

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM PADA**  
**TANAH LUNAK UNTUK *RUNWAY* PELABUHAN UDARA**



**Disusun oleh :**

**M. IKHWAN FAUZAN**

**No. Mhs. : 93 310 051**

**NIRM : 930051013114120050**

**O. TAUFIQ ARIFIN**

**No. Mhs. : 93 310 095**

**NIRM : 930051013114120093**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**1998**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM PADA**  
**TANAH LUNAK UNTUK *RUNWAY* PELABUHAN UDARA**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia**  
**untuk memenuhi sebagian persyaratan**  
**memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil**

**Disusun oleh :**

**M. IKHWAN FAUZAN**

**No. Mhs. : 93 310 051**

**NIRM : 930051013114120050**

**O. TAUFIQ ARIFIN**

**No. Mhs. : 93 310 095**

**NIRM : 930051013114120093**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**1998**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM PADA**  
**TANAH LUNAK UNTUK *RUNWAY* PELABUHAN UDARA**

Disusun oleh :

**M. IKHWAN FAUZAN**

No. Mhs. : 93 310 051

NIRM : 930051013114120050

**O. TAUFIQ ARIFIN**

No. Mhs. : 93 310 095

NIRM : 930051013114120093

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. A. Halim Hasmar, MT.

Dosen Pembimbing I

Ir. Akhmad Marzuko, MT.

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 30.01.99



Tanggal : 30.1.99

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah, puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kami haturkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suritauladan bagi kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, kami menyadari sepenuhnya bahwa sejak awal hingga akhir proses penyusunan, kami mendapatkan bimbingan, pengarahan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini perkenankan kami menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. A. Halim Hasmar, MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan kepada kami selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT., selaku Dosen Pembimbing II yang penuh pengertian dalam membimbing, mengarahkan dan memberikan dorongan kepada kami selama penyusunan tugas akhir ini.

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

<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	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
<b>BAB IV METODE ANALISIS</b> .....	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
<b>BAB V ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM</b> .....	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  
 $q_{\text{ijin}}$  = 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  
 $\xi$  = Faktor kekakuan di penampang pelat  
 $\zeta$  = Faktor kekakuan di penampang sumuran



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>INTI SARI</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Analisis .....	2
1.3 Manfaat Analisis .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso .....	4
2.2 Ir. Djuanda Suraatmadja .....	8
2.3 Ir. Wiratman Wangsadinata .....	11
2.4 Ir. Sumardjo S. ....	14
2.5 Ir. S.P. Lima Salle, MSc. ....	14

5.2 Menentukan Beban yang Bekerja .....	40
5.2.1 Beban Mati .....	40
5.2.2 Beban Hidup .....	43
5.3 Menentukan Tinggi Pipa .....	43
5.4 Analisis Stabilitas Eksternal .....	46
5.4.1 Keseimbangan Antar Momen .....	46
5.4.2 Kuat Dukung Tanah .....	47
5.5 Analisis Stabilitas Internal .....	47
5.5.1 Faktor Kekakuan .....	47
5.5.2 Penulangan Pelat Pondasi Cakar Ayam .....	50
<b>BAB VI PEMBAHASAN</b> .....	<b>63</b>
6.1 Hasil Analisis Pondasi Cakar Ayam .....	63
6.1.1 Stabilitas Eksternal .....	63
6.1.2 Stabilitas Internal .....	64
6.2 Analisis Pondasi Pelat Tanpa Cakar Ayam .....	65
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>67</b>
7.1 Kesimpulan .....	67
7.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Lendutan pelat .....	7
2. Gambar 2.2a Sumuran .....	8
3. Gambar 2.2b Kurva <i>displacement</i> .....	8
4. Gambar 2.3a <i>Rigid body rotation</i> .....	10
5. Gambar 2.3b <i>Rotation</i> disertai <i>flexure</i> .....	10
6. Gambar 2.4 Jalur pelat pondasi Cakar Ayam .....	10
7. Gambar 2.5 Gaya-gaya pada pelat .....	11
8. Gambar 2.6 Gaya-gaya pada pelat .....	13
9. Gambar 2.7 Gaya-gaya pada sumuran .....	14
10. Gambar 3.1 Prinsip pondasi Cakar Ayam .....	17
11. Gambar 3.2 Keseimbangan Antar Momen .....	18
12. Gambar 3.3 Tekanan tanah lawan .....	19
13. Gambar 3.4 Diagram tekanan tanah non kohesif .....	20
14. Gambar 3.5 Diagram tekanan tanah kohesif .....	21
15. Gambar 3.6 Perletakan pipa .....	23
16. Gambar 3.7 Variabel kuat dukung tanah .....	25
17. Gambar 3.8 Tampak depan pondasi Cakar Ayam .....	26
18. Gambar 3.9 Penampang I-I .....	26
19. Gambar 3.10 Penampang II-II .....	28
20. Gambar 3.11 Pembagian panel .....	32
21. Gambar 3.12 Distribusi momen statis $M_0$ .....	33

22. Gambar 4.1 Bagan alir analisis .....	38
23. Gambar 5.1 Tata letak pipa .....	41
24. Gambar 5.2 Tampak depan pondasi Cakar Ayam .....	42
25. Gambar 5.3 Diagram tekanan tanah .....	43
26. Gambar 5.4 Diagram tekanan tanah kohesif .....	44
27. Gambar 5.5 Tampak depan pondasi Cakar Ayam .....	48
28. Gambar 5.6 Penampang I-I .....	48
29. Gambar 5.7 Penampang II-II .....	49
30. Gambar 5.8 Pembagian panel .....	51
31. Gambar 5.9 Distribusi momen akhir .....	54

## DAFTAR NOTASI

- a = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen beton
- $a_1$  = Jarak antar pipa arah x
- $a_2$  = Jarak antar pipa arah y
- $A_s$  = Luas tulangan tarik longitudinal
- B = Lebar pelat
- b = Lebar pelat satu panel
- $\beta$  = Indeks keamanan
- $\beta_1$  = Faktor blok tegangan beton
- c = Kohesi tanah
- D = Diameter luar pipa
- d = Tebal pelat beton
- $d_x$  = Tebal efektif pelat arah x
- $d_y$  = Tebal efektif pelat arah y
- $E_b$  = Modulus elastisitas beton
- $E_s$  = Modulus elastisitas baja
- $E_t$  = Modulus elastisitas tanah
- $f'_c$  = Mutu beton
- $F_y$  = Mutu baja
- H = Kedalaman pipa dari permukaan tanah
- h = Tinggi pipa
- $K_p$  = Faktor tekanan tanah pasif

- $\gamma_b$  = Berat volume beton
- $\gamma_t$  = Berat volume tanah
- $\alpha$  = Rasio tebal pelat terhadap kedalaman pipa
- $\theta$  = Sudut geser dalam tanah
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan
- $\varnothing$  = Diameter tulangan
- $\rho$  = Rasio luas tulangan terhadap luas penampang beton
- $\rho_b$  = Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang
- $\rho_{maks}$  = Rasio tulangan maksimum
- $\rho_{min}$  = Rasio tulangan minimum

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Bagan interpolasi distribusi lateral momen pelat.
2. Data tes tanah.
3. Data tes geser langsung tanah.
4. Data hasil sondir.
5. Gambar tampak pesawat.
6. Tabel karakteristik pesawat terbang transport utama.
7. Tabel ukuran-ukuran roda pendarat utama untuk pesawat terbang transport tipikal.
8. Gambar dan detail pondasi Cakar Ayam.
9. Lampiran penunjang berupa koran dan majalah.

## INTISARI

Letak geografis menyebabkan Indonesia mempunyai kondisi tanah yang unik. Keunikan tanah Indonesia membutuhkan suatu metode pondasi yang cocok. Cakar Ayam sebagai metode pondasi yang relevan dengan kondisi tanah yang relatif lunak. Metode pondasi Cakar Ayam ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Sedijatmo pada tahun 1961.

Metode pondasi Cakar Ayam pada dasarnya merupakan suatu teknik pondasi yang terdiri dari pelat dan sumuran yang menyatu secara monolit. Pada analisis menggunakan data tanah lunak yaitu kuat dukung tanah ijin sebesar  $0,25 \text{ kg/cm}^2$ , berat volume tanah sebesar  $1,5782 \text{ gr/cm}^3$  sedangkan kohesi tanah sebesar  $0,08 \text{ kg/cm}^2$  dan sudut geser dalam tanah  $8^\circ$ . Untuk struktur pondasinya digunakan tebal pelat 20 cm, tebal pipa 10 cm dengan diameter pipa 120 cm dan panjang 240 cm sedangkan jarak antar sumbu pipa 250 cm. Metode pondasi ini diaplikasikan untuk "runway" pelabuhan udara, dengan menggunakan beban pesawat B-747 B. Dari data tersebut kemudian diadakan analisis terhadap dua pokok masalah yaitu stabilitas eksternal dan stabilitas internal.

Dari hasil analisis dapat diketahui besarnya momen akibat tekanan tanah pasif sebesar  $9,7205 \cdot 10^{10} \text{ kg.cm}$  dan besarnya momen akibat beban eksternal  $9,500 \cdot 10^{10} \text{ kg.cm}$  sedangkan kuat dukung tanah sebesar  $0,0801 \text{ kg/cm}^2$ , dengan demikian tanah mampu menahan/memikul beban-beban yang ada. Untuk penulangan pelat digunakan tulangan berdiameter 12 mm.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Suatu konstruksi yang dirancang untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh pondasi. Pondasi atau struktur bawah direkayasa untuk menahan beban yang berasal dari struktur atas termasuk berat sendiri dan meneruskan beban tersebut ke dalam tanah yang terletak dibawahnya.

Dalam menahan beban dari struktur di atasnya, tanah dapat dibedakan sebagai berikut : tanah baik bila tanah tersebut mempunyai kuat dukung tinggi dan penurunan yang terjadi relatif kecil sedangkan tanah jelek yaitu tanah yang sangat pampat dengan kuat dukung rendah serta penurunan besar, sehingga timbul usaha-usaha untuk memperbaiki kemampuan kuat dukung tanah serta menentukan jenis pondasi yang cocok untuk tanah tersebut. Usaha-usaha tersebut dilakukan dengan cara perbaikan tanah jelek apabila tebal lapisan tanah jelek dangkal, namun apabila lapisan tanah jelek cukup dalam dapat dilakukan perbaikan dengan cara stabilisasi kimiawi (sementasi), diabilitas mekanis dengan cara percepatan konsolidasi dan modifikasi tipe pondasi.

Ada beberapa modifikasi tipe pondasi yang kita ketahui, salah satunya adalah pondasi Cakar Ayam. Metode pondasi ini diciptakan dalam rangka mengatasi permasalahan pada kuat dukung tanah yang sangat rendah, yang mempunyai tebal cukup dalam serta luas permukaan yang dibutuhkan cukup besar seperti pada proyek

pembuatan landasan pesawat terbang. Bila proyek ini menggunakan metode pondasi konvensional akan banyak memakan waktu dan biaya.

Pondasi Cakar Ayam adalah modifikasi dari suatu sistem pondasi pelat yang diperkuat dengan pipa secara monolit yang ditancapkan ke dalam tanah. Prinsip dasar pondasi Cakar Ayam adalah memanfaatkan tekanan tanah pasif dengan adanya pipa-pipa tersebut. Sehingga pipa di bawah pondasi tidak dimaksudkan sebagai penyangga pelat, akan tetapi untuk menambah kekakuan dari pelat dengan kata lain pipa seakan akan menggantung pada pelat karena pipa tidak mencapai tanah keras.

Berdasarkan kondisi tanah di negara kita banyak tanah lembek/lunak yang terdiri dari rawa-rawa, maka penulis merasa perlu untuk menganalisis lebih jauh apakah sistem pondasi Cakar Ayam cocok untuk jenis tanah tersebut dan lebih efektif dibanding dengan sistem konvensional.

## 1.2 Tujuan Analisis

Tujuan dari penulisan tugas akhir adalah :

1. Untuk memperkenalkan salah satu macam pondasi yang dapat berdiri di atas tanah lunak yaitu pondasi Cakar Ayam.
2. Menganalisis pondasi Cakar Ayam untuk landasan pesawat terbang dengan data tanah lunak yang telah ditetapkan.
3. Untuk mengetahui keefektifan dari penggunaan pondasi Cakar Ayam dibanding dengan pondasi pelat tanpa Cakar Ayam.

### 1.3 Manfaat Analisis

Manfaat yang bisa diperoleh sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran tentang metode pondasi Cakar Ayam.
2. Memberikan tambahan ilmu dan wawasan baru bagi mahasiswa yang ingin mendalami bidang perancangan pondasi dengan metode pondasi Cakar Ayam.
3. Memberikan alternatif lain pada perancangan landasan pesawat terbang dengan menggunakan metode pondasi Cakar Ayam.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang diambil sebagai berikut :

1. Analisis pondasi Cakar Ayam dikaitkan dengan perancangan landasan pesawat terbang.
2. Pondasi tersebut dirancang pada jenis tanah lunak yang berlokasi di Semarang.
3. Analisis pembebanan menggunakan metode beban statis.
4. Beban terpusat bekerja diantara empat pipa.
5. Beban gempa dan gaya lateral lainnya tidak diperhitungkan.
6. Pondasi yang dianalisis adalah pondasi Cakar Ayam dengan komponen-komponen struktur pondasi yang telah ditentukan.
7. Pelat pondasi dianggap sangat kaku sehingga lendutan dapat diabaikan.
8. Karakteristik pesawat terbang yang digunakan adalah jenis pesawat B-747 B.
9. Metode perancangan yang digunakan yaitu metode FAA untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*).

## BAB II

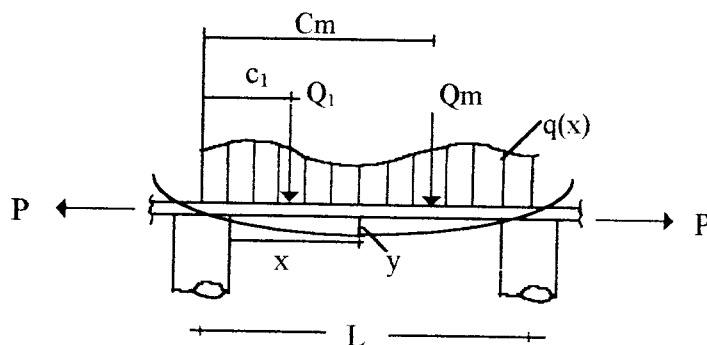
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso

Dalam pembahasannya beliau meninjau perilaku struktur pondasi Cakar Ayam menjadi dua bagian yaitu :

##### 1. Pelat

Pelat ditinjau sebagai struktur jalur dibebani dengan muatan  $q$ , beban terpusat  $Q$  dan gaya horisontal  $P$ , yang berasal dari tekanan lateral terhadap pipa yang ditimbulkan oleh tanah yang mengelilinginya. Dianggap bahwa tanah dibawah pelat tidak memberikan reaksi vertikal.



Gambar 2.1 Lendutan pelat  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

Lendutan  $y$  dapat didekati dengan deret Fourier sebagai berikut :

$$Y = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi}{L} x\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{L}$$

Bila :

- Kedua perletakan merupakan sendi maka koefisien  $a_n = 0$ .
- Kedua perletakan merupakan jepitan sempurna maka koefisien  $b_n = 0$ .
- Kedua perletakan pelat merupakan *rotational restraint* maka koefisien  $a_n$  dan  $b_n \neq 0$ .

