uji laboratorium untuk membandingkan hasil penurunan uji laboratorium dan perhitungan manual.

- Pondasi Persegi dengan Pembebanan 40 kg

- B = 9 cm
- L = 18 cm
- C_f = 1,21
- E = 3000 kN/m²
- v = 0,2

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

$$S_i = 1,21 \cdot \frac{1-0,2^2}{3000} \left(\frac{0,4}{0,18 \times 0,09} \right) \cdot 0,09 = 0,000860m = 0,86 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan penurunan secara manual didapatkan penurunan pada 40 kg atau skala lapangan 0,4 kN sebesar 0,86 mm sedangkan dari hasil plaxis sebesar 0,77 mm. Dimana terdapat perbedaan sebesar 0,09 mm atau sebesar 10,46 %. Hasil perbandingan perhitungan manual dan plaxis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perbandingan perhitungan manual dan plaxis

Pondasi	Beban (kg)	Penurunan (mm)		Perbedaan Penurunan (mm)	Persentase (%)
		Plaxis	Manual		
Telapak Persegi L/B=2	10	0.25	0.22	0.03	16.22
	20	0.39	0.43	0.04	9.35
	30	0.55	0.65	0.10	14.77
	40	0.77	0.86	0.09	10.51
Telapak Segitiga	10	0.22	0.23	0.01	4.53
	20	0.35	0.46	0.11	23.90
	30	0.55	0.69	0.14	20.28
	40	0.8	0.92	0.12	13.03

(Sumber: Hasil Perhitungan)

IV. KESIMPULAN

Lokasi studi penelitian ini berada di Kabupaten Gresik dan mendapatkan hasil dari tiap peninjauan, 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suyono Sosdarsono dan Kazuto Nakazawa, *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi*, Jakarta: Penerbit Pradnya Paramita (2000).
- [2] Hary Christady Hardiyatmo, *Teknik Fondasi I*, Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama (2010).
- [3] B. M. Das, *Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jakarta: Penerbit Erlangga (1998).
- [4] Karl Terzhagi dan R. B. Peck, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Jakarta: Penerbit Erlangga (1993).
- [5] J. E. Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi*, Jakarta: Erlangga (1986).
- [6] J. E. Bowles, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah*, Jakarta: Erlangga (1991).
- [7] Wahyu Kartini, "Pengaruh Copper Slag sebagai Cementitious terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Teknik Sipil UNIKA Soegijapranata*, Vol, 6, No. 1 (2009).
- [8] Sri Prabandiyani Retno Wardani (2008, Des.). Pemanfaatan Limbah Batubara (*fly ash*) untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan [Online]. Available: http://eprints.undip.ac.id/7029/1/Sri_Prabandiyani_Retno_Wardani.pdf.