

PENGARUH VARIASI JUMLAH CERUCUK PADA FONDASI PELAT BETON BER CERUCUK

Vivi Bachtiar¹⁾ dan M. Yusuf¹⁾

Abstrak

Sebagian besar wilayah Kalimantan Barat terdiri atas tanah lunak yang kurang baik untuk pembangunan sarana fisik. Para ahli konstruksi di Kalimantan Barat telah mengembangkan sistem fondasi pelat beton bercerucuk untuk meningkatkan daya dukung tanah. Namun penggunaan cerucuk pada fondasi pelat beton masih bersifat empiris. Perhitungan kapasitas daya dukung tiang cerucuk diambil menggunakan rumus-rumus tiang pancang padahal terdapat perbedaan sifat daya dukung fondasi tiang pancang dan fondasi pelat bercerucuk. Pada fondasi tiang, daya dukung fondasi sepenuhnya merupakan kontribusi dari daya dukung selimut tiang dan/atau daya dukung ujung tiang, sementara pada fondasi pelat bercerucuk, daya dukung fondasi merupakan kontribusi dari daya dukung pelat fondasi sebagai fondasi dangkal, daya dukung selimut tiang cerucuk, dan meningkatnya kapadatan tanah fondasi akibat penetrasi sejumlah volume tiang cerucuk ke dalam tanah. Sementara ini, belum ada referensi tentang persentase kontribusi dari masing-masing komponen fondasi pelat beton bercerucuk. Karena itu, perlu dikaji lebih lanjut tentang perilaku pelat beton bercerucuk yang pemakaiannya sudah sangat luas di Pontianak. Penelitian ini meninjau perilaku beban versus penurunan pelat beton bercerucuk dengan memvariasikan jumlah tiang cerucuk berdasarkan uji pembebanan di lapangan. Selanjutnya dikembangkan program komputer untuk mensimulasikan hubungan beban versus penurunan pelat beton bercerucuk tersebut dengan input berupa geometri fondasi dan data tegangan-regangan tanah. Hasil studi ini menunjukkan bahwa berdasarkan kurva beban versus penurunan, fondasi yang diuji lebih kaku daripada hasil simulasi program komputer. Hal ini memerlukan kajian lebih lanjut tentang cara memperhitungkan pengaruh cerucuk pada pelat.

Kata-kata kunci: fondasi pelat beton, tiang cerucuk, uji pembebanan

Abstract

The most of West Kalimantan zone are soft soil that is weak for building and infrastructure. The experts in West Kalimantan have developed the 'cerucuk' foundation for strengthening of soil bearing capacity. But, the usage of 'cerucuk' within concrete slab foundation is just an empirical. The 'cerucuk' bearing capacity is analyzed by using pile foundation formulas, however, both 'cerucuk' and pile are significant different in bearing behavior. Pile foundation capacity is contributed by skin friction and/or end bearing, but the capacity of concrete slab strengthened 'cerucuk' are contributed by slab as shallow foundation, skin friction of 'cerucuk', and the compacted soil by 'cerucuk's penetration. The reference about the contributions has not presented yet. Study on slab foundation strengthened 'cerucuk' should be developed because that foundation has popular in Pontianak. This study investigates the load-settlement behavior of the foundation by loading test. Various numbers of 'cerucuk' are used. Then, the computer program is developed for simulating the load-settlement foundation. The inputs are dimension of foundation and soil stress-strain. The result of the study shows that based on the load-settlement curve the tested foundation is stiffer than by simulating program. It is need to conduct intermediate investigation for calculating 'cerucuk' effect on the slab.

Key words : concrete slab foundation, 'cerucuk' pile, loading test

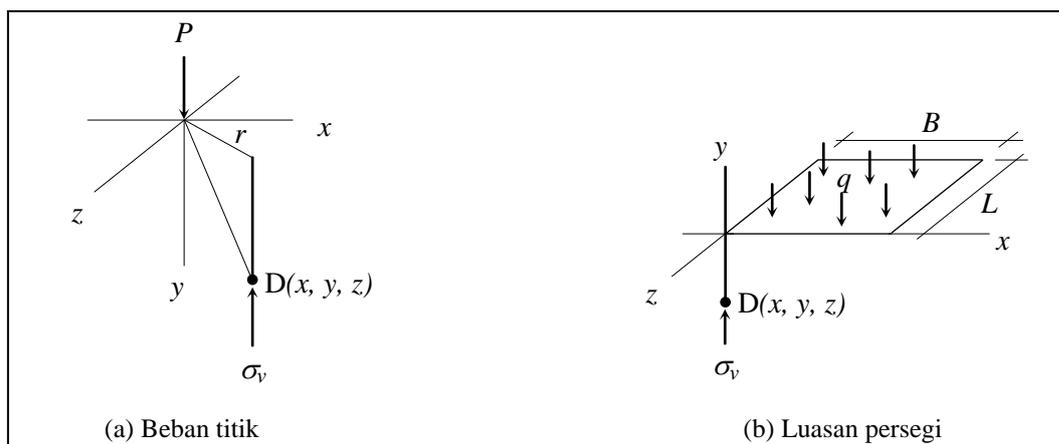
1) Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