Dengan energi deformasi (*strain energy*) dihitung  $a_n$  dan  $b_n$  sebagai berikut :

$$a_n = \frac{\int_0^L q(x) \left(1 - \cos \frac{2n\pi x}{L}\right) dx + Ql \left\{1 - \cos \left(\frac{2n}{L} Cl\right)\right\} + \dots}{\left(8 \frac{\pi^4 EI}{L^3}\right) n^4 + \left(\frac{2\pi^2 P}{L}\right) n^2}$$

$$b_n = \frac{\int_0^L q(x) \sin \left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx + Ql \sin \left(\frac{n\pi}{L} Cl\right) + \dots}{\left(\frac{\pi^4 EI}{2L^3}\right) n^4 + \left(\frac{2\pi^2 P}{L}\right) n^2}$$

Kesimpulan penting dalam hal ini adalah bahwa gaya aksial  $P$  mereduksi besarnya

defleksi pelat karena memperkecil koefisien  $a_n$  dengan faktor :  $\left( \frac{1}{1 + \frac{PL^2}{4n^2 \pi^2 EI}} \right)$  dan

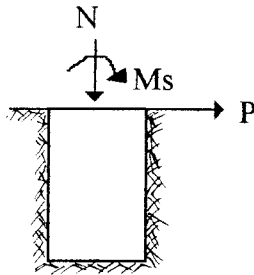
memperkecil koefisien  $b_n$  dengan faktor :  $\left( \frac{1}{1 + \frac{PL^2}{n^2 \pi^2 EI}} \right)$

## 2. Sumuran/pipa

Momen inersia penampang pipa jauh lebih besar dari momen inersia penampang pelat, sehingga pelat akan mengalami *rotational restraint* yang besar di tumpuan pipa.

Jika perbandingan dimensi serta kekakuan pelat dan pipa memenuhi syarat tertentu, maka pelat dapat dianggap terjepit pada pipa.

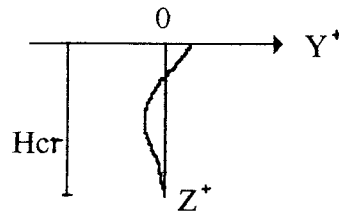
Tinjauan sumuran yang mendapat beban  $N$ ,  $P$  dan  $M_s$  sebagai berikut :



Gambar 2.2.a

Sumuran

(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)



Gambar 2.2.b

Kurva *displacement*

Akibat pembebanan tersebut, tanah akan bereaksi dan terjadi deformasi pada sumuran dengan persamaan differensial sebagai berikut :

$$EI \frac{d^4 Y}{dz^4} = -qh$$

$$qh = Kh \cdot y$$

dengan :

$Kh =$  *horizontal spring coefficient* tanah

$Y =$  *horizontal displacement* sumuran.

- Bila kedalaman sumuran  $H > H_{cr}$  maka sumuran di bagian bawah dengan  $Z > H_{cr}$  tidak mengalami momen lentur. Dengan demikian bagian bawah itu tetap lurus dan berdiri tegak/vertikal. Dasar sumuran tetap horizontal dan mengalami tegangan tanah vertikal yang merata sebagai akibat pembebanan pada sumuran.

Bagian atas sumuran ( $Z < H_{cr}$ ) mengalami momen lentur sehingga terjadi *flexural displacement*. Karena faktor kekakuan lentur  $EI$  sumuran besar dan pembebanan di puncak sumuran lebih kecil dari kekuatan batas, maka *flexural displacement* kecil. Dengan demikian berarti rotasi slope pada *deflection* pelat diatas sumuran dan perubahan jarak antara kedua perletakan pelat juga kecil.

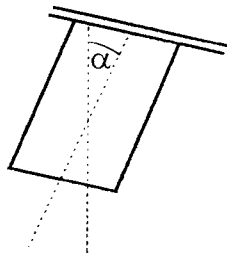
- Bila kedalaman sumuran  $H < H_{cr}$  maka :

- $Y(H) \neq 0$

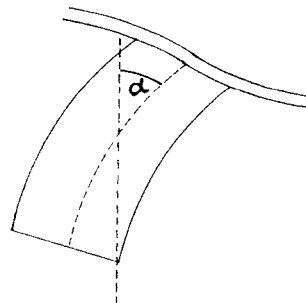
- $\int_0^H qh(H-Z) dz \neq 0$  dan harus diimbangi oleh momen yang dihasilkan oleh

tegangan tanah di dasar sumuran yang berbentuk trapesium atau segitiga (*non uniform* atau ada *stress gradient*).

Dengan demikian sumuran yang akan mengalami rotasi (dengan sudut  $\alpha$ ) yang hampir merupakan *rigid body rotation* mengingat kekakuan lentur yang besar.



Gambar 2.3.a  
*Rigid body rotation*



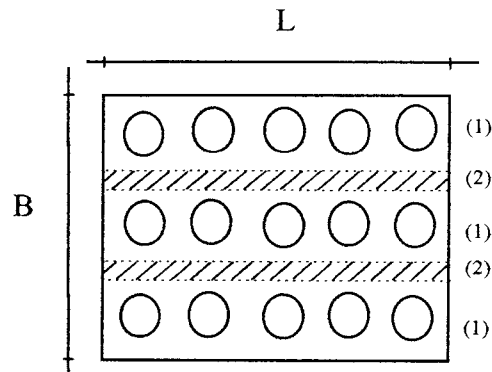
Gambar 2.3.b  
*Rotation disertai flexure*

(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

Dengan demikian, *displacement*  $y(0)$  dan rotasi  $Y'(0)$  di puncak sumuran akan lebih besar daripada keadaan dimana  $H > H_{cr}$ .

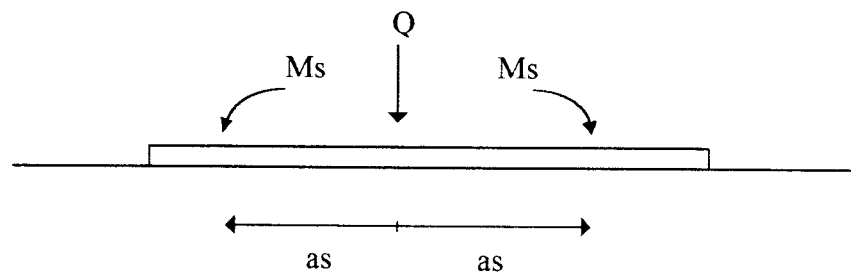
## 2.2 Ir. Djuanda Suraatmadja

Beliau mencoba meninjau jalur pelat Cakar Ayam yang tidak dilalui oleh sumuran, yaitu jalur (2)



Gambar 2.4 Jalur pelat pondasi Cakar Ayam  
(sumber : Ir. Djuanda Suraatmadja, 1982)

Pipa yang menimbulkan momen lawan, akan memberikan sumbangan momen sebesar  $M_s$  pada jalur pelat yang ditinjau.



Gambar 2.5 Gaya-gaya pada pelat  
(sumber : Ir. Djuanda Suraatmadja, 1982)

$$b^4 = \frac{k}{4.EI}$$



Dianggap bahwa EI balok tetap, berada diatas landasan elastis yang dibebani oleh beban terbagi rata q.

Analisa yang digunakan berdasarkan pada hipotesa Winkler. Dalam teori tersebut dianggap adanya ketergantungan linier antara tekanan kontak dan lendutan balok.

Setelah meninjau beban Q, beban momen dan beban q, maka dari kombinasi beban ini diperoleh persamaan-persamaan garis elastis, kemiringan lendutan, momen lendutan dan gaya lintang untuk bagian sebelah kanan dari Q, sebagai berikut :

$$y = \frac{Q \cdot b}{2 \cdot k} F_1 - \frac{2 \cdot Ms}{k} \cdot b^2 \cdot F_2 \cdot b \cdot (x - as) + \frac{q}{k}$$

$$y' = -\frac{Q \cdot b^2}{k} \cdot F_2 - \frac{2 \cdot Ms}{k} b^3 \cdot F_3 \cdot b \cdot (x - as)$$

$$Mx = \frac{Q}{4 \cdot b} \cdot F_3 - Ms \cdot F_4 \cdot b \cdot (x - as)$$

$$Lx = -\frac{Q}{2} \cdot F_4 + Ms \cdot b \cdot F_1 \cdot b \cdot (x - as)$$

Dari sini terlihat bahwa pengaruh Ms terhadap lendutan, kemiringan lendutan, momen lentur, dan gaya lintang akibat Q dan q tergantung kepada jarak as (dapat memperkecil, memperbesar, atau tidak berpengaruh).

Akibat beban Q dan Ms ternyata tempat lendutan sama dengan nol (0), tidak tergantung kepada besarnya gaya Q ataupun momen Ms, melainkan tergantung kepada momen inersia balok (I) dan modulus reaksi landasan (K). Demikian pula tempat kemiringan lendutan sama dengan nol, momen lentur sama dengan nol, dan gaya lintang sama dengan nol hanya tergantung kepada momen inersia balok dan modulus reaksi landasan.

$M_s$  akan terjadi atau tidak, tergantung kepada jarak as, diameter sumuran, kedalaman sumuran, dan modulus reaksi landasan horisontal.

Modulus landasan vertikal dapat ditentukan dengan percobaan pembebanan pelat atau dihitung dari modulus kemampatan yaitu :

$$K = \frac{E_s}{Bf}$$

dengan :

$B$  = lebar balok

$f$  = koefisien yang tergantung kepada tebal lapisan yang dapat berubah bentuk

Modulus reaksi landasan horisontal dapat ditentukan dengan percobaan pressiometer didalam lubang bor atau percobaan pembebanan horisontal pelat.

Untuk perhitungan prarencana dapat dipakai harga yang dikemukakan oleh Terzaghi dan Broms yaitu :

$$K_h = K_u \cdot \frac{x}{L}$$

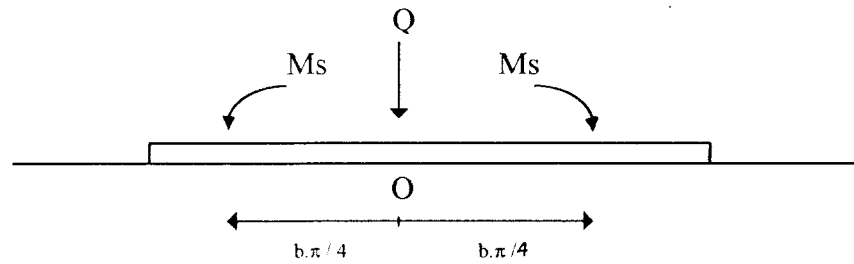
$$K_u = a \cdot \frac{L}{B}$$

dengan :

$B$  = lebar elemen yang tertanam

$a$  = nilai yang tergantung dari kepadatan relatif tanah

Dari hubungan antara  $Q$  dengan  $M_s$  dimana  $q$  sementara diabaikan, terlihat bahwa perencanaan tidak dapat hanya berdasarkan pada keadaan di titik tangkap beban saja (titik O). Hal ini disebabkan karena dapat terjadi bahwa syarat perencanaan itu dapat terpenuhi di titik O, tetapi tidak terpenuhi di titik lainnya.

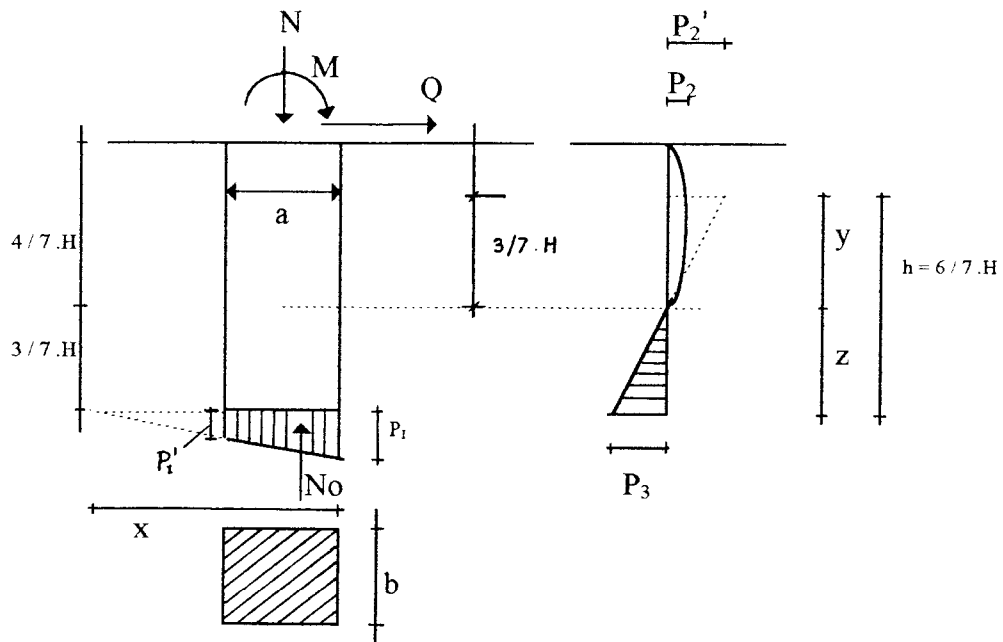


Gambar 2.6 Gaya-gaya pada pelat  
(sumber : Ir. Djuanda Suraatmadja, 1982)

Sebagaimana telah diterangkan dimuka, jalur pelat yang ditinjau oleh Ir. Djuanda ini adalah jalur pelat yang tidak dilewati oleh sumuran. Hal ini disebabkan karena jalur pelat yang melalui sumuran, keluwesan garis elastis akan terganggu, lebih-lebih bila perbandingan jarak sumuran dengan diameter sumuran kecil.

### 2.3 Ir. Wiratman Wangsadinata

Dalam tulisannya “Blok Pondasi Dangkal yang Memikul ke Samping”, beliau tidak menyinggung tentang pondasi Cakar Ayam. Hanya saja untuk blok pondasi dangkal yang menerima momen yang besar akan dilawan oleh tekanan pasif. Hal ini ada persamaannya dengan teori pondasi Cakar Ayam, walaupun pada blok pondasi hanya ditinjau satu blok atau sumuran saja. Keadaan blok pondasi yang memikul momen, gaya normal, dan gaya horisontal adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Gaya-gaya pada sumuran  
(sumber : Ir. Wiratman Wangsadinata, 1982)

Anggapan dalam perhitungan adalah :

1. Titik putar dianggap tetap letaknya yaitu pada jarak sekitar 3/7 dari dasar pondasi.
2. Blok tegangan parabola di belakang blok pondasi dalam perhitungan dianggap dapat diganti dengan suatu blok tegangan tanah segitiga ekuivalen.
3. Semua tegangan tanah akibat perputaran blok pondasi dianggap linier dan dianggap bahwa tegangan tanah tersebut sebanding dengan jaraknya ke titik putar.

Dari penurunan yang dilakukan didapat :

$$P_2 = \frac{9}{16} \cdot P_2' = 0.562 \cdot P_2'$$

$$\frac{P_1}{x} = \frac{P_2}{y} = \frac{P_3}{Z}$$

$$P_1' = \left(1 - \frac{a}{x}\right) \cdot P_1$$

Syarat yang harus dipenuhi adalah :

$$P_1 \leq P_{ijin}$$

$$P_2 \leq Kp \cdot \gamma_t \cdot \frac{2}{7} \cdot H$$

$$P_3 \leq Kp \cdot \gamma_t \cdot H$$

dengan :

$Kp$  = koefisien tekanan pasif

$\gamma_t$  = berat isi tanah

Bila  $N_0 = N$  + berat pondasi maka:

$$P_1' = P_{vr} \cdot C_1$$

$$P_2 = P_{vr} \cdot \frac{h}{a} \cdot C_2 + 0.562 \cdot Phr$$

$$P_3 = P_{vr} \cdot \frac{h}{a} \cdot C_3 - Phr$$

$$P_{vr} = \frac{N_0}{a \cdot b}$$

$$Phr = \frac{Q}{b \cdot h}$$

untuk pondasi sumuran :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot a^2}{\pi}} = 1,128 \cdot a$$

$$a = 0.886 \cdot d$$

dengan :

$d$  = diameter sumuran

$a$  = sisi penampang bujur sangkar blok pondasi prismatis

#### **2.4 Ir. Sumardjo S.**

Ir. Sumardjo menekankan bahwa pondasi Cakar Ayam adalah kaku sehingga momen yang timbul dipelat dilawan oleh momen yang ada pada pipa-pipa. Juga diuraikan bahwa kuat dukung tanah akan bertambah karena dengan adanya pipa, kedalaman pondasi menjadi sedalam pipa.

#### **2.5 Ir. S.P. Lima Salle, MSc.**

Pada tulisan “Komentar Terhadap Sistem Cakar Ayam”, beliau menekankan bahwa pendapat tidak adanya momen di pelat perlu ditinjau kembali.

Selain itu beban  $Q$  yang menimbulkan tekanan tanah lawan sebesar  $q$  dan bila beban menjadi  $2Q$ , tekanan tanah lawan tetap sebesar  $q$ , hanya saja luas distribusinya lebih besar, perlu dibuktikan kebenarannya.

Pada tulisannya “*Analysis of Cakar Ayam Foundation*” bersama dengan Ir. Eddie Chen, dicoba meninjau persoalan interaksi tanah dengan struktur dengan menggunakan FEM (*finite element method*). Dicoba model tertentu untuk beban tertentu dan dilihat apa yang terjadi terhadap penurunan dan momen pada pelat.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Pondasi**

##### **3.1.1 Pengertian Umum**

Pondasi adalah bagian tertentu dari sistem rekayasa komponen-komponen pendukung beban yang mempunyai bidang antara (*interface*) terhadap tanah. Pondasi bisa juga dilukiskan sebagai suatu sistem rekayasa yang menahan dan meneruskan beban bangunan termasuk beratnya sendiri ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya.

##### **3.1.2 Macam dan Bentuk Pondasi**

Macam-macam pondasi sebagai berikut :

###### **1. Pondasi dangkal**

yaitu pondasi yang mendukung bebannya secara langsung. Kedalaman pondasi pada umumnya adalah  $Df/B \leq 1$ .

Bentuk-bentuk pondasi dangkal :

###### **a. Pondasi telapak**

adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.

###### **b. Pondasi memanjang**

adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat.

c. Pondasi rakit

adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya.

2. Pondasi dalam

yaitu pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan. Kedalaman pondasi pada umumnya adalah  $D_f/B \geq 4$ .

Bentuk-bentuk pondasi dalam :

a. Pondasi sumuran

Merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah keras terletak pada kedalaman yang relatif dalam.

b. Pondasi tiang

Digunakan bila tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Bedanya dengan pondasi sumuran adalah pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang.

Pondasi Cakar Ayam yang akan kita bahas pada tulisan ini adalah gabungan antara pelat dan sumuran yang menyatu secara monolit.

### 3.1.3 Kuat Dukung Tanah

Kuat dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat diberikan oleh tanah disepanjang bidang geser, atau kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur di atasnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat dukung diantaranya :

1. Faktor bentuk pondasi



Adanya berbagai macam bentuk pondasi, material penyusun pondasi dan luas tampang pondasi akan berpengaruh pada kuat dukungnya.

## 2. Faktor air tanah

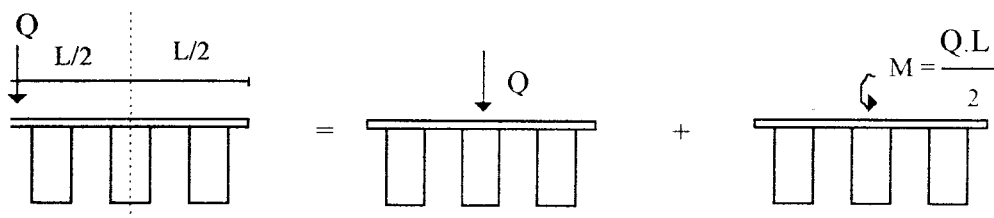
Berat volume tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air dan kedudukan air tanah.

Oleh karena itu, hal tersebut berpengaruh pula pada kuat dukungnya.

## 3.2 Pondasi Cakar Ayam

Pondasi Cakar Ayam adalah pondasi pelat yang diperkaku dengan pipa (sumuran) secara monolit yang diterapkan pada tanah lunak. Prinsip dasar pondasi Cakar Ayam adalah memanfaatkan tekanan tanah pasif dengan adanya pipa-pipa tersebut. Pelat ditambah pipa kira-kira sama dengan pelat yang dipertebal, dengan demikian pipa dibawah pelat tidak dimaksudkan sebagai penyangga, tetapi untuk menambah kekakuan dari pelat. Sehingga dapat dikatakan pipa seakan-akan menggantung pada pelat karena pipa tidak mencapai tanah keras. Oleh karena itu bila pondasi ini diterapkan pada tanah keras maka prinsip-prinsip pondasi Cakar Ayam sudah berubah, sebab pipa-pipa tersebut bukan bekerja sebagai pengaku pelat melainkan akan berfungsi sebagai penyangga (*supporters*) pelat.

Secara garis besar pondasi Cakar Ayam dapat dijabarkan sebagai berikut :

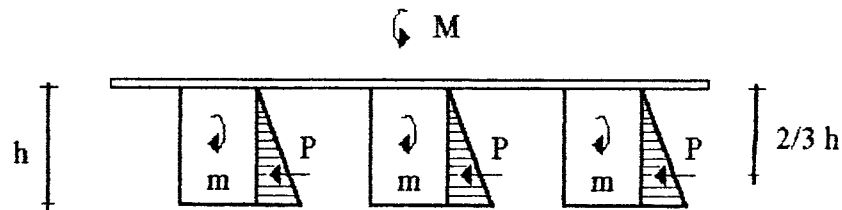


Gambar 3.1 Prinsip pondasi Cakar Ayam  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Beban  $Q$  yang eksentris dapat dianggap sebagai beban  $Q$  yang sentris ditambah  $M$ .

**3.3 Keseimbangan Antar Momen**

Momen yang terjadi yaitu  $M = \frac{QL}{2}$  dianggap dipikul oleh tekanan pasif pada masing pipa sebesar : m.



Gambar 3.2 Keseimbangan antar momen  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Yang menimbulkan m adalah tekanan pasif P yang bekerja pada jarak 2/3 h dari atas.

Persamaan keseimbangan yang timbul :  $M = \sum m$  atau

$$\frac{QL}{2} = \sum \frac{2}{3} h.P \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari rumus dasar ini terdapat beberapa hal yang penting yaitu :

1. Momen yang bekerja (dalam hal ini M), ditahan oleh tekanan tanah pasif yang linier berupa diagram segitiga, dengan titik tangkapnya 2/3 h dari atas.

Tekanan pasif ini bekerja pada satu sisi dari pipa dan jarak antar pipa tidak dibatasi.

Dengan demikian setiap momen yang ada, semuanya akan dipikul oleh pipa saja dan pelat tidak memikul momen.

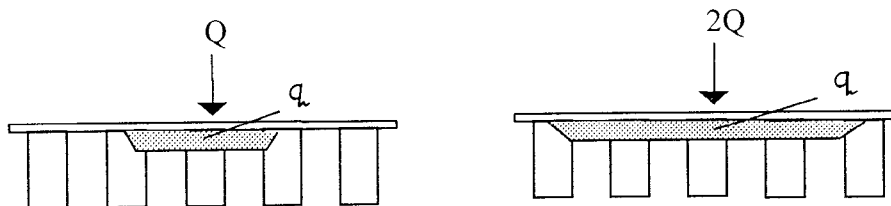
2. Momen  $M = \frac{QL}{2}$  dianggap terbagi rata pada tiap pipa sehingga, tiap pipa menahan momen lawan yang sama yaitu sebesar : m.

Dengan demikian baik pipa terdekat maupun terjauh dari M akan memikul momen lawan m yang sama. Oleh karena itu dapat ditulis bahwa  $m = \frac{M}{\text{Jumlah pipa}}$

3. Beban Q akan dibagi rata keseluruh pelat dan pelat tidak memikul momen.

Selain rumus  $\frac{QL}{2} = \sum \frac{2}{3} h.P$ , untuk beban pada permukaan jalan dengan pondasi Cakar Ayam akan timbul tekanan tanah lawan sebesar q dengan luas kontak tekanan tanah lawan yang tertentu.

Bila beban ditambah misalnya dua kali beban semula maka tekanan tanah lawan akan tetap sama dengan q hanya luas bidang kontak menjadi dua kali luas semula.



Gambar 3.3 Tekanan tanah lawan  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Untuk lebih jelasnya, akan dijabarkan secara lebih mendetil unsur-unsur (komponen-komponen) yang akan menahan momen akibat beban eksternal yang sebagian sudah disinggung sedikit diatas.

**3.3.1 Tekanan Tanah Pasif**

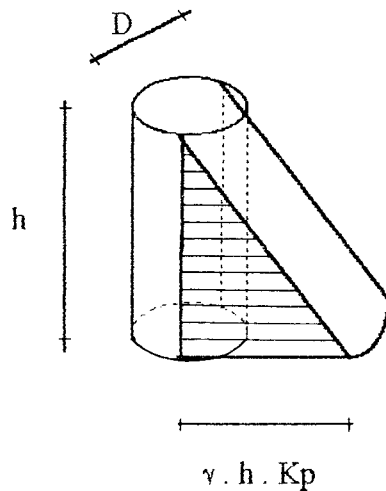
1. Untuk tanah non kohesif (  $C = 0$  )

Diagram tekanan pasif segitiga adalah diagram tekanan untuk tanah non kohesif tanpa beban di atasnya. Oleh karena itu prinsip dasar tersebut didekati dengan rumus tekanan pasif sebagai berikut :

$$P = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} Kp = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\theta}{2} \right) \dots\dots\dots (3.2)$$

Rumus ini berlaku untuk tembok/penahan yang menerus yang pada umumnya diperhitungkan dahulu untuk sepanjang 1 meter (atau 1 pias).

Selanjutnya tekanan pasif dianggap bekerja pada sekeliling pipa pada satu sisi yang berdiameter D.



Gambar 3.4 Diagram tekanan tanah non kohesif (sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Dengan demikian tekanan pasif yang bekerja pada 1 pipa adalah :

$$P_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} Kp \cdot \frac{\pi \cdot d}{2}$$

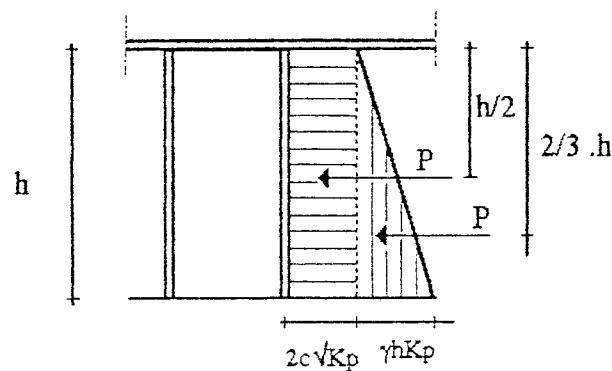
$$P_p = \frac{\gamma \cdot h^2 \pi \cdot d \cdot K_p}{4} \dots\dots\dots (3.3)$$

2. Untuk tanah kohesif (  $C \neq 0$  )

Diagram tekanan tanah tidak segitiga lagi, melainkan trapesium maka titik tangkap tekanan pasif tidak lagi di  $2/3 h$  dari atas. Sehingga rumus tekanan tanah pasif untuk satu pias menjadi :

$$P = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 K_p + 2c\sqrt{K_p} \cdot h \dots\dots\dots (3.4)$$

Diagram tekanan pasif sebagai berikut :



Gambar 3.5 Diagram tekanan tanah kohesif  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

Dengan demikian tekanan pasif yang bekerja untuk 1 pipa adalah :

$$P_p = \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 K_p + 2c\sqrt{K_p} \cdot h \right) \cdot \frac{\pi \cdot d}{2}$$

$$P_p = \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{4} + c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h \cdot \pi \cdot d \dots\dots\dots (3.5)$$

### 3.3.2 Momen Lawan

#### 1. Untuk tanah non kohesif

Momen lawan yang terjadi untuk 1 pipa pada tanah non kohesif akibat tekanan tanah pasif yang bekerja di  $2/3 h$  terhadap sisi atas adalah :

$$m_p = 2/3 h \cdot \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{4} \dots\dots\dots (3.6)$$

#### 2. Untuk tanah kohesif

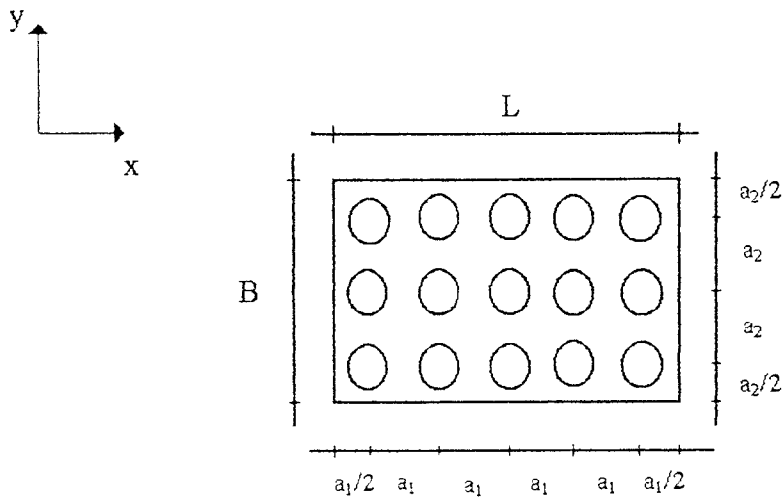
Momen lawan yang terjadi untuk 1 pipa pada tanah kohesif akibat tekanan tanah pasif yang bekerja terhadap sisi atas adalah :

$$m_p = 2/3 h \cdot \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{4} + c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h \cdot \pi \cdot d \cdot h/2 \dots\dots\dots (3.7)$$

### 3.3.3 Penjabaran Rumus Keseimbangan Antar Momen

Setelah diketahui formula untuk tanah kohesif maupun tanah non kohesif maka momen lawan yang terjadi untuk seluruh pipa akan dibandingkan dengan momen akibat beban eksternal.

Tinjauan pondasi Cakar Ayam yang berukuran  $B \times L$  sebagai berikut : untuk memudahkan, diambil jarak sumbu pipa ke tepi adalah masing-masing  $a_1/2$  dan  $a_2/2$



Gambar 3.6 Perletakan Pipa  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sediijatmo, 1982)

Bila jumlah pipa dalam baris arah x disebut  $n_1$  dan jumlah pipa dalam baris arah y disebut  $n_2$  maka :

$$L = n_1 \cdot a_1 \quad \text{dan} \quad B = n_2 \cdot a_2$$

Jumlah pipa seluruhnya adalah :  $n_1 \cdot n_2$  pipa.

1. Untuk tanah non kohesif

Substitusikan pers. (3.6) kedalam pers. (3.1) :

$$\frac{QL}{2} = n_1 n_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot h \cdot \frac{\gamma h^2 \pi d K_p}{4}$$

$$\frac{Q \cdot n_1 \cdot a_1}{2} = \frac{n_1 n_2 \cdot \gamma h^3 \pi d K_p}{6}$$

Dengan memasukkan angka keamanan (SF) maka rumus keseimbangan menjadi :

$$SF \cdot Q \cdot a_1 = \frac{n_2 \cdot \gamma h^3 \pi d K_p}{3} \dots\dots\dots (3.8)$$

2. Untuk tanah kohesif

Substitusikan pers. (3.7) kedalam pers. (3.1) :

$$\frac{Q \cdot L}{2} = n_1 \cdot n_2 \left( \frac{2}{3} h \cdot \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{4} + c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h \cdot \pi \cdot d \cdot \frac{h}{2} \right)$$

$$\frac{Q \cdot n_1 \cdot a_1}{2} = n_1' \cdot n_2' \left( \frac{2}{3} h \cdot \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{4} + c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h \cdot \pi \cdot d \cdot \frac{h}{2} \right)$$

Dengan memasukkan angka keamanan (SF) maka rumus keseimbangan menjadi :

$$SF \cdot Q \cdot a_1 = \frac{n_2 \cdot h^3 \cdot \gamma \cdot K_p \cdot \pi \cdot d}{3} + n_2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \cdot h^2 \cdot \pi \cdot d \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan :

Q = beban eksternal

a = jarak antara pipa

n = jumlah pipa dalam satu baris

d = diameter luar pipa

h = tinggi pipa

$\gamma$  = berat jenis tanah

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\theta}{2} \right)$$

$\theta$  = sudut geser dalam tanah

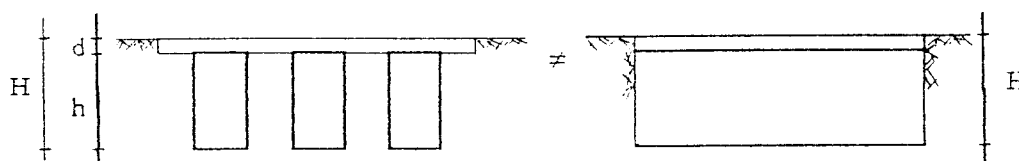
c = kohesi tanah

SF = koefisien keamanan/*safety factor* (1,5 - 2)

### 3.4 Kuat Dukung Tanah

Untuk pondasi Cakar Ayam karena adanya pipa akan mempengaruhi kedalaman H dalam menghitung kuat dukung tanah, seperti terlihat pada gambar berikut :





Gambar 3.7 Variabel kuat dukung tanah  
(sumber : Ir. Gito Purnomo, 1982)

Kedalaman yang diperhitungkan tergantung kepada dimensi pelat, sumuran dan jarak antar sumuran. Kondisi tanah yang cocok untuk pondasi Cakar Ayam adalah tanah lunak yang umumnya berkondisi *lokal shear failure*,

Kuat dukung pondasi Cakar Ayam sebenarnya masih perlu dikembangkan lebih lanjut karena dapat ditinjau sebagai kuat dukung pelat dengan kedalaman ( $d$ ) ditambah kuat dukung akibat pipa sedalam ( $h$ ). Di lain pihak kuat dukung harus dilihat sebagai satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan antara pelat, sumuran dan tanah di sekeliling pipa dengan tanah dibawah pipa. Sebagai perbandingan, bila kedalaman pipa cukup besar, sistem pondasi mungkin akan berpola sama seperti *pile raft system* yang telah diterapkan untuk tanah agak lunak di Mexico dan London.

Kuat dukung tanah akibat beban  $Q$  pada pondasi selebar  $B \times L$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

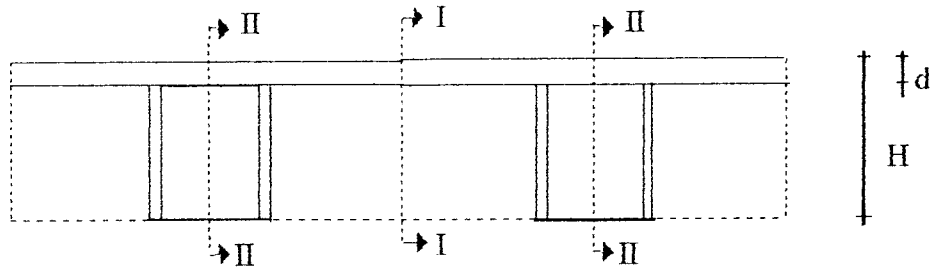
$$q = \frac{Q}{B.L} = \frac{Q}{n_1 \cdot a_1 \cdot n_2 \cdot a_2} \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan :

$q$  = kuat dukung tanah atau tekanan tanah lawan.

### 3.5 Faktor Kekakuan

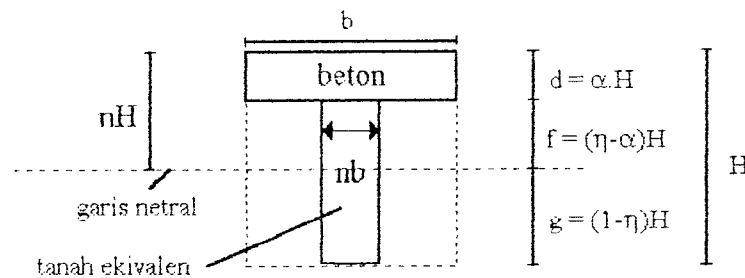
Perhitungan kekakuan lentur penampang ekuivalen atau penampang komposit ditinjau sebagai berikut :



Gambar 3.8 Tampak depan pondasi Cakar Ayam  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

#### 1. Faktor kekakuan pada penampang I - I

Terdiri dari pelat beton dan tanah. Digunakan penampang idiiil berdasarkan pada bahan beton.



Gambar 3.9 Penampang I-I  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

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

1. Nilai  $n$

$$n = \frac{E_t}{E_b} \dots\dots\dots (3.11)$$

2. Nilai  $\alpha$

$$\alpha = \frac{d}{H} \dots\dots\dots (3.12)$$

3. Nilai  $\eta$

$$\eta = \frac{n + (1-n) \cdot \alpha^2}{2 \cdot [n + (1-n)] \cdot \alpha} \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan :

$E_t$  = modulus elastisitas tanah

$E_b$  = modulus elastisitas beton

$d$  = tebal pelat

$H$  = kedalaman pipa

Terdapat 3 kemungkinan nilai  $\eta$ , yaitu :

a. Untuk  $\eta > \alpha$  maka faktor kekakuan lentur ekivalen I-I adalah :

$$\xi = \alpha [ \alpha^2 + 12 (\eta - 1/2 \alpha)^2 ] + 4 n [ (\eta-1)^3 + (1-\eta)^3 ] \dots\dots\dots (3.12)$$

b. Untuk  $\eta < \alpha$  maka faktor kekakuan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

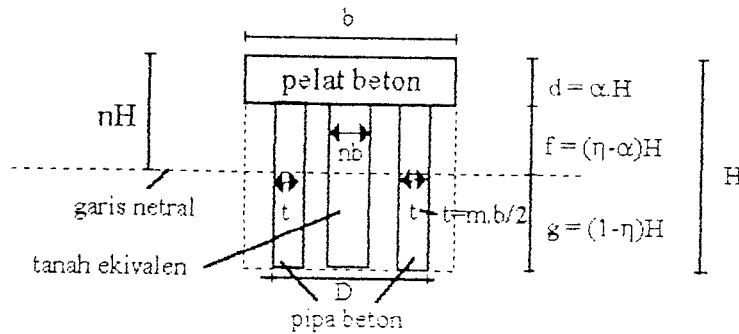
$$\xi = \alpha [ \alpha^2 + 12 (\eta - 1/2 \alpha)^2 ] + n (1-\alpha) [ (1-\alpha)^2 + 3n (1-\alpha-2\eta)^2 ] \dots\dots\dots (3.13)$$

c. Untuk  $\eta = \alpha$  maka rumus faktor kekakuan sebagai berikut :

$$\xi = 4\alpha^3 + 4n (1-\alpha)^3 \dots\dots\dots (3.14)$$

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  $\zeta$ . 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  $\eta$

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

dengan :

t = tebal pipa

Terdapat 3 kemungkinan nilai  $\eta$ , yaitu :

a. Bila  $\eta > \alpha$  maka rumus faktor kekakuan sebagai berikut :

$$\zeta = \alpha [ \alpha^2 + 12 (\eta - 1/2 \alpha)^2 ] + 4.(m + n) [(\eta-\alpha)^3 + (1-\eta)^3] \dots\dots\dots (3.17)$$

b. Bila  $\eta < \alpha$  maka rumus faktor kekakuan menjadi :

$$\zeta = \alpha [ \alpha^2 + 12 (\eta - 1/2 \alpha)^2 ] + (m+n).(1-\alpha).[ (1-\alpha)^2 + 3.(m+n). (1+\alpha-2\eta)^2 ] \dots\dots\dots (3.18)$$

c. Bila  $\eta = \alpha$  maka rumus faktor kekakuan sebagai berikut :

$$\zeta = 4\alpha^3 + 4.(m + n).(1 - \alpha)^3 \dots\dots\dots (3.19)$$

### 3.6 Penulangan Pelat Pondasi Cakar Ayam

Pada perhitungan penulangan pondasi Cakar Ayam, pelat pondasi dianggap sebagai pelat cendawan (*plat slab*) dimana pelat tersebut bertumpu langsung pada pipa-pipa yang berfungsi sebagai kolom. Untuk menganalisis *plat slab* digunakan cara perencanaan langsung (*direct design method*).

Langkah-langkah perhitungan yang harus dilakukan, sesuai dengan SNI T-15-1991-03 Pasal 3.6.6, adalah :

1. Menentukan tebal pelat minimum yang diizinkan dalam praktek.
2. Menghitung beban ultimit disain dengan rumus :

$$U = 1,2 D + 1,6 L \dots\dots\dots (3.20)$$

dengan D adalah beban mati dan L adalah beban hidup per lebar satuan pelat.

3. Menghitung momen lentur statik total berfaktor untuk lebar total panel.
4. Menjabarkan momen statik total tersebut kedalam momen positif pada bagian tengah bentang dan momen negatif pada titik tumpuan dari lajur pelat yang ditinjau.

Perlu diperhatikan bahwa tumpuan harus direncanakan untuk menahan salah satu dari dua momen disain negatif yang terbesar, yang dihasilkan oleh bentang-bentang di sebelah kiri atau kanan tumpuan.

5. Mendistribusikan momen-momen positif dan negatif menurut lajur kolom dan lajur tengah sebagai berikut :
  - a. Lajur kolom. Pada lajur ini harus diperhatikan ada tidaknya balok di sepanjang sumbu kolom. Pers. (3.20) dan grafik bagan interpolasi distribusi lateral momen pelat (lihat lampiran no. 1), digunakan untuk menentukan persentase momen lajur kolom dari bentang tengah berdasarkan harga  $\alpha_2/l_1$  dan  $\alpha_1l_2/l_1$ . Bila terdapat balok diantara kolom-kolom dalam arah bentangan dari momen yang ditinjau, balok tersebut harus dianggap menerima 85 % dari momen lajur kolom jika  $\alpha_1l_2/l_1 > 1$ . Untuk nilai  $0 < \alpha_1l_2/l_1 < 1$ , besar momen yang disalurkan ke balok dapat diperoleh melalui interpolasi linier antara 85 hingga 0 persen. Kemudian pelat pada jalur kolom harus menanggung sisa momen yang tidak ditahan oleh balok tersebut.
  - b. Lajur tengah. Momen disain positif dan negatif interior yang bekerja pada lajur tengah adalah bagian dari momen disain yang tidak ditahan oleh lajur kolom. Dengan demikian masing-masing lajur tengah harus menahan jumlah momen negatif ataupun positif yang tidak ditahan oleh lajur kolom yang ada di sisi kiri dan sisi kanan lajur tengah tersebut.
  - c. Dinding dan kolom yang dibuat monolit dengan pelat harus didisain untuk menahan momen yang timbul akibat pembebanan pada sistem pelat tersebut.

d. Panel eksterior. Untuk panel eksterior atau bentang tepi (*end-span*), pembagian momen statik total pada tiga lokasi kritis, yaitu : momen negatif eksterior, positif, dan negatif interior tergantung pada kekangan fleksural pada pelat oleh kolom eksterior atau dinding eksterior dan tergantung pula pada ada tidaknya balok pada jalur kolom (SNI-91). *ACI-Code* juga memberi lima alternatif koefisien distribusi momen untuk bentang tepi (lihat Tabel 3.1). Tabel 3.1 dipakai untuk menghitung persentase momen lajur kolom dari bentang tepi dan didistribusikan ke arah lateral dengan memanfaatkan grafik bagan interpolasi distribusi lateral momen pelat dan Tabel 3.2, berdasarkan harga  $l_2/l_1$ ,  $\alpha_1 l_2/l_1$ , serta konstanta C dan  $\beta_1$  jika ada balok pada tumpuan terluarnya.

Tabel 3.1 Faktor distribusi momen statik  $M_o$  untuk momen negatif dan positif dari bentang tepi lajur kolom  
(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng., 1997)

	Tepi eksterior tidak ditahan	Pelat dengan balok diantara semua tumpuan	Pelat tanpa balok diantara tumpuan		Tepi eksterior sepenuhnya ditahan
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Momen negatif terfaktor interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen positif terfaktor	0,63	0,57	0,52	0,52	0,35
Momen negatif terfaktor eksterior	0	0,16	0,26	0,26	0,65

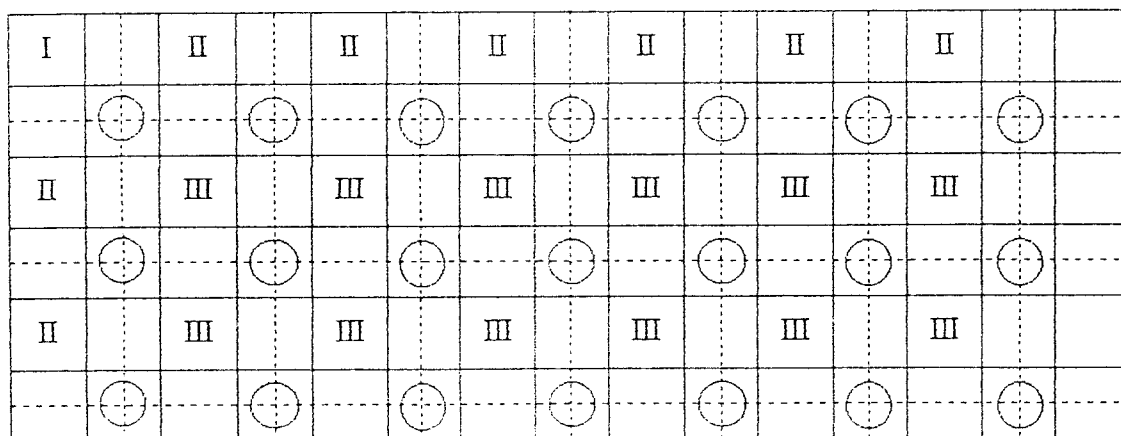
Tabel 3.2 Momen jalur kolom dalam %

(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng.,1997)

		$l_2/l_1$		
		0,5	1,0	2,0
Momen negatif interior				
$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$		75	75	75
$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1,0$		90	75	45
Momen negatif eksterior	$\beta_1 = 0$	100	100	100
	$\beta_1 \geq 2,5$	75	75	75
$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	$\beta_1 = 0$	100	100	100
	$\beta_1 \geq 2,5$	75	75	75
Momen positif				
$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$		60	60	60
$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1,0$		90	75	45

6. Perhitungan penulangannya berdasarkan nilai momen yang telah diperoleh.

Untuk perhitungan momen disain ( $M_u$ ), pelat dibagi dalam beberapa panel seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.11 Pembagian panel

(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng.,1997)

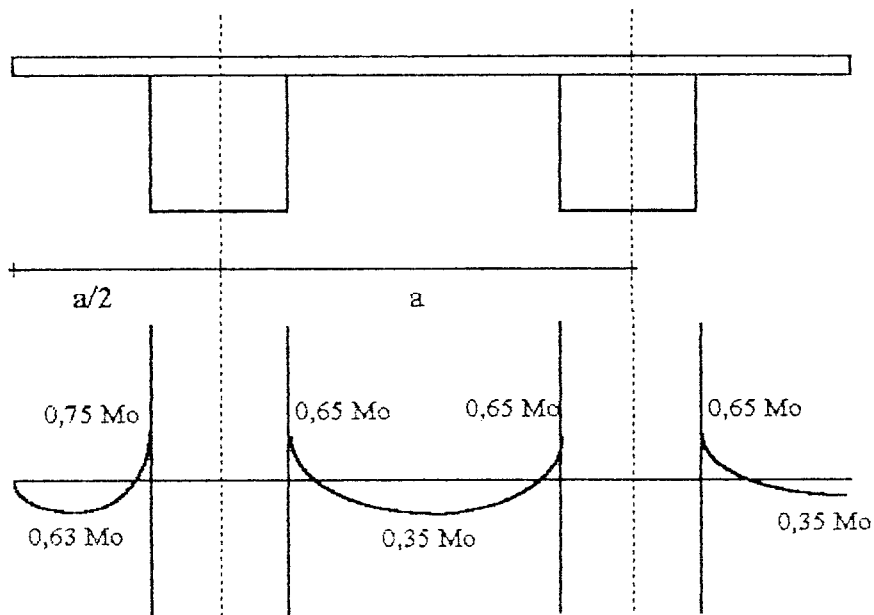


Untuk lebih jelasnya, langkah-langkah dalam menentukan momen disain yang sudah disebutkan diatas dapat disederhanakan sebagai berikut :

1. Momen statis total dihitung dengan menggunakan rumus :

$$M_o = 1/8 \cdot W_u \cdot L \cdot L_n^2 \dots\dots\dots (3.21)$$

2. Mendistribusikan momen statis  $M_o$  pada masing-masing panel :



Gambar 3.12 Distribusi momen statis  $M_o$   
(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng.,1997)

- a. Bentang tengah (*interior span*) :

$$M_u \text{ negatif} = 0,65 \cdot M_o$$

$$M_u \text{ positif} = 0,35 \cdot M_o$$

- b. Bentang tepi (*end span*), dengan tepi terluar tidak mempunyai kekangan momen

$$\text{Momen negatif interior} = 0,75 \cdot M_o$$

$$\text{Momen positif} = 0,63 \cdot M_o$$

$$\text{Momen negatif ekterior} = 0$$

### 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.

#### **4.2.1 Analisis Stabilitas Eksternal**

Pada analisis stabilitas eksternal dilakukan beberapa tahap, yaitu :

1. Menganalisis keseimbangan antar momen. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan momen akibat beban luar dengan momen lawan akibat tekanan tanah pasif yang sebelumnya dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap beberapa variabel yang akan digunakan dalam perhitungan momen. Variabel tersebut antara lain :
  - a. Tekanan tanah pasif untuk seluruh pipa.
  - b. Momen lawan akibat tekanan tanah pasif.

Setelah diperoleh momen lawan untuk seluruh pipa kemudian dibandingkan dengan momen akibat beban luar.

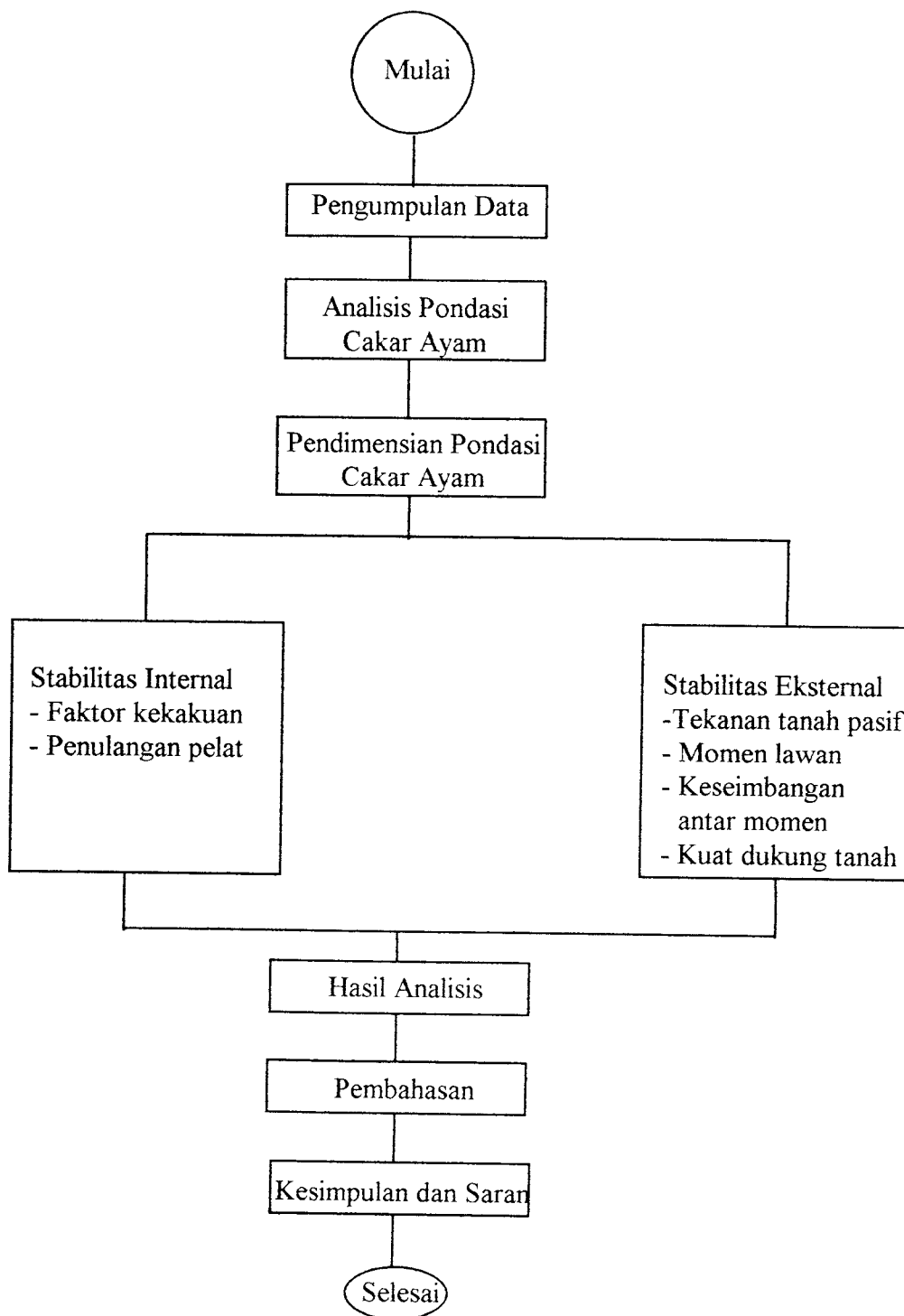
2. Menganalisis kuat dukung tanah. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan antara kuat dukung tanah yang terjadi akibat beban luar termasuk berat sendiri pondasi dengan kuat dukung tanah ijin yang diperoleh dari data hasil penyelidikan tanah.

#### **4.2.2 Analisis Stabilitas Internal**

Tahapan yang dilakukan pada analisis stabilitas internal antara lain :

1. Menghitung faktor kekakuan. Perhitungan dilakukan dengan meninjau penampang menjadi dua bagian, yaitu :
  - a. Pelat beton dan tanah.
  - b. Pelat beton, dinding sumuran beton dan tanah.

2. Menghitung penulangan pelat pondasi Cakar Ayam. Perhitungan dilakukan dengan menganggap pelat pondasi sebagai pelat cendawan (*plat slab*).



Gambar 4.1 Bagan alir analisis

**BAB V**  
**ANALISIS PONDASI CAKAR AYAM**

**5.1 Data yang Digunakan**

Data yang digunakan dalam analisis sebagai berikut :

1. Data tanah lunak yang dipakai yaitu : (lihat lampiran no. 2-4)

- a. Kuat dukung tanah ijin       $q_{ijin} = 0,25 \text{ kg/cm}^2$
- b. Berat volume tanah       $\gamma_t = 1,5782 \text{ gr/cm}^3$
- c. Kohesi tanah       $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$
- d. Sudut geser dalam tanah       $\theta = 8^\circ$
- e. Modulus elastisitas tanah       $E_t = 50 \text{ kg/cm}^2$

2. Data beton yang digunakan adalah :

- a. Modulus elastisitas beton       $E_b = 200.000 \text{ kg/cm}^2$
- b. Mutu beton       $f'c = 35 \text{ MPa}$
- c. Berat volume beton       $\gamma_b = 2400 \text{ kg/m}^3$

3. Data baja tulangan yang dipakai yaitu :

- a. Diameter tulangan       $\varnothing = 12 \text{ mm}$
- b. Modulus elastisitas baja       $E_s = 29000 \text{ Ksi}$
- c. Mutu baja tulangan       $F_y = 400 \text{ MPa}$

4. Komponen-komponen struktur pondasi yang ditetapkan sebagai berikut :

- a. Tebal pelat beton  $d = 20 \text{ cm}$
- b. Tebal pipa (sumuran)  $t = 10 \text{ cm}$
- c. Diameter luar pipa  $D = 12 \text{ cm}$
- d. Jarak antar titik pusat pipa  $a = 250 \text{ cm}$

5. Ukuran landasan pacu sebagai berikut :

- a. Panjang landasan  $L = 3600 \text{ m}$
- b. Lebar landasan  $B = 60 \text{ m}$

6. Beban-beban yang bekerja pada pondasi adalah :

- a. Berat pesawat terbang untuk jenis B-747 B
- b. Berat sendiri pondasi

## 5.2. Menentukan Beban yang Bekerja

Beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan dalam tiga bagian yaitu : beban mati, beban hidup dan beban akibat pengaruh alam. Untuk perhitungan selanjutnya dibatasi dengan hanya memperhitungkan beban mati dan beban hidup saja sedangkan beban akibat pengaruh alam seperti beban gempa dan gaya lateral lainnya diabaikan.

### 5.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang intensitasnya tetap dan posisi tidak berubah selama usia penggunaan struktur. Biasanya beban mati merupakan berat sendiri dari satu struktur. Dengan demikian pada perancangan pondasi, sebagai beban mati adalah berat pondasi.

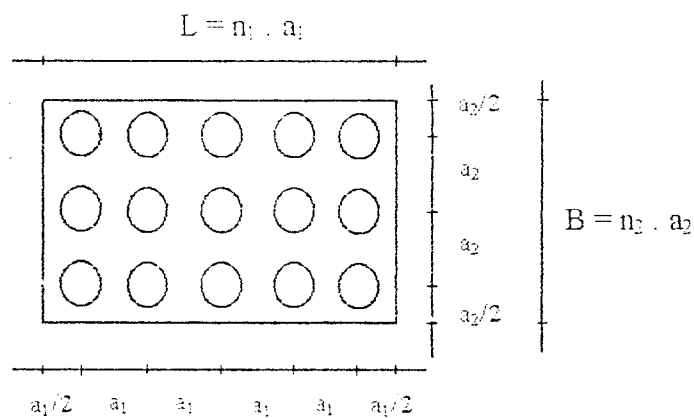


## 1. Menentukan jumlah pipa (sumuran)

Untuk memudahkan diambil jarak pipa ketepi adalah masing-masing  $a_1/2$  dan  $a_2/2$  dengan  $a_1 = a_2 = a$

$a_1$  = jarak antara pipa arah membujur

$a_2$  = jarak antara pipa arah melintang



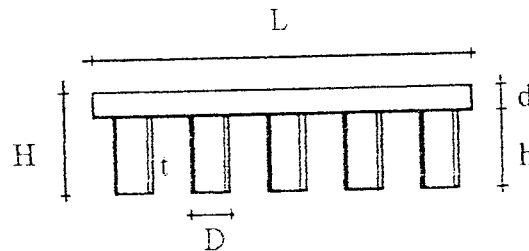
Gambar 5.1 Tata letak pipa  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatmo, 1982)

a. Jumlah pipa arah membujur ( $n_1$ )

$$n_1 = \frac{L}{a_1} = \frac{3.600.10^2}{250} = 1440 \text{ buah}$$

b. Jumlah pipa arah melintang ( $n_2$ )

$$n_2 = \frac{B}{a_2} = \frac{60.10^2}{250} = 24 \text{ buah}$$

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 :

$$a. \text{ Berat pelat} = L \cdot B \cdot d \cdot \gamma_b$$

$$= 3600 \cdot 60 \cdot 0,20 \cdot 2400$$

$$= 103680000 \text{ kg}$$

$$b. \text{ Berat pipa} = n_2 \cdot n_1 \cdot 1 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot (D^2 - (D - 2t)^2) \cdot (H - d) \cdot \gamma_b$$

$$= 1440 \cdot 24 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot (1,2^2 - (1,2 - 0,2)^2) \cdot h \cdot 2400$$

$$= (28663388,7165 \cdot h) \text{ kg}$$

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

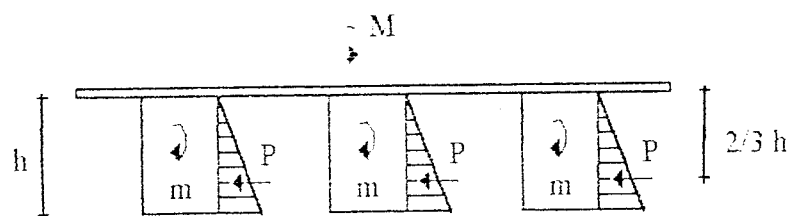
### 5.2.2 Beban Hidup

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.

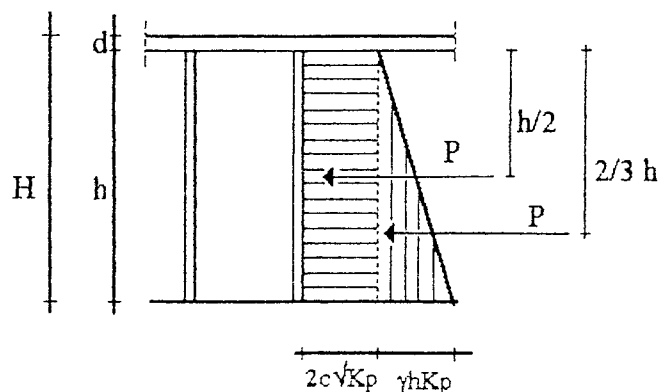
Sehingga persamaan keseimbangan yang timbul :  $M = \Sigma m$  atau  $\frac{Q \cdot L}{2} = \Sigma \frac{2}{3} h \cdot P$



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

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

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.

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.

### 5.4.2 Kuat Dukung Tanah

Dari hitungan di atas telah didapat besar masing-masing beban yang akan didukung oleh tanah dibawahnya yaitu :

1. Berat sendiri pondasi sebesar

$$\begin{aligned} W_D &= 103680000 + 28663388,7165 \cdot 240 \\ &= 172472132,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Berat pesawat jenis B-747 B sebesar  $W_L = 351850 \text{ kg}$ .

Jadi kuat dukung tanah yang terjadi akibat beban pada pondasi seluas  $3600 \text{ m} \times 60 \text{ m}$  adalah :

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{B.L} \\ q &= \frac{172472132,92 + 351850}{3600 \times 60} \\ &= 800,111 \text{ kg/m}^2 \\ &= 0,0801 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil penyelidikan tanah didapatkan kuat dukung ijin tanah sebesar  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  maka :

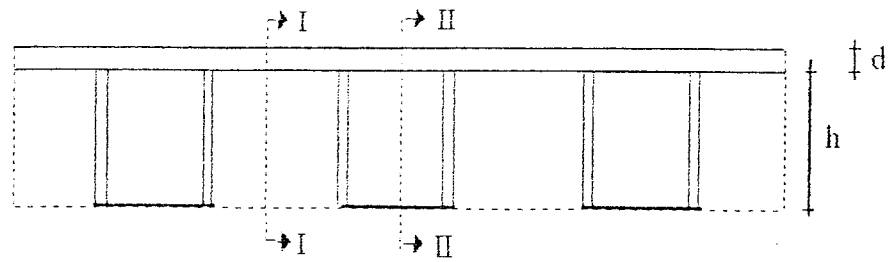
$$q = 0,0801 \text{ kg/cm}^2 < q_{ijin} = 0,25 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

## 5.5 Analisis Stabilitas Internal

### 5.5.1 Faktor Kekakuan Pondasi

Perhitungan faktor kekakuan ekuivalen atau penampang komposit sebagai berikut :

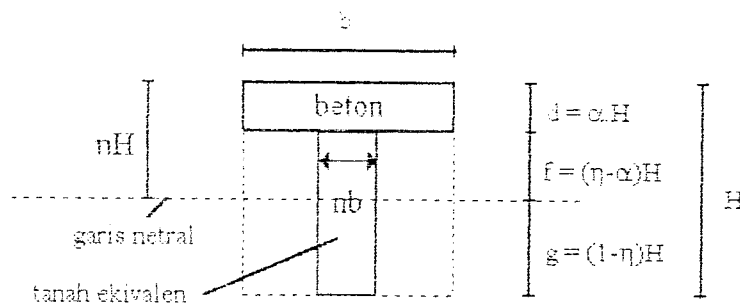




Gambar 5.5 Tampak depan pondasi Cakar Ayam  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sedijatno, 1982)

### 1. Penampang I-I

Terdiri dari pelat beton dan tanah. Digunakan penampang idial penampang berdasarkan pada bahan beton.



Gambar 5.6 Penampang I - I  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

Rasio modulus elastis

$$n = \frac{E_t}{E_b} = \frac{50}{200000} = 0,00025$$

$$\alpha = \frac{d}{H} = \frac{20}{260} = 0,077$$

$$\eta = \frac{n + (1 - n) \alpha^2}{2\{n + (1 - n)\} \cdot \alpha}$$

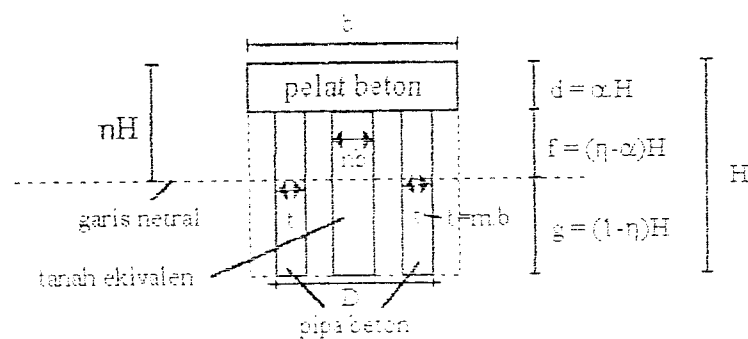
$$\eta = \frac{0,00025 + (1-0,00025) \cdot 0,077^2}{2 \cdot \{0,00025 + (1 - 0,00025)\} \cdot 0,077} = 0,040$$

Jadi  $\eta < \alpha$ , sehingga faktor kekakuan dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned} \xi &= \alpha \cdot [\alpha^2 + 12 (\eta - 1/2 \cdot \alpha)^2] + n \cdot (1-\alpha) \cdot [(1-\alpha)^2 + 3 \cdot \eta (1-\alpha-2\eta)^2] \\ &= 0,077 \cdot [0,077^2 + 12 \cdot (0,040 - 1/2 \cdot 0,077)^2] + 0,00025 \cdot (1-0,077) \cdot [(1 - 0,077)^2 + \\ &\quad 3 \cdot 0,00025 \cdot (1-0,077-2 \cdot 0,040)^2] \\ &= 0,000655 \end{aligned}$$

## 2. Penampang II-II

Terdiri dari pelat beton, dinding sumuran beton serta tanah disekeliling didalam sumuran



Gambar 5.7 Penampang II-II  
(sumber : Prof. Dr. Ir. Sosrowinarso, 1982)

Untuk keadaan ini faktor kekakuan ekuivalen kita sebut  $\zeta$

Dari hitungan diatas diketahui :

$$n = 0,00025$$

$$\alpha = 0,077$$

$$M = \frac{2 \cdot t}{H} = \frac{2 \cdot 10}{260} = 0,077$$

$$\begin{aligned}
 Z &= M + n \\
 &= 0,077 + 0,00025 = 0,07725 \text{ dibulatkan } 0,077
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Z + (1-Z) \cdot \alpha^2}{2 \cdot \{Z + (1-Z) \cdot \alpha\}} \\
 &= \frac{0,077 + (1-0,077) \cdot 0,077^2}{2 \cdot \{0,077 + (1-0,077) \cdot 0,077\}} = 0,2785
 \end{aligned}$$

karena  $\eta > \alpha$ , sehingga faktor kekakuan dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 \zeta &= \alpha \cdot [\alpha^2 + 12 \cdot (\eta - 1/2 \cdot \alpha)^2] + 4 \cdot n \cdot [(\eta - \alpha)^3 + (1 - \eta)^3] \\
 &= 0,077 \cdot [0,077^2 + 12 \cdot (0,2785 - 1/2 \cdot 0,077)^2] + 4 \cdot 0,00025 \cdot [0,2785 - 0,077]^3 + \\
 &\quad (1 - 0,2785)^3] \\
 &= 0,0541 \\
 \zeta &= \frac{0,0541}{0,000655} \cdot \xi \\
 &= 82,595 \cdot \xi
 \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa  $\zeta > \xi$ .

### 5.5.2 Penulangan Pelat Pondasi Cakar Ayam

Pada perhitungan penulangan pondasi Cakar Ayam, pelat pondasi dianggap sebagai pelat cendawan (*plat slab*). Selanjutnya pelat dibagi menjadi beberapa panel seperti pada gambar berikut :

I		II		II		II		II		II		II		
	⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙	
II		III		III		III		III		III		III		
	⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙	
II		III		III		III		III		III		III		
	⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙		⊙	

Gambar 5.8 Pembagian panel  
(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng., 1997)

Diambil panel interior III dengan  $L_1 = 2,5$  m dan  $L_2 = 2,5$  m, maka :

$$\beta = 1 \quad (L_2/L_1 = 2,5/2,5 = 1)$$

$\alpha_m = 0$  (karena tidak ada balok pada tepi eksterior).

$$\begin{aligned} L_n &= a - (2 \cdot 1/2 D) \\ &= 250 - (2 \cdot 1/2 \cdot 120) = 130 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### Pembebanan :

Beban yang dipakai dalam analisis adalah :

##### 1. Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat} &= W_D = d \cdot \gamma_b \\ &= 0,20 \cdot 2400 = 480 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

##### 2. Beban hidup

Dalam menganalisis beban hidup yang digunakan pada perhitungan penulangan, mengacu pada tabel ukuran roda pendarat utama untuk pesawat transport tipikal (lihat lampiran no. 7).

Berat pesawat yang digunakan pada perhitungan adalah berat pesawat terbesar yaitu 95% dari berat pesawat total, sehingga berat pesawat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{\text{satu roda}} &= \text{Berat pesawat} \cdot 95\% \cdot 1/m \cdot 1/n \\ &= 351850 \cdot 95\% \cdot 1/8 \cdot 1/2 \\ &= 20891,094 \text{ kg} \end{aligned}$$

dengan :

$m$  = jumlah roda satu gear.

$n$  = jumlah gear.

Pada tinjauan satu panel jumlah roda yang masuk ada 4 roda.

Berat pesawat yang dipakai =  $4 \cdot 20891,094 = 83564,375 \text{ kg}$

Berat pesawat per satuan luas :

$$W_L = \frac{83564,375}{2,5^2} = 13370,3 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban desain adalah :

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 \cdot W_D + 1,6 \cdot W_L \\ &= 1,2 \cdot 480 + 1,6 \cdot 13370,3 = 21968,48 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Karena pelat tersebut simetris maka momen statis total dari kedua arah adalah sama.

$$\begin{aligned} M_o &= 1/8 \cdot W_u \cdot L \cdot L_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 21968,48 \cdot 2,5 \cdot 1,3^2 \\ &= 11602,1035 \text{ kg.m} = 116,021 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

### **Pembagian momen :**

Pembagian momen berdasarkan faktor distribusi momen statik  $M_o$  untuk momen negatif dan positif dari bentang tepi lajur kolom. Faktor distribusi momen tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.12.

Distribusi momen statis  $M_o$  sebagai berikut :

1. Bentang tengah (*interior span*) :

$$M_u \text{ negatif} = 0,65 \cdot M_o = 0,65 \cdot 116,021 = 75,414 \text{ KN.m}$$

$$M_u \text{ positif} = 0,35 \cdot M_o = 0,35 \cdot 116,021 = 40,607 \text{ KN.m}$$

2. Bentang tepi (*end span*), dengan tepi terluar tidak mempunyai kekangan momen.

$$Momen \text{ negatif interior} = 0,75 \cdot M_o = 0,75 \cdot 116,021 = 87,016 \text{ KN.m}$$

$$Momen \text{ positif} = 0,63 \cdot M_o = 0,63 \cdot 116,021 = 73,093 \text{ KN.m}$$

$$Momen \text{ negatif eksterior} = 0 \text{ KN.m}$$

**Distribusi Lateral Momen :**

Distribusi lateral momen dapat dilihat pada tabel 3.2.

Dengan  $l_2/l_1 = 1$ , diperoleh koefisien :

$$1. \text{ Momen negatif interior} \quad 75 \%$$

$$2. \text{ Momen positif} \quad 60 \%$$

$$3. \text{ Momen negatif eksterior} \quad 100 \%$$

Dengan demikian, nilai akhir dari momen pada lajur kolom dan lajur tengah dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Lajur kolom :

$$M_1 \text{ negatif} = 100 \% \times 0 \times 116,021 = 0 \text{ KN.m}$$

$$M_{1,2} \text{ positif} = 60 \% \times 0,63 \times 116,021 = 43,856 \text{ KN.m}$$

$$M_2 \text{ negatif} = 75 \% \times 0,75 \times 116,021 = 65,262 \text{ KN.m}$$

$$M_{2,3} \text{ positif} = 60 \% \times 0,35 \times 116,021 = 24,364 \text{ KN.m}$$

2. Lajur tengah :

$$M_1 \text{ negatif} = 0 \text{ KN.m}$$

$$M_{1-2} \text{ positif} = 73,093 - 43,856 = 29,237 \text{ KN.m}$$

$$M_2 \text{ negatif} = 87,016 - 65,262 = 21,754 \text{ KN.m}$$

$$M_{2-3} \text{ positif} = 40,607 - 24,364 = 16,243 \text{ KN m}$$

Karena simetris, momen hasil akhir hanya diperlihatkan satu arah seperti pada gambar sebagai berikut :

	○		○		○		○		○	
43,856	○ -65,262	24,36	○ -65,262	24,36	○		○		○	
58,474	-43,508	32,48	-43,508	32,48						
	○		○		○		○		○	

Gambar 5.9 Distribusi momen akhir  
(sumber : Ir. L. Wahyudi dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng., 1997)

### Perhitungan penulangan pelat pondasi cakar ayam

Data yang dipakai dalam penulangan sebagai berikut :

- i. Tebal pelat : 200 mm
- ii.  $\varnothing$  tul pokok : 12 mm
- iii. Penutup beton : 40 mm

tebal efektif pelat :

$$\text{- Arah x, } dx = 200 - 40 - 12/2 = 154 \text{ mm}$$

$$\text{- Arah } y, dy = 200 - 40 - 12 - 12/2 = 142 \text{ mm}$$

iv. Penutup beton sisi bawah : 70 mm

tebal efektif pelat :

$$\text{- Arah } x, dx = 200 - 70 - 12/2 = 124 \text{ mm}$$

$$\text{- Arah } y, dy = 200 - 70 - 12 - 12/2 = 112 \text{ mm}$$

v. Momen maksimum di daerah tumpuan : 65,262 KN.m

vi. Momen maksimum di daerah lapangan : 58,474 KN.m

Perhitungan penulangannya sebagai berikut :

1. Tulangan pokok arah x di daerah tumpuan

$$M_u = 65,262 \text{ KN m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{65,262}{0,8} = 81,5775 \text{ KN.m}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 (35 - 30) \\ = 0,81$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{F_y} \cdot \frac{600}{600 + F_y} \\ = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400} = 0,0361$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0361 = 0,0271$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Berdasarkan momen ultimit :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a (dx - a/2) = M_u / \phi$$

$$0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot a (154 - a/2) = 81,5775 \cdot 10^6$$



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

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

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

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 :

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

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

Maka dipakai luas tulangan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00916 \cdot 1000 \cdot 154 = 1411,256 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan :

$$S = \frac{A_1 \cdot \phi 12 \cdot b}{A_s} = \frac{113,0973 \cdot 1000}{1411,256} = 80,1395 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan  $\phi 12 - 80 \text{ mm}$  untuk penulangan arah x.

2. Tulangan pokok arah y di daerah tumpuan

$$M_u = 65,262 \text{ KN.m}$$

$$M_n = 81,5775 \text{ KN.m}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,81$$

$$\rho_b = 0,0361$$

$$\rho_{\max} = 0,0271$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

Berdasarkan momen ultimit :

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

$$0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot a (142 - a/2) = 81,5775 \cdot 10^6$$

$$4224500 \cdot a - 14875 a^2 = 81,5775 \cdot 10^6$$

$$14875 a^2 - 4224500 \cdot a + 81,5775 \cdot 10^6 = 0$$

$$\rightarrow a = 20,8398 \text{ mm}$$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a}{F_y}$$

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

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.

3. Tulangan pokok arah x di daerah lapangan

$$M_u = 58,474 \text{ KN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{58,474}{0,8} = 73,0925 \text{ KN.m}$$

$$f_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,81$$

$$\rho_b = 0,0361$$

$$\rho_{\max} = 0,0271$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

Berdasarkan momen ultimit :

$$0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a (dx - a/2) = M_n$$

$$0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot a (124 - a/2) = 73,0925 \cdot 10^6$$

$$3689000 \cdot a - 14875 \cdot a^2 = 73,0925 \cdot 10^6$$

$$14875 a^2 - 3689000 \cdot a + 73,0925 \cdot 10^6 = 0$$

$$\rightarrow a = 21,715 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pokok :

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a}{F_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 21,715}{400} = 1615,053 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Chek :

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

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot 1000 \cdot 124$$

$$1615,053 \text{ mm}^2 > 310 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

maka dipakai  $A_s = 1615,053 \text{ mm}^2$

Chek :

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

$$\rho = \frac{1615,053}{1000 \cdot 124} = 0,01302 < \rho_{\max} = 0,0271 \text{ (memenuhi)}$$

Chek :

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

$$\rho = 0,01302 > \rho_{\min} = 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai luas tulangan :

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

$$= 0,01302 \cdot 1000 \cdot 124 = 1614,48 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$S = \frac{A_1 \cdot \phi \cdot b}{A_s} = \frac{113,0973 \cdot 1000}{1614,48} = 70,052 \text{ mm}$$

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

4. Tulangan pokok arah y di daerah lapangan

$$M_u = 58,138 \text{ KN.m}$$

$$M_n = 73,0925 \text{ KN.m}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,81$$

$$\rho_b = 0,0361$$

$$\rho_{\max} = 0,0271$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

Berdasarkan momen ultimit :

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot (d_y - a/2) = M_u$$

$$0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot a (112 - a/2) = 73,0925 \cdot 10^6$$

$$3332000 \cdot a - 14875 a^2 = 73,0925 \cdot 10^6$$

$$14875 a^2 - 3332000 \cdot a + 73,0925 \cdot 10^6 = 0$$

$$\rightarrow a = 24,649 \text{ mm}$$

Luas tulangan pokok :

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

$$A_s = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 24,649}{400} = 1833,269 \text{ mm}^2$$

Chek :

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

$$A_s \geq 0,25 \% \cdot 1000 \cdot 112$$

$$1833,269 \text{ mm}^2 \geq 280 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

maka dipakai  $A_s = 1833,269 \text{ mm}^2$

Chek :

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

$$\rho = \frac{1833,269}{1000 \cdot 112} = 0,0164 < \rho_{\text{max}} = 0,0271 \text{ (memenuhi)}$$

Chek :

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

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

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

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

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

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

Kuat dukung yang terjadi adalah :

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

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

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

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

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.

## BAB VI

### PEMBAHASAAN

Pondasi Cakar Ayam terdiri dari pelat dan pipa (sumuran). Untuk pra rencana atau untuk memberikan suatu gambaran, masing-masing unsur yaitu pelat atau pipa (sumuran) dapat ditinjau satu persatu. Akan tetapi pada disain yang sesungguhnya, pondasi Cakar Ayam harus ditinjau sebagai satu kesatuan struktur.

#### 6.1 Hasil Analisis Pondasi Cakar Ayam

Pada sub bab VI akan diadakan pembahasan secara singkat dan sederhana terhadap hasil analisis yang sudah diketahui pada bab sebelumnya.

##### 6.1.1 Stabilitas Eksternal

###### 1. Kuat dukung tanah

Hasil analisis yang didapat adalah :

- a. Kuat dukung tanah yang terjadi sebesar  $0,0801 \text{ kg/cm}^2$ .
- b. Kuat dukung tanah ijin sebesar  $0,25 \text{ kg/cm}^2$ .

Dari kedua nilai diatas memperlihatkan bahwa kuat dukung tanah yang terjadi lebih kecil dibanding kuat dukung tanah ijin. Dengan kata lain tanah yang tergolong ke dalam tanah lunak ini mampu mendukung beban-bebannya.

## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis terhadap pondasi Cakar Ayam, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pondasi Cakar Ayam dapat digunakan pada tanah sangat lunak.
2. Pondasi Cakar Ayam yang dianalisis menggunakan tebal pelat 20 cm, tebal pipa 10 cm, diameter pipa 120 cm, panjang pipa 240 cm, jarak antar pipa 250 cm, dengan beban pesawat B 747B menghasilkan kuat dukung sebesar  $0,0801 \text{ kg/cm}^2$  yang berarti jauh dari kuat dukung tanah ijin sebesar  $0,25 \text{ kg/cm}^2$ , dengan demikian mampu mendukung beban yang ada. Untuk penulangan pelat digunakan tulangan berdiameter 12 mm.
3. Kuat dukung pondasi Cakar Ayam lebih kecil dibanding kuat dukung pondasi pelat tanpa pipa. Sehingga pondasi Cakar Ayam lebih mampu dalam mendukung beban daripada pondasi pelat tanpa pipa.

#### 7.2 Saran

Pada kesempatan ini penulis ingin mengajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kuat dukung pondasi Cakar Ayam seperti tata letak pipa, kedalaman pipa, jenis tanah pendukung.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Bowles, J.E., 1994, **ANALISIS DAN DESAIN PONDASI**, jilid 2, Erlangga, Jakarta.
2. Gito Purnomo, 1982, **PONDASI CAKAR AYAM**, Jakarta.
3. Hary Christiady Hardiyatmo, 1997, **TEKNIK PONDASI I**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
4. Robert Horonjeff dan Francis X. McKelvey, 1988, **PERENCANAAN DAN PERANCANGAN BANDAR UDARA**, jilid 1, Erlangga, Jakarta.
5. Wahyudi, L. dan Syahril A. Rahim, 1997, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
6. ———— , 1980, **DARI BUMI YANG RESAH SAMPAI SISTIM CAKAR AYAM**, Sinar Harapan, 8 Januari.
7. ———— , 1982, **SISTIM CAKAR AYAM MULAI DIUNGKAP**, Konstruksi, No 3 (Maret), pp 50 - 62.
8. ———— , 1982, **GEDUNG TERTINGGI DENGAN PONDASI CAKAR AYAM DIBANGUN DI KALTIM**, Kompas, 19 April.
9. ———— , 1983, **CAKAR AYAM UNTUK CENGKARENG MERUPAKAN KEPUTUSAN POLITIK**, Pikiran Rakyat, 1 Pebruari.
10. ———— , 1983, **UNTUK PERTAMA KALI PONDASI CAKAR AYAM DIPAKAI LANDASAN PESAWAT**, Kompas, 13 Maret.

11. ———— , 1983, **PENGGUNAAN SISTEM CAKAR AYAM MERUPAKAN KEPUTUSAN POLITIK**, Kompas, 14 Maret.
12. ———— , 1984, **DIBANGUN DENGAN PONDASI CAKAR AYAM DIKERJAKAN OLEH 3200 TENAGA PELAKSANA**, Pikiran Rakyat, 30 Maret.
13. ———— , 1984, **PENEMU PONDASI CAKAR AYAM MENINGGAL**, Kompas, 16 Juli.
14. ———— , 1984, **SISTEM PONDASI CAKAR AYAM DIGUNAKAN DI DALAM DAN LUAR NEGERI**, Kompas, 17 Juli.
15. ———— , 1984, **MANUSIA TEKNIK YANG BERPOLA SOSIAL BUDAYA**, Sinar Harapan, 20 Juli.
16. ———— , 1984, **PONDASI CAKAR AYAM DAN MISTERI POHON KELAPA**, Sinar Harapan, 10 Oktober.

10  
8  
6  
4  
10  
8  
6  
4  
10  
8  
6  
4  
0

# LAMPIRAN





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO

SOIL TEST

Project : Pemb. Dermaga  
: PT. SEMEN GRESIK  
Location : Pelabuhan Tanjung Emas  
: Semarang.

NO	Boring No	Sample Code	Depth (m)	Water Content (w) %	Specific Gravity Of Solid (Gs)	Unit weight $\gamma$ gr/cm <sup>3</sup>	Unit Weight		Sub Unit Weight $\gamma_{sub}$ gr/cm <sup>3</sup>	porosity (n) %	Void Ratio (e)
							Dry Unit Weight $\gamma_d$ gr/cm <sup>3</sup>	$\gamma$ gr/cm <sup>3</sup>			
1	BH.1	BH.1	3.00 - 3.50	66.67	2.1521	1.4732	0.8839	0.4732	58.93	1.4347	
2			6.00 - 6.50	48.85	2.1993	1.5782	1.0602	0.5782	51.79	1.0743	
3			8.00 - 8.50	53.22	2.3009	1.5848	1.0343	0.5848	55.05	1.2245	
4			11.00 - 11.50	59.04	2.1521	1.5074	0.9478	0.5074	55.96	1.2706	
5			13.50 - 14.00	62.41	2.3258	1.5408	0.9487	0.5408	59.21	1.4516	
6			16.00 - 16.50	57.97	2.2402	1.5395	0.9746	0.5395	56.50	1.2987	
7			18.50 - 19.00	51.38	2.3123	1.5998	1.0568	0.5998	54.30	1.1880	
8			21.00 - 21.50	55.25	2.2993	1.5723	1.0127	0.5723	55.95	1.2704	
9			23.50 - 24.00	62.22	2.2489	1.5205	0.9373	0.5205	58.32	1.3993	
10			26.00 - 26.50	71.86	2.2933	1.4884	0.8661	0.4884	62.24	1.6480	
11			28.50 - 29.00	31.42	2.1843	1.7023	1.2953	0.7023	40.70	0.6864	
12			31.00 - 31.50	30.88	2.1950	1.7122	1.3082	0.7122	40.40	0.6779	
13			35.50 - 34.00	29.59	2.1635	1.7094	1.3190	0.7094	39.03	0.6402	
14			36.00 - 36.50	25.04	2.4728	2.1312	1.7045	1.0152	31.07	0.4508	
15			38.50 - 39.00	29.52	2.5578	2.1263	1.6416	0.9998	35.82	0.5581	



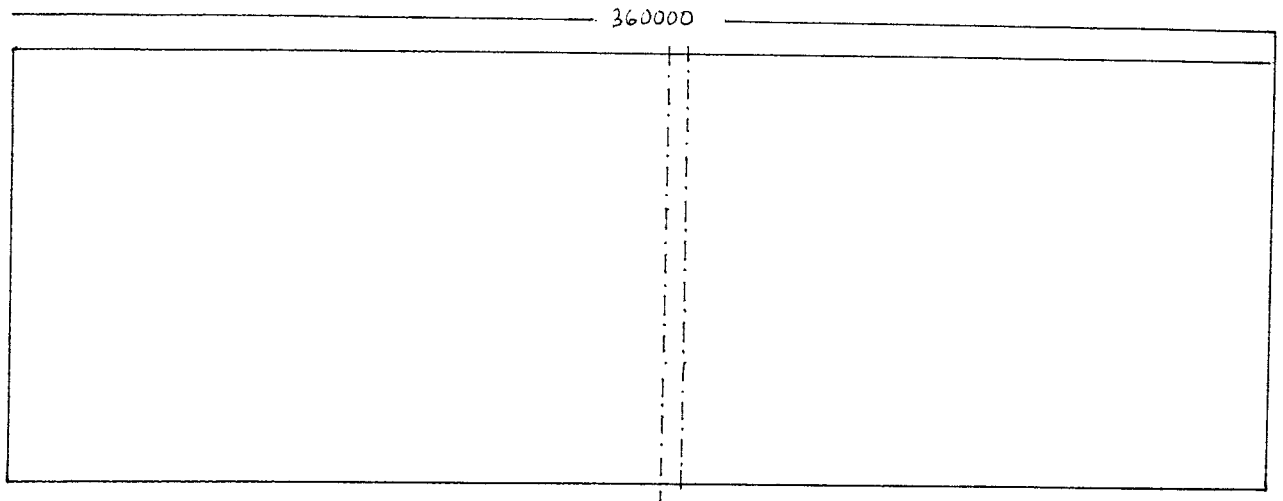
HASIL SONDIR

PROYEK : Pemb. Dermaga PT. SEMEN GRESIK  
LOKASI : Pelabuhan Tanjung Emas - Semarang.  
TITIK : SM 1

TANGGAL : 7.5.1997  
TEAM : LMIT - FT - UNDP  
0,00 Sondir Mesin = +4,50 dan dasar laut

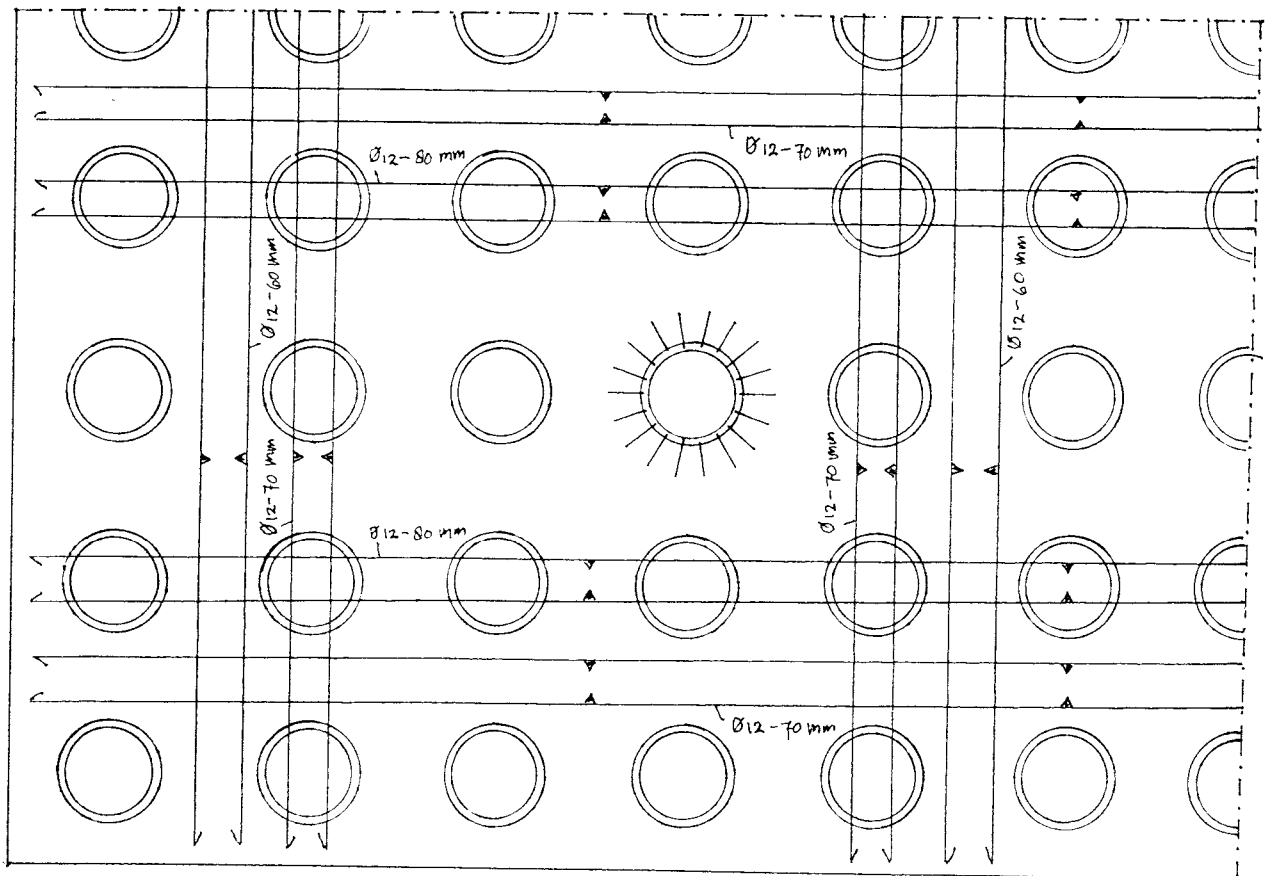
DEPTH (M)	qc gambar (kg/cm <sup>2</sup> )	qc baca (kg/cm <sup>2</sup> )	qc - f (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg/cm <sup>2</sup> )	TF (kg/cm)	DEPTH (M)	qc gambar (kg/cm <sup>2</sup> )	qc baca (kg/cm <sup>2</sup> )	qc - f (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg/cm <sup>2</sup> )	TF (kg/cm)	
0,00						20,20	6,00	3,00	5,00	5,33	225,33	
0,20						20,40	6,00	3,00	5,00	5,33	230,67	
0,40						20,50	5,00	3,00	5,00	5,33	236,00	
0,50						20,80	8,00	4,00	6,00	5,33	241,33	
0,80						21,00	8,00	4,00	6,00	5,33	246,67	
1,00		AIR LAUT					21,20	8,00	4,00	6,00	5,33	252,00
1,20						21,40	8,00	4,00	6,00	5,33	257,33	
1,40						21,60	8,00	4,00	6,00	5,33	262,67	
1,50						21,80	8,00	4,00	6,00	5,33	268,00	
1,80						22,00	8,00	4,00	6,00	5,33	273,33	
2,00						22,20	8,00	4,00	6,00	5,33	278,67	
2,20						22,40	8,00	4,00	6,00	5,33	284,00	
2,40						22,50	10,00	5,00	6,00	2,67	286,67	
2,50						22,80	10,00	5,00	6,00	2,67	289,33	
2,80						23,00	10,00	5,00	6,00	2,67	292,00	
3,00						23,20	14,00	7,00	8,00	2,67	294,67	
3,20						23,40	14,00	7,00	8,00	2,67	297,33	
3,40						23,60	15,00	8,00	10,00	5,33	302,67	
3,60						23,80	20,00	10,00	12,00	5,33	308,00	
3,80						24,00	20,00	10,00	12,00	5,33	313,33	
4,00						24,20	20,00	10,00	12,00	5,33	318,67	
4,20						24,40	20,00	10,00	13,00	8,00	326,67	
4,40						24,50	20,00	10,00	13,00	8,00	334,67	
4,50						24,80	20,00	10,00	13,00	8,00	342,67	
4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	24,00	12,00	14,00	5,33	348,00	
5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,20	24,00	12,00	13,00	2,67	350,67	
5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,40	24,00	12,00	14,00	5,33	356,00	
5,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,50	24,00	12,00	15,00	8,00	364,00	
5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,80	24,00	12,00	15,00	8,00	372,00	
5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	24,00	12,00	15,00	8,00	380,00	
6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,20	24,00	12,00	15,00	8,00	388,00	
6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,40	24,00	12,00	15,00	8,00	396,00	
6,40	0,50	0,25	0,50	0,57	0,57	26,50	24,00	12,00	15,00	8,00	404,00	
6,50	0,50	0,25	0,50	0,57	1,33	26,80	24,00	12,00	15,00	8,00	412,00	
6,80	0,50	0,25	0,50	0,57	2,00	27,00	30,00	15,00	18,00	8,00	420,00	
7,00	0,50	0,25	0,50	0,57	2,57	27,20	24,00	12,00	16,00	10,67	430,67	
7,20	0,50	0,25	0,50	0,57	3,33	27,40	34,00	17,00	20,00	8,00	438,67	
7,40	0,50	0,25	0,50	0,57	4,00	27,50	30,00	15,00	20,00	13,33	452,00	
7,50	0,50	0,25	0,50	0,57	4,57	27,80	30,00	15,00	20,00	13,33	465,33	
7,80	0,50	0,25	0,50	0,57	5,33	28,00	34,00	17,00	20,00	8,00	473,33	
8,00	0,50	0,25	0,50	0,57	6,00	28,20	34,00	17,00	20,00	8,00	481,33	
8,20	0,50	0,25	0,50	0,57	6,57	28,40	40,00	20,00	20,00	0,00	481,33	
8,40	0,50	0,25	0,50	0,57	7,33	28,50	34,00	17,00	20,00	8,00	489,33	
8,50	0,50	0,25	0,50	0,57	8,00	28,80	30,00	15,00	20,00	13,33	502,67	
8,80	1,00	0,50	1,00	1,33	9,33	29,00	34,00	17,00	22,00	13,33	516,00	
9,00	1,00	0,50	1,00	1,33	10,57	29,20	40,00	20,00	24,00	10,67	526,67	
9,20	1,00	0,50	1,00	1,33	12,00	29,40	40,00	20,00	20,00	0,00	526,67	
9,40	1,00	0,50	1,00	1,33	13,33	29,50	36,00	18,00	24,00	16,00	542,67	
9,50	1,00	0,50	1,00	1,33	14,57	29,80	36,00	18,00	22,00	10,67	553,33	
9,80	1,00	0,50	1,00	1,33	15,00	30,00	36,00	18,00	22,00	10,67	564,00	
10,00	1,00	0,50	1,00	1,33	17,33	30,20	35,00	18,00	22,00	10,67	574,67	
10,20	1,00	0,50	1,00	1,33	18,57	30,40	36,00	18,00	22,00	10,67	585,33	
10,40	1,00	0,50	1,00	1,33	20,00	30,50	36,00	18,00	22,00	10,67	596,00	
10,50	2,00	1,00	2,00	2,57	22,57	30,80	36,00	18,00	22,00	10,67	606,67	
10,80	2,00	1,00	2,00	2,57	25,33	31,00	35,00	18,00	22,00	10,67	617,33	
11,00	2,00	1,00	2,00	2,57	28,50	31,20	36,00	18,00	22,00	10,67	628,00	
11,20	2,00	1,00	2,00	2,57	30,57	31,40	36,00	18,00	22,00	10,67	638,67	
11,40	2,00	1,00	2,00	2,57	33,33	31,50	36,00	18,00	22,00	10,67	649,33	
11,50	2,00	1,00	2,00	2,57	36,00	31,80	36,00	18,00	22,00	10,67	660,00	
11,80	2,00	1,00	2,00	2,57	38,57	32,00	36,00	18,00	22,00	10,67	670,67	
12,00	2,00	1,00	2,00	2,57	41,33	32,20	36,00	18,00	22,00	10,67	681,33	
12,40	2,00	1,00	2,00	2,57	44,00	32,40	36,00	18,00	24,00	16,00	692,00	
12,50	2,00	1,00	2,00	2,57	46,57	32,50	36,00	18,00	24,00	16,00	713,33	
12,80	2,00	1,00	2,00	2,57	49,33	32,80	36,00	18,00	22,00	10,67	724,00	
13,00	2,00	1,00	2,00	2,57	52,00	33,00	34,00	17,00	20,00	8,00	732,00	
13,20	2,00	1,00	2,00	2,57	54,57	33,20	36,00	18,00	22,00	10,67	742,67	
13,40	2,00	1,00	2,00	2,57	57,33	33,40	40,00	20,00	27,00	18,67	751,33	
13,50	2,00	1,00	2,00	2,57	60,00	33,60	40,00	20,00	27,00	18,67	780,00	
13,80	2,00	1,00	2,00	2,57	62,57	33,80	44,00	22,00	28,00	16,00	796,00	
14,00	2,00	1,00	2,00	2,57	65,33	34,00	40,00	20,00	28,00	21,33	817,33	
14,20	2,00	1,00	2,00	2,57	68,00	34,20	32,00	16,00	25,00	24,00	841,33	
14,40	2,00	1,00	2,00	2,57	70,57	34,40	34,00	17,00	25,00	21,33	862,67	
14,50	2,00	1,00	2,00	2,57	73,33	34,60						
14,80	2,00	1,00	2,00	2,57	76,00	34,80						
15,00	2,00	1,00	2,00	2,57	78,57	35,00						
15,20	2,00	1,00	2,00	2,57	81,33	35,20						
15,40	2,00	1,00	2,00	2,57	84,00	35,40						
15,50	2,00	1,00	2,00	2,57	86,57	35,60						
15,80	2,00	1,00	2,00	2,57	89,33	35,80						
16,00	2,00	1,00	2,00	2,57	92,00	36,00						
16,20	4,00	2,00	4,00	5,33	94,57	36,20						
16,40	4,00	2,00	4,00	5,33	100,00	36,40						
16,50	4,00	2,00	4,00	5,33	105,33	36,60						
16,80	4,00	2,00	4,00	5,33	110,57	36,80						
17,00	4,00	2,00	4,00	5,33	116,00	37,00						
17,20	4,00	2,00	4,00	5,33	121,33	37,20						
17,40	4,00	2,00	4,00	5,33	126,57	37,40						
17,60	4,00	2,00	4,00	5,33	132,00	37,60						
17,80	4,00	2,00	4,00	5,33	137,33	37,80						
18,00	4,00	2,00	4,00	5,33	142,57	38,00						

GAMBAR DAN DETAIL PENULANGAN PONDASI CAKAR AYAM



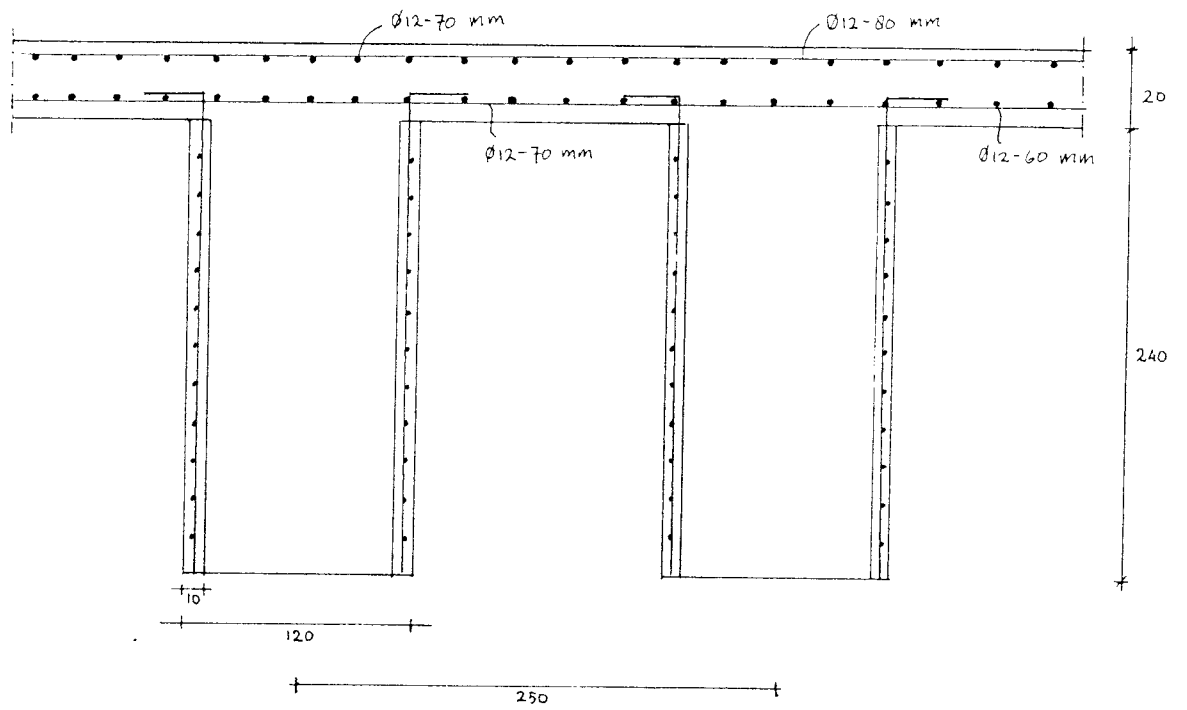
TAMPAK ATAS RUNWAY

SKALA 1 : 1000



PENULANGAN PELAT PONDASI CAKAR AYAM

SKALA 1 : 100



TAMPAK SAMPING PENULANGAN PELAT

SKALA 1:40

# Gedung Tertinggi dengan Fondasi Cakar Ayam Dibangun di Kaltim

Jakarta, Kompas — Gedung tertinggi dan terbesar yang menggunakan sistem fondasi cakar ayam, suatu sistem khas Indonesia yang ditemukan oleh Prof. Sedwatno, saat ini sedang dibangun di Samarinda, Kalimantan Timur. Kalau gedung yang dibangun sejak Agustus 1980 yang lalu jadi sesuai dengan rencana, Maret 1983 mendatang, maka gedung tersebut akan menjadi contoh bagi gedung-gedung tinggi yang akan dibangun di atas daerah rawa-rawa. Kaltim seperti banyak daerah lainnya di Kalimantan dan daerah-daerah lain di Indonesia, daerahnya merupakan rawa-rawa yang selalu tergenang air.

Dibanding dengan sistem konvensional, maka sistem fondasi cakar ayam konon jauh lebih murah. Selain itu juga sistem ini sangat cocok dengan kondisi tanah lembek yang terdiri dari rawa-rawa. Karena itu, cakar ayam ini juga ditawarkan kepada Irak untuk proyek pembangunan jalan di negara tersebut yang tanahnya terdiri dari rawa-rawa. Selain itu

pelaksanaan gedung tersebut dikerjakan oleh kontraktor nasional. Seluruhnya tidak kurang dari 1047 buah pipa beton yang dipakai untuk memancang konstruksi cakar ayam, dan hampir semua pekerjaan fondasi munggu lalu sudah selesai. Begitu juga pekerjaan cor sebagian besar sudah rampung. Sedangkan pekerjaan fondasi tidak saja membutuhkan waktu atau kurang dari 368 hari kerja atau lebih setahun dengan jumlah pekerja sebanyak 42.000 orang lebih. Kalau gedung itu berhasil dibangun, maka Indonesia akan merupakan negara pertama yang menggunakan sistem cakar ayam untuk gedung-gedung tingginya.

pelabuhan udara internasional Cengkareng yang saat ini sedang dikerjakan juga memakai sistem yang sama. Dengan tujuan supaya biaya lebih murah di samping sesuai dengan kondisi tanah di situ. Dan kalau lapangan udara itu jadi, maka Cengkareng akan merupakan lapangan udara pertama di dunia yang memakai fondasi cakar ayam.

Dalam kunjungannya ke Kaltim minggu lalu, Menteri Pekerjaan Umum Dr Ir Purnomosidi Hadjiongan gedung Setwilda yang terletak di tepi Sungai Mahakam, Samarinda itu. Pada kesempatan itu Menteri memberi petunjuk kepada para pelaksana yang mengerjakan pembangunan gedung itu.

Gedung Setwilda bertingkat enam itu akan menelan biaya Rp 5,3 milyar lebih, di antaranya Rp 2,1 milyar lebih untuk biaya struktur fondasi cakar ayam. Tinggi seluruhnya dari titik 0 adalah 29 meter dengan luas lantai 8322 meter. Baik perencanaan maupun

# Pelud Cengkareng Untuk pertama kali, pondasi cakar ayam dipakai landasan pesawat

UNTUK pertama kalinya di dunia, sistem fondasi cakar ayam, sistem fondasi cakar ayam diciptakan Prof. Sedyatno, dipakai untuk fondasi landasan pesawat udara yang di Cengkareng yang akan merupakan salah satu landasan termegah di Asia Tenggara. Fondasi cakar ayam memang sudah dikenal untuk fondasi ben- dung atau apron (tempat parkir pesawat). Tapi, untuk fondasi yang akan menampung beban bergerak sebesar gedung berting- kat sepuluh seperti halnya pesa- wat Boeing 747, baru pertama kalinya dibuat. Fondasi cakar ayam yang cocok untuk tempat parkir pesawat itu akan dipa- kai sebagai fondasi landasan untuk tinggal landas dan pen- daratan pesawat-pesawat raksasa.

President Soeharto sendiri juga yang memutuskan pemakaian fondasi cakar ayam di Cengkareng itu. Dari keputusan tersebut, me- nurut Presiden, merupakan ke- putusan politis yang mengangkat martabat bangsa Indonesia dalam bidang teknologi.

**PELABUHAN UDARA (Pelud)** Kemayoran yang selama ini dipa- kai untuk operasi penerbangan domestik akan ditutup pada tahun 1985. Selain lokasinya tidak cocok untuk landasan udara karena berada di tengah-tengah kota, juga tidak bisa diperluas lagi untuk

melayani operasi-operasi pener- bangan yang makin meningkat. Sama seperti Kemayoran, menu- rut Dirut Perum Angkasa Pura Harry Subagyo minggu lalu, la- pangan udara Halim Perdanaku- surma juga akan ditutup untuk penembangan umum dan sipil. Lapangan ini akan khusus bagi penerbangan militer.

Sementara itu, sebuah jalan bebas hambatan (tol) khusus dari pelabuhan udara Cengkareng ke Jakarta sepanjang 13,5 Km akan dibuat. Kontrak pembuatan jalan yang akan menelan biaya Rp. 13 milyar itu dilakukan awal minggu ini. Jalan tersebut akan menyusuri pantai utara, mulai dari lokasi pelabuhan udara melalui kecamatan Benda di Tangerang terus menembus daerah Pluit di Ja- karta.

Menurut keterangan Perum Angkasa Pura, tidak kurang dari 2000 tenaga ahli kini tengah disiap- kan untuk mengelola Pelud Ceng- kareng. Bekerja sama dengan Be- landa, sebagian tenaga yang akan menangani operasi-operasi pener- bangan menjelang tahun 2000 itu kini sedang latihan praktek di bandar udara Schiphol, Am- sterdam.

Menurut perhitungan para ahli, "kejenuhan" udara Jakarta karena ramainya frekuensi penerbangan akan tercapai pada tahun 1985.

Ketika itu diperkirakan tidak kurang dari 138.000 gerakan pesa- wat akan terjadi selama setahun, baik internasional maupun do- mestik.

Jumlah gerakan pesawat itu sebenarnya akan lebih besar dari perkiraan. Karena pada tahun 1982 yang lalu saja, jumlah gerakan pesawat yