

4. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS., selaku Dosen Penguji tugas akhir.
5. Rekan-rekan yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang telah memberikan dorongan moril yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Menyadari akan keterbatasan kemampuan dalam penyusunan tugas akhir ini, untuk itu kami mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi tercapainya kesempurnaan tugas akhir ini.

Wassalaamu 'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 30 Desember 1998

Penyusun

BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Pondasi	15
3.1.1 Pengertian Umum	15
3.1.2 Macam dan Bentuk Pondasi	15
3.1.3 Kuat Dukung Tanah	16
3.2 Pondasi Cakar Ayam	17
3.3 Keseimbangan Antar Momen	18
3.3.1 Tekanan Tanah Pasif	20
3.3.2 Momen Lawan	22
3.3.3 Penjabaran Rumus Keseimbangan Antar Momen ..	22
3.4 Kuat Dukung Tanah	24
3.5 Faktor Kekakuan	26
3.6 Penulangan Pelat Pondasi Cakar Ayam	29
BAB IV METODE ANALISIS	36
4.1 Pengumpulan Data	36
4.1.1 Jenis Data	36
4.1.2 Sumber Data	36
4.2 Prosedur Analisis	36
4.2.1 Stabilitas Eksternal	37
4.2.2 Stabilitas Internal	37
BAB V ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM	39
5.1 Data yang Digunakan	39

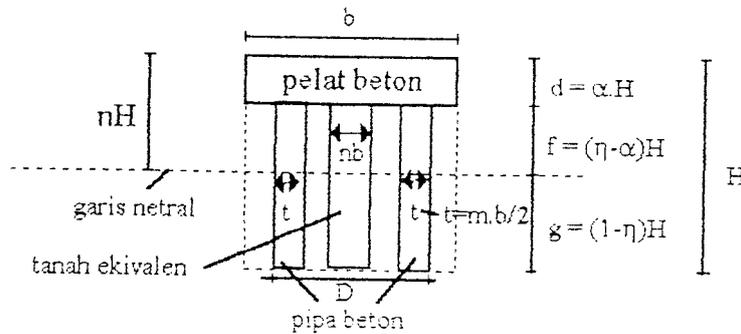
DAFTAR TABEL

1. Tabel 3.1 Faktor distribusi momen statis M_o untuk momen negatif dan positif dari bentang tepi lajur kolom	31
2. Tabel 3.2 Momen jalur kolom dalam %	32

- L = Panjang pelat
 l = Panjang pelat satu panel
 L_n = Panjang bentang bersih
 M_n = Momen nominal
 M_o = Momen statis awal
 M_u = Momen ultimit
 m = Momen lawan satu pias
 m_p = Momen lawan satu pipa
 n_1 = Jumlah pipa arah x
 n_2 = Jumlah pipa arah y
 P = Tekanan tanah pasif satu pias
 P_p = Tekanan tanah pasif satu pipa
 Q = Beban eksternal
 q = Kuat dukung tanah yang terjadi
 q_{ijin} = Kuat dukung tanah ijin
 S = Jarak antar tulangan
 SF = Faktor keamanan
 t = Tebal pipa
 W_D = Beban mati
 W_L = Beban hidup
 W_U = Beban ultimit
 ξ = Faktor kekakuan di penampang pelat
 ζ = Faktor kekakuan di penampang sumuran

2. Faktor kekakuan pada penampang II - II

Terdiri dari pelat beton, dinding sumuran beton serta tanah disekeliling dan di dalam sumuran.



Gambar 3.10 Penampang II-II
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

Untuk keadaan ini faktor kekakuan disebut ζ . Variabel yang mempengaruhi faktor kekakuan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

1. Nilai m

$$m = \frac{2 \cdot t}{b} \dots\dots\dots (3.15)$$

2. Nilai η

$$\eta = \frac{(m + n) + \{ 1 - (m + n) \} \alpha^2}{2 [(m + n) + \{ 1 - (m + n) \} \alpha]} \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan :

t = tebal pipa

3. Distribusi Lateral Momen :

Momen positif dan negatif tersebut harus didistribusikan ke arah lebar penampang. Distribusi ini tergantung pada rasio l_1/l_2 , kekakuan relatif balok dan pelat, serta besar kekangan puntir dari balok tepi. Karena dalam hal ini tidak ada balok sama sekali maka hanya l_2/l_1 yang menentukan. Distribusi lateral momen dapat di lihat pada tabel 3.2.

Selanjutnya setelah didapat momen disain pada masing-masing lajur maka untuk perhitungan penulangan pelat dipakai momen disain yang terbesar. Perhitungan penulangan pelat menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menentukan momen nominal :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots (3.22)$$

2. Menentukan nilai faktor blok tegangan beton berdasarkan mutu beton :

a. untuk $0 < f'c \leq 30$ MPa maka $\beta_1 = 0.85$ (3.23a)

b. untuk $30 < f'c \leq 55$ MPa maka $\beta_1 = 0.85 - 0.008 \cdot (f'c - 30)$ (3.23b)

c. untuk $f'c > 55$ MPa maka $\beta_1 = 0.65$ (3.23c)

3. Menentukan rasio tulangan seimbang :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{F_y} \cdot \frac{600}{600 + F_y} \dots\dots\dots (3.24)$$

4. Menentukan rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3.25)$$

5. Menentukan rasio tulangan minimum :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} \dots\dots\dots (3.26)$$

6. Menentukan tinggi blok tegangan beton :

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) = M_u / \phi \dots\dots\dots (3.27)$$

7. Menentukan luas tulangan pokok :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a}{F_y} \dots\dots\dots (3.28)$$

dengan syarat :

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot b \cdot d$$

8. Menentukan rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (3.29)$$

dengan syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

9. Menentukan luas tulangan akhir yang dibutuhkan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3.30)$$

10. Menentukan jarak antar tulangan :

$$S = \frac{A_1 \cdot \phi \cdot b}{A_s} \dots\dots\dots (3.31)$$

BAB IV

METODE ANALISIS

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam melakukan analisis adalah :

1. Data pokok yaitu data hasil penyelidikan tanah yang akan digunakan sebagai sampel data dalam perhitungan.
2. Data penunjang berupa buku-buku, majalah, koran, dan tulisan-tulisan tentang pondasi Cakar Ayam yang dapat digunakan sebagai referensi dalam analisis.

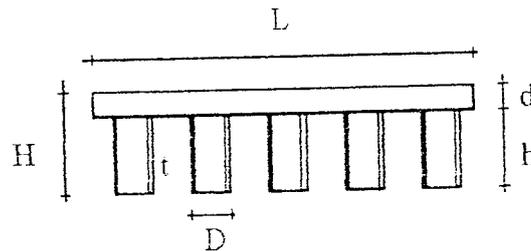
4.1.2 Sumber Data

Sumber data yang akan digunakan dalam analisis sebagai berikut :

1. Data pokok diperoleh dari laboratorium Mekanika Tanah UNDIP yang merupakan hasil penyelidikan tanah pada suatu dermaga di Semarang.
2. Data penunjang didapat dari perpustakaan UII, ITB, LIPI, dan majalah Konstruksi yang sudah banyak beredar.

4.2 Prosedur Analisis

Setelah memperoleh data kemudian dilakukan perhitungan atau analisis dengan berdasar pada teori yang tercantum pada bab III. Analisis tersebut dilakukan pada dua pokok masalah, yaitu : analisis stabilitas eksternal dan analisis stabilitas internal.

2. Menghitung beban mati (W_D)

Gambar 5.2 Tampak depan pondasi Cakar Ayam
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Dari gambar diatas maka tinggi pipa adalah :

$$h = H - d$$

dengan :

h = tinggi pipa

H = kedalaman pipa

d = tebal pelat

Menentukan beban pondasi :

$$\begin{aligned} \text{a. Berat pelat} &= L \cdot B \cdot d \cdot \gamma_b \\ &= 3600 \cdot 60 \cdot 0,20 \cdot 2400 \\ &= 103680000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Berat pipa} &= n_2 \cdot n_1 \cdot 1 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot (D^2 - (D - 2t)^2) \cdot (H - d) \cdot \gamma_b \\ &= 1440 \cdot 24 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot (1,2^2 - (1,2 - 0,2)^2) \cdot h \cdot 2400 \\ &= (28663388,7165 \cdot h) \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka beban mati total $W_D = (103680000 + 28663388,7165 \cdot h) \text{ kg}$

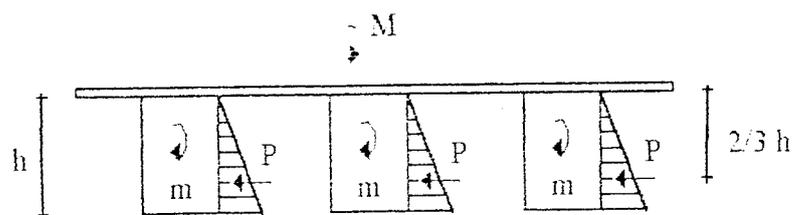
5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang dapat berpindah tempat, beban tersebut dapat bekerja penuh atau tidak ada sama sekali. Pada analisis landasan pacu (*runway*) sebagai beban hidup adalah berat pesawat. Berdasarkan tabel karakteristik pesawat terbang transport utama, berat (lepas landas) pesawat terbang jenis B-747 B adalah $W_L = 351850 \text{ kg}$ (lihat lampiran no. 6).

5.3 Menentukan Tinggi Pipa

Tinggi pipa (h) dicari dari persamaan keseimbangan antar momen. Dalam hal ini momen (M) yang terjadi akibat beban dianggap terbagi rata pada tiap pipa, sehingga tiap pipa menimbulkan momen lawan yang sama yaitu sebesar m . Momen lawan (m) tersebut ditimbulkan oleh tanah pasif (P) yang bekerja pada titik beratnya.

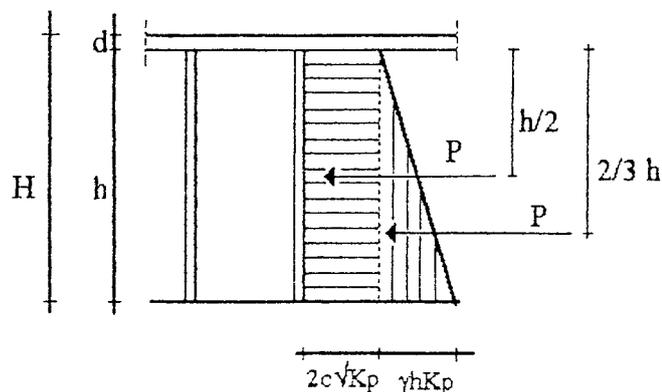
Sehingga persamaan keseimbangan yang timbul : $M = \Sigma m$ atau $\frac{Q \cdot L}{2} = \Sigma \frac{2}{3} h \cdot P$



Gambar 5.3 Diagram tekanan tanah
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

1. Tekanan tanah pasif

Untuk tanah kohesif diagram tegangan tanah yang terjadi tidak segitiga lagi melainkan trapesium. Sehingga titik tangkap tekanan tanah pasif tidak lagi di $\frac{2}{3} h$.



Gambar 5.4 Diagram tekanan tanah kohesif
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Menentukan faktor tekanan tanah pasif (K_p) :

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 (45^\circ + \theta/2) \\ &= \tan^2 (45^\circ + 8/2) \\ &= 1,323 \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan tanah pasif sebagai berikut :

Tekanan tanah pasif terlebih dahulu diperhitungkan untuk satu pias.

$$\begin{aligned} P &= 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h + 1/2 \cdot \gamma \cdot h \cdot K_p \cdot h \\ &= 2 \cdot 0,08 \cdot \sqrt{1,323} \cdot h + 1/2 \cdot 1,5786 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot 1,323 \cdot h \\ &= (0,1940 \cdot h + 1,0440 \cdot 10^{-3} \cdot h^2) \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif tersebut bekerja pada setengah keliling pipa yang berdiameter $D = 120$ cm. Dengan demikian tekanan tanah pasif yang bekerja pada satu pipa adalah :

$$\begin{aligned} P_p &= P \cdot \frac{\pi \cdot D}{2} \\ &= (0,1840 \cdot h + 1,0440 \cdot 10^{-3} \cdot h^2) \cdot \pi \cdot \frac{120}{2} \\ &= (34,6832 \cdot h + 0,1968 \cdot h^2) \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Momen lawan

Dari tekanan tanah pasif yang terjadi akan menimbulkan momen lawan, besarnya momen lawan untuk satu pias adalah :

$$\begin{aligned} m &= 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h \cdot h/2 + 1/2 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot 2/3 \cdot h \\ &= 2 \cdot 0,08 \cdot \sqrt{1,323} \cdot h \cdot h/2 + 1/2 \cdot 1,5782 \cdot 10^{-3} \cdot h^2 \cdot 1,323 \cdot 2/3 \cdot h \\ &= (0,092 \cdot h^2 + 6,960 \cdot 10^{-4} \cdot h^3) \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian momen lawan untuk satu pipa sebesar :

$$\begin{aligned} m_p &= m \cdot \frac{\pi \cdot D}{2} \\ &= (0,092 \cdot h^2 + 6,960 \cdot 10^{-4} \cdot h^3) \cdot \pi \cdot \frac{120}{2} \\ &= (17,3416 \cdot h^2 + 0,1312 \cdot h^3) \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Maka tinggi pipa dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$M = \Sigma m$$

$$\text{SF} \cdot \frac{Q \cdot n_1 \cdot a_1}{2} = n_1 \cdot n_2 \cdot \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot (0,092 \cdot h^2 + 6,960 \cdot 10^{-4} \cdot h^3)$$

$$1,5 \cdot \frac{351850 \cdot 250}{2} = 24 \cdot (17,3416 \cdot h^2 + 0,1312 \cdot h^3)$$

$$65971875 = 416,1984 \cdot h^2 + 3,1488 h^3$$

$$\rightarrow h = 237,9276 \text{ cm}$$

diambil tinggi pipa $h = 240 \text{ cm}$



Dengan demikian kedalaman pipa (H) menjadi :

$$\begin{aligned} H &= h + d \\ &= 240 + 20 = 260 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.4 Analisis Stabilitas Eksternal

5.4.1 Keseimbangan Antara Momen

Setelah didapat momen akibat tekanan tanah pasif untuk satu pipa, maka akan dibandingkan antara momen akibat beban luar dengan momen akibat tekanan tanah pasif untuk seluruh pipa, yaitu sebagai berikut :

1. Momen akibat tekanan tanah pasif untuk seluruh pipa

$$\begin{aligned} m_t &= n_1 \cdot n_2 \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot (1/3 \cdot \gamma \cdot h^3 \cdot K_p + c \cdot h^2 \cdot \sqrt{K_p}) \\ &= 1440 \cdot 24 \frac{\pi \cdot 120}{2} \cdot (1/3 \cdot 1,5782 \cdot 10^{-3} \cdot 240^3 \cdot 1,323 + 0,08 \cdot 240^2 \cdot \sqrt{1,323}) \\ &= 97204813857,4 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

2. Momen akibat beban luar (berat pesawat)

$$\begin{aligned} M &= \frac{SF \cdot Q \cdot n_1 \cdot a_1}{2} \\ &= \frac{1,5351850 \cdot 1440 \cdot 250}{2} \\ &= 94999500000 \text{ kg.cm} < m_t = 97204813857,4 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa momen akibat tekanan tanah pasif untuk seluruh pipa lebih besar daripada momen akibat beban luar.

$$4581500 \cdot a - 14875 \cdot a^2 = 81,5775 \cdot 10^6$$

$$14875 a^2 - 4581500 \cdot a + 81,5775 \cdot 10^6 = 0$$

$$\rightarrow a = 18,975 \text{ mm}$$

Luas tulangan pokok :

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a}{F_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 18,975}{400} = 1411,266 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Chek :

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot b \cdot dx$$

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot 1000 \cdot 154$$

$$1411,266 \text{ mm}^2 > 385 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

maka dipakai $A_s = 1411,266 \text{ mm}^2$

Chek :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq \rho \text{ max}$$

$$\rho = \frac{1411,266}{1000 \cdot 154} = 0,00916 < \rho \text{ max} = 0,0271 \text{ (memenuhi)}$$

Chek :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \geq \rho \text{ min}$$

$$\rho = 0,00916 > \rho \text{ min} = 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 20,8398}{400} = 1549,960 \text{ mm}^2$$

Chek :

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot b \cdot d_y$$

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot 1000 \cdot 142$$

$$1549,960 \text{ mm}^2 \geq 355 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

maka dipakai $A_s = 1549,960 \text{ mm}^2$

Chek :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq \rho \text{ max}$$

$$\rho = \frac{1549,960}{1000 \cdot 142} = 0,01092 < \rho \text{ max} = 0,0271 \text{ (memenuhi)}$$

Chek :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \geq \rho \text{ min}$$

$$\rho = 0,01092 > \rho \text{ min} = 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai luas tulangan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,01092 \cdot 1000 \cdot 142 = 1550,64 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$S = \frac{A_1 \cdot \phi 12 \cdot b}{A_s} = \frac{113,0973 \cdot 1000}{1550,64} = 72,936 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan $\phi 12 - 70 \text{ mm}$ untuk penulangan arah y.

$$\rho = 0,0164 > \rho_{\min} = 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai luas tulangan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0164 \cdot 1000 \cdot 112 = 1836,8 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$S = \frac{A_s \cdot \phi_{12} \cdot b}{A_s} = \frac{113,0973 \cdot 1000}{1836,8} = 61,573 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan $\phi 12 - 60 \text{ mm}$ untuk penulangan arah y.

2. Keseimbangan antar momen

Dari analisis diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. Momen akibat tekanan tanah pasif sebesar $9,7205 \cdot 10^{10}$ kg cm.
- b. Momen akibat beban eksternal sebesar $9,500 \cdot 10^{10}$ kg cm.

Nilai-nilai diatas menunjukkan bahwa momen yang terjadi akibat beban eksternal dapat ditahan oleh tanah dengan kekuatan tekanan tanah pasifnya. Hal ini sangat penting agar pondasi Cakar Ayam tetap stabil berdiri terutama pada pipa (sumuran).

6.1.2 Stabilitas Internal

1. Faktor Kekakuan

Hasil analisis yang didapat adalah :

- a. Faktor kekakuan di penampang sumuran sebesar 0,0541
- b. Faktor kekakuan di penampang pelat sebesar 0,000655

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa faktor kekakuan di penampang sumuran jauh lebih besar daripada faktor kekakuan di penampang pelat. Dengan demikian kekakuan di penampang sumuran sangat membantu dalam menambah kekakuan di penampang pelat.

2. Penulangan pelat

Dari analisis diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. Tulangan pada daerah tumpuan :
 - arah x, dipakai tulangan $\varnothing 12 - 80$ mm.
 - arah y, dipakai tulangan $\varnothing 12 - 70$ mm.
- b. Tulangan pada daerah lapangan :
 - arah x, dipakai tulangan $\varnothing 12 - 70$ mm.

- arah y, dipakai tulangan $\varnothing 12 - 60$ mm.

Tulangan tersebut dipasang pada pelat untuk menahan momen lentur akibat beban eksternal

6.2 Analisis Pondasi Pelat Tanpa Cakar Ayam

Berikut ini akan dicoba menganalisis pondasi pelat tanpa pipa yang hasilnya nanti akan dibandingkan dengan pondasi Cakar Ayam untuk mengetahui mana yang lebih efektif. Perbandingan hanya dibatasi untuk kuat dukungnya saja.

1. Berat sendiri pelat :

$$\begin{aligned} W_D &= V_{\text{pelat}} \cdot \gamma_{\text{beton}} \\ &= 3600 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot 2400 \\ &= 103680000 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Berat pesawat

$$W_L = 351850 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimit (Wu)} &= 1,2 \cdot W_D + 1,6 \cdot W_L \\ &= 1,2 \cdot 103680000 + 1,6 \cdot 351850 \\ &= 124978960 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit (Mu)} &= 1/2 \cdot Wu \cdot L \\ &= 1/2 \cdot 124978960 \cdot 3600 \\ &= 224962128000 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Kuat dukung yang terjadi adalah :

$$q = \frac{Wu}{B \cdot L} + \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot L^2}$$

$$q = \frac{124978960}{60.3600} + \frac{224962128000}{\frac{1}{6} \cdot 60.3600^2}$$

$$q = 2314,425 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 0,2314 \text{ kg/cm}^2$$

Dari analisis pondasi Cakar Ayam menghasilkan kuat dukung sebesar $0,0801 \text{ kg/cm}^2$.

Jadi kuat dukung pondasi Cakar Ayam lebih kecil dibanding kuat dukung pondasi pelat tanpa pipa. Berarti pondasi Cakar Ayam lebih mampu dalam mendukung beban daripada pondasi pelat tanpa pipa.

2. Untuk mendapatkan dimensi pondasi yang paling efisien, maka pada perencanaan pondasi perlu diadakan banyak variasi terhadap variabel-variabel perhitungannya.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apakah pondasi Cakar Ayam mempunyai kelebihan dibanding pondasi konvensional lain yang dapat berdiri di atas tanah lunak ditinjau dari kekuatan struktur, kemudahan pengerjaan, serta dari segi waktu dan biaya.