1. PENDAHULUAN

Dari sudut pandang ketekniksipilan, tanah di Pontianak tidak menguntungkan karena sangat lunak sehingga mempunyai daya dukung yang sangat rendah. Masih sering terjadinya kegagalan fondasi bangunan di lapangan dikarenakan belum mampunya para praktisi (perencana maupun pelaksana) memperhitungkan ketidakpastian tanah. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi rendahnya daya dukung tanah di Pontianak ini adalah dengan memperingan struktur atas ataupun dengan memperkuat struktur bawah. Memperingan struktur atas (superstruktur) dilakukan dengan memperingan komponen nonstruktural, antara lain menggunakan dinding simpai ataupun pasangan bata beton berlubang (batako) dan penutup atap dari genteng metal atau seng gelombang, dan sebagainya. Memperkuat struktur bawah (substruktur) dilakukan berupa pemancangan tiang cerucuk kayu bintangur sehingga tanah pendukung menjadi lebih padat di samping mobili-

sasi kapasitas gesek tiang cerucuk tersebut, dan penggantian tanah permukaan dengan tanah urug. Akan tetapi, penggunaan cerucuk-cerucuk dari kayu sebagai perkuatan fondasi tersebut lebih didasarkan pada pengalaman di lapangan yang bersifat empiris dengan pendekatan rumus-rumus tiang pancang karena belum adanya formulasi khusus untuk fondasi pelat beton bercerucuk. Penelitian yang dilaksanakan ini merupakan usaha untuk mendapatkan metode perencanaan fondasi pelat beton bercerucuk dengan mensimulasikan perilaku mekanik fondasi tersebut dengan program komputer.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perilaku mekanik pelat beton bercerucuk akibat pembebanan statik di tanah lunak, hingga terjadi keruntuhan, baik keruntuhan pada pelat beton maupun pada tanah. Perilaku yang dimaksud adalah hubungan beban versus penurunan fondasi dengan berbagai variasi jumlah cerucuk. Perilaku mekanik hasil percobaan ini disimulasikan dengan program



Gambar 1 Pertambahan tegangan vertikal tanah

komputer yang juga dikembangkan bersamaan dengan penelitian ini.

2. TEORI PERTAMBAHAN TEGANGAN VERTIKAL TANAH

Untuk beban titik seperti pada Gambar 1(a), peningkatan tegangan vertikal σ_v di titik D menurut Boussinesq adalah

$$\sigma_v = \frac{3P}{2\pi y^2 [1 + (r/y)^2]^{5/2}} \quad (1)$$

Newmark (1935) mengembangkan peningkatan tegangan tersebut untuk tepi sudut luasan persegi, yaitu titik D pada Gambar 1(b), dengan integrasi berikut ini

$$\sigma_v = \int_{z=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q(dx dz)y^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = qI \quad (2)$$

di mana I adalah faktor pengaruh yang telah diturunkan oleh Newmark sebagai berikut

$$I = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \arctan \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right) \quad (3)$$

dengan

$$m = B/y \quad (4a)$$

$$n = L/y \quad (4b)$$

Jika $m^2 + n^2 + 1 < m^2n^2$, maka Persamaan (3) menjadi (Bowles, 1996; Das, 1999)

$$I = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \arctan \left(\pi - \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right) \right] \quad (5)$$

Untuk di tengah-tengah luasan persegi, Steinbrenner (1936) telah mengembangkan faktor pengaruh I sebagai berikut (Das, 1999):

$$I = \frac{2}{\pi} \left[\frac{mn}{\sqrt{1 + m^2 + n^2}} \times \frac{1 + m^2 + 2n^2}{(1 + n^2)(m^2 + n^2)} \right] + \arcsin \frac{m}{\sqrt{m^2 + n^2} \sqrt{1 + n^2}} \quad (6)$$

Dalam hal ini, Persamaan (4) berubah menjadi

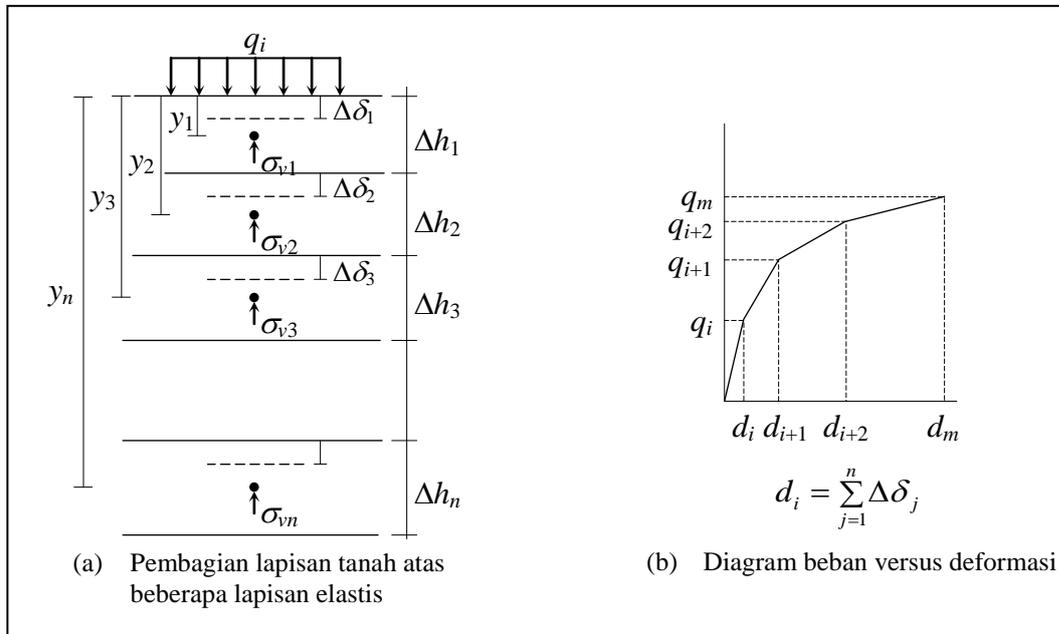
$$m = L/B \quad (7a)$$

$$n = \frac{y}{B/2} \quad (7b)$$

3. KONSEP PENGEMBANGAN PROGRAM

Prosedur numerik untuk memperoleh diagram beban versus penurunan pelat fondasi dilakukan sebagai berikut (Yusuf, 2002):

- 1) Lapisan tanah dibagi atas beberapa lapisan elastis seperti pada Gambar 2(a).



Gambar 2 Cara mendapatkan diagram beban versus deformasi tanah

- 2) Tentukan nilai tekanan tanah q_i .
- 3) Dengan menggunakan teori pertambahan tegangan, tentukan pertambahan tegangan σ_{vj} untuk lapisan ke- j .
- 4) Dengan menggunakan data tegangan-regangan tanah, tentukan regangan ϵ_j pada lapisan ke- j .
- 5) Hitung deformasi $\Delta\delta_j$ dengan rumus

$$\Delta\delta_j = \epsilon_j \Delta h_j \quad (8)$$

- 6) Ulangi langkah (3) – (5) untuk lapisan tanah berikutnya.
- 7) Hitung defleksi total tanah dengan rumus

$$d_i = \sum_{j=1}^n \Delta\delta_j \quad (9)$$

- 8) Plot nilai q_i dan d_i pada Gambar 2(b).
- 9) Ulangi langkah (2) – (8) untuk peningkatan tekanan tanah q_i berikutnya.

Untuk mendapatkan kurva hubungan beban (P) versus penurunan pelat (d) maka P dihitung sebagai berikut:

$$P_i = q_i A \quad (10)$$

di mana A adalah luas bidang pelat. Karena nilai A konstan maka bentuk tipikal kurva q versus d akan sama dengan kurva P versus d . Nilai beban P ini dikoreksi dengan suatu faktor akibat adanya cerucuk yang diperoleh dari hasil uji pembebanan.

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Bahan dan Peralatan

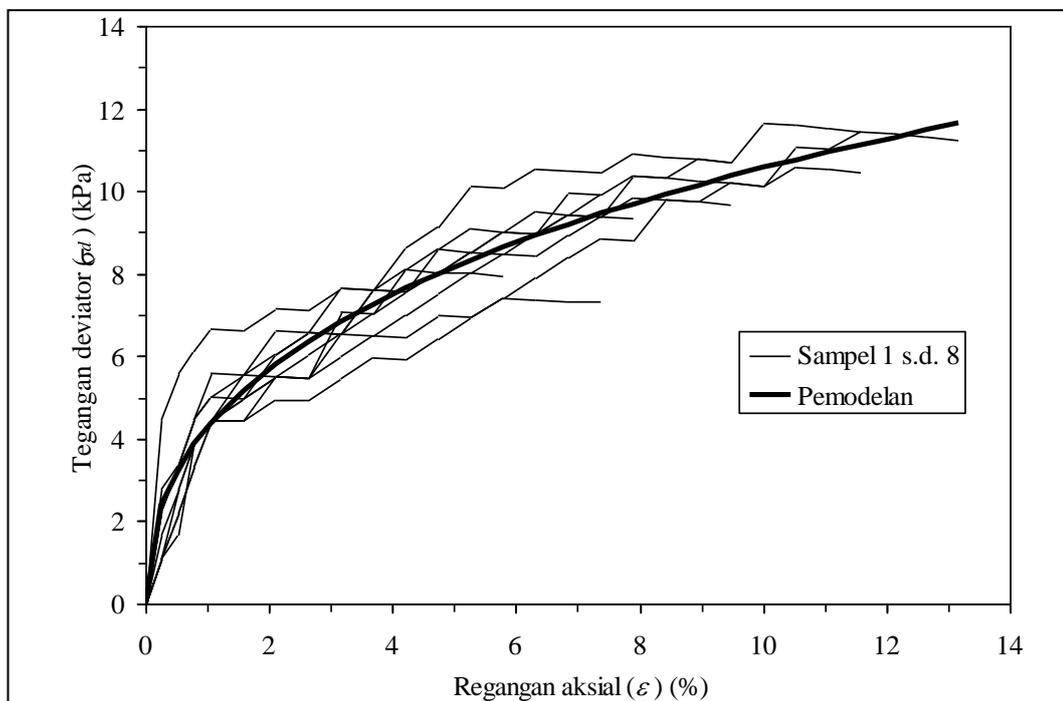
Bahan dan peralatan yang digunakan dalam studi ini adalah

- 1) Cerucuk $\varnothing 50$ mm – 3 m.
- 2) Pelat beton berukuran $500 \times 500 \times 50$ mm³.
- 3) Rangka beban.
- 4) Dongkrak hidrolis.
- 5) *Dial* pengukur perpindahan.

4.2 Prosedur Percobaan

Prosedur pelaksanaan pembebanan dilakukan sebagai berikut:

- 1) Pelat uji didiskritisasi.
- 2) Persiapkan perangkat percobaan dengan memasang balok reaksi.
- 3) Pasang dongkrak hidrolis; gunakan bantalan baja di atas dan di bawah dongkrak hidrolis dan atur jarum dial pada posisi nol; pastikan pula oli dongkrak sudah mencukupi.
- 4) Pasang arloji ukur yang mempunyai ketelitian $\leq 0,25$ mm dan atur jarum dial pada posisi nol. (*Dial gauge* yang digunakan pada penelitian ini mempunyai ketelitian 0,1 mm.)
- 5) Terapkan beban setiap kira-kira seperlima daya dukung tanah yang diperkirakan.
- 6) Catat penurunan yang terjadi.



Gambar 3 Kurva tegangan dan regangan tanah

- 7) Tandai elemen-elemen yang mengalami retak.
- 8) Ulangi dari langkah (5) hingga penurunan mencapai 25 mm, atau pelat beton hancur, atau tanah runtuh, atau kapasitas dongkrak tercapai.

beton yang digunakan adalah 20,6 MPa. Hasil pengujian sampel tanah didapat bahwa berat volume sebesar 1,396 gr/cm³, kohesi sebesar 0,0456 kg/cm², sudut geser sebesar 0,319 dan kurva tegangan dan regangan tanah seperti pada Gambar 3 (Bachtiar dkk, 2007).

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.2 Uji Pembebanan

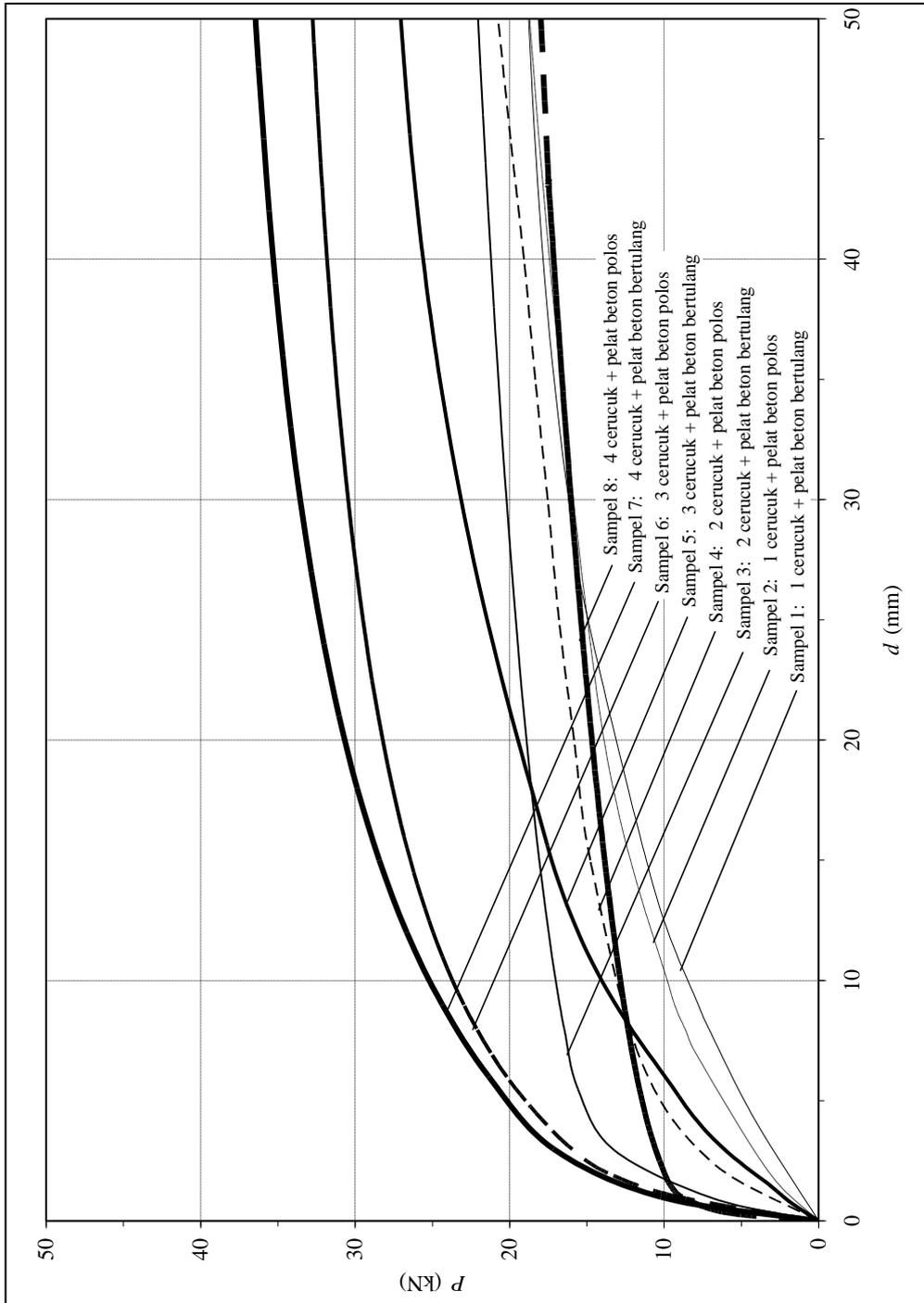
5.1 Deskripsi Material

Hasil pemeriksaan kuat tekan silinder beton diperoleh bahwa kuat tekan pelat

Sistem pembebanan dilaksanakan seperti pada Gambar 4. Setelah data hasil uji pembebanan dikompilasi, dilakukan *curve fitting* untuk mendapatkan kurva



Gambar 4 Sistem pembebanan

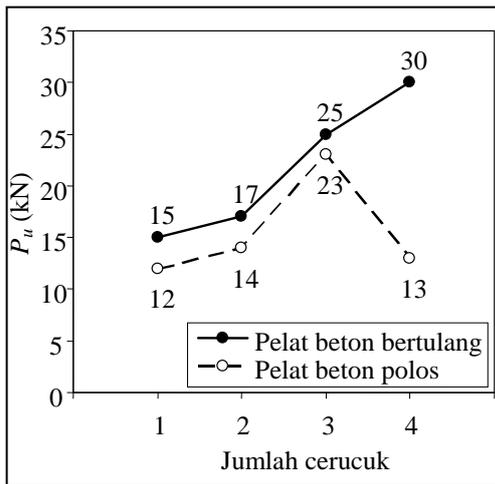


Gambar 5 Kurva beban versus penurunan hasil uji pembebanan setelah dilakukan *curve fitting*

yang mulus seperti pada Gambar 5. Berdasarkan kurva hasil *curve fitting* tersebut kemudian dihitung beban ultimit menggunakan metode perpotongan garis elastis dan garis plastis dengan hasil seperti pada Gambar 6. Digunakan metode ini karena metode interpretasi beban ultimit hasil uji pembebanan fondasi pelat beton bercerucuk secara khusus belum tersedia.

Gambar 5 memperlihatkan bahwa untuk semua variasi jumlah tiang, secara umum, fondasi pelat beton-bertulang bercerucuk lebih kaku daripada fondasi pelat beton-polos bercerucuk sebagaimana diharapkan. Demikian pula, dengan semakin banyak jumlah tiang maka semakin besar pula beban ultimitnya.

Untuk kasus pelat beton-polos dengan jumlah cerucuk empat batang, terjadi penurunan beban ultimit dikarenakan



Gambar 6 Beban ultimit fondasi pelat beton bercerucuk hasil uji pembebanan

Tabel 1 Peningkatan beban ultimit menurut jumlah cerucuk

Jumlah cerucuk	Persentase kenaikan (%)	
	Pelat beton bertulang	Pelat beton polos
1	1	1
2	13,33	16,67
3	66,67	91,67
4	100	

terjadinya pengurangan (kerusakan) tebal pelat beton yang digunakan sebagai akibat dari penetrasi kepala tiang yang terlalu dalam ke dalam pelat. Di samping itu, garis kerja gaya-gaya reaksi tiang yang tidak berimpit dengan garis kerja beban dongkrak mempercepat terjadinya keruntuhan pada pelat beton.

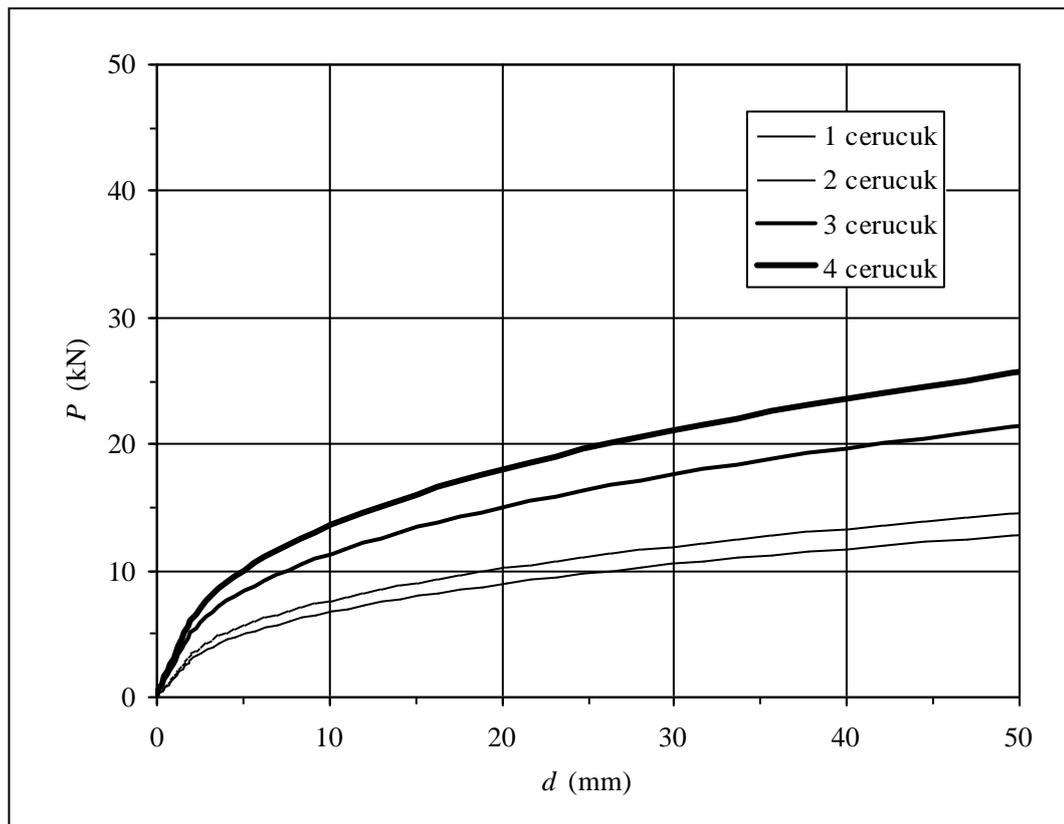
Pertambahan jumlah tiang tidak berbanding proporsional terhadap peningkatan beban ultimit seperti terlihat pada Gambar 6. Persentase peningkatan tersebut disajikan pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah tiang maka tanah yang berada dalam perimeter kelompok tiang menjadi terkekang atau semakin padat sehingga daya dukung kelompok tiang semakin besar. Perlu dikaji lebih lanjut pada penelitian berikutnya untuk mempelajari seberapa besar kontribusi kepadatan tanah yang terkekang dalam perimeter kelompok tiang tersebut dalam memberikan tambahan daya dukung pada fondasi pelat beton bercerucuk. Gambar 6 juga memperlihatkan bahwa fondasi pelat beton dengan empat cerucuk mempunyai daya dukung dua kali lebih besar daripada fondasi pelat beton dengan satu cerucuk.

5.3 Simulasi dengan Program Komputer

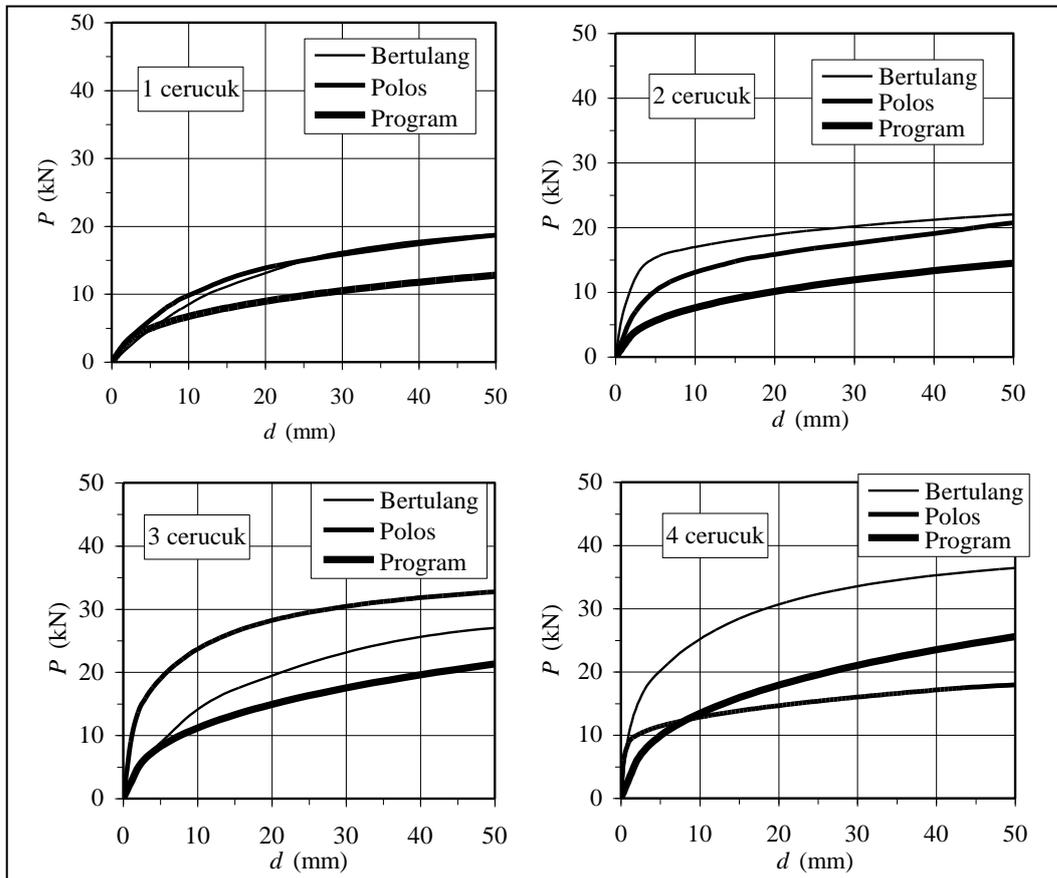
Dengan menggunakan konsep yang telah diuraikan dalam Pasal 3 maka dibuat program komputer untuk mensimulasikan kurva beban (P) versus penurunan (d). Hasil *running* program disajikan pada Gambar 7. Keempat kurva yang tergambar memperlihatkan perilaku yang sama dikarenakan nilai beban hasil perhitungan program dikoreksi dengan cara yang sama sesuai dengan jumlah

cerucuk yang digunakan. Untuk satu cerucuk, beban hasil perhitungan dikoreksi dengan faktor 1; dua cerucuk dengan faktor 1,133; tiga cerucuk dengan faktor 1,667; dan empat cerucuk dengan faktor 2 sesuai dengan Tabel 1.

Pada Gambar 8 disajikan perbandingan hubungan beban versus penurunan untuk setiap variasi jumlah cerucuk. Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa kurva beban versus penurunan hasil uji pembebanan lebih tinggi atau



Gambar 7 Kurva beban versus penurunan hasil *running* program



Gambar 8 Perbandingan kurva beban versus penurunan

lebih kaku daripada hasil simulasi program. Perbedaan tersebut dikarenakan, antara lain, kekurangtelitian alat yang digunakan baik pada dongkrak maupun pada *dial* pengukur perpindahan, kekurangsesuaian pemodelan rangka beban baik stabilitas maupun dimensi, pemodelan sampel baik pelat beton maupun tiang cerucuk, konsentrisitas beban yang diterapkan, dan heterogenitas tanah fondasi. Di samping itu, besarnya inkremental beban pada percobaan masih

terlalu besar untuk mendapatkan kurva yang lebih mulus.

Di lain pihak, pada konsep pengembangan program komputer, beban dimodelkan sentris terhadap pelat beton, tanah fondasi dianggap homogen, penentuan faktor pengaruh cerucuk yang belum sesuai, dan beban yang diterapkan dianggap sepenuhnya diterima oleh fondasi pelat. Adapun pengaruh inkremental pada program tidak signifikan.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini adalah:

- a) Kapasitas beban ultimit fondasi pelat beton bercerucuk meningkat tidak proporsional terhadap jumlah cerucuk karena ada pengaruh kepadatan tanah yang terkekang dalam perimeter kelompok cerucuk dan luasan pelat yang keduanya ikut memberikan kontribusi terhadap daya dukung.
- b) Fondasi pelat beton bercerucuk dengan empat cerucuk mempunyai daya dukung sekitar dua kali lebih besar daripada dengan satu cerucuk.
- c) Program komputer yang dikembangkan dapat mensimulasi perilaku beban versus penurunan. Akan tetapi, hasil uji pembebanan memperlihatkan bahwa fondasi yang diuji lebih kaku daripada hasil simulasi program.
- d) Kurva beban versus penurunan pelat beton bercerucuk dapat disimulasi dengan program komputer dengan data masukan berupa tegangan-regangan tanah dan geometri fondasi

6.2 Saran

Beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk studi selanjutnya adalah

- a) Percobaan dilakukan di laboratorium dalam skala yang lebih kecil agar bebas dari pengaruh cuaca.

- b) Rangka beban harus dibuat sangat kaku agar tidak terjadi defleksi vertikal ke atas pada balok penahan beban dan memperkecil kemungkinan terangkatnya rangka beban tersebut.
- c) Variasi tiang yang ditinjau perlu diperluas antara lain diameter tiang, panjang penetrasi, jenis material tiang, dll.
- d) Variasi juga perlu dibuat terhadap jenis tanah fondasi dan terhadap tanah yang berlapis.
- e) Perlu juga ditinjau pengaruh penetrasi kepala tiang ke dalam pelat.

Daftar Pustaka

- Bachtiar, Vivi, dkk. 2007. *Studi Eksperimental Skala Kecil Perilaku Fondasi Pelat Beton Bercerucuk di Tanah Lunak*. Laporan Akhir Penelitian Dosen Muda. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Bowles, Joseph E. 1996. *Foundation Analysis and Design*. 5th ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Das, Braja M. 1999. *Principles of Foundation Engineering*. 5th ed. Pacific Grove: Books/Cole Publishing Company.
- Yusuf, M. 2002. *Analisis Nonlinier Pelat Beton di Atas Fondasi Elastis Nonlinier dengan Metode Elemen Hingga*. Tesis Magister. Bandung:

JURNAL TEKNIK SIPIL UNTAN / VOLUME 8 NOMOR 1 – JUNI 2008

Pengutamaan Rekayasa Struktur
Program Pascasarjana Fakultas
Teknik Sipil dan Perencanaan ITB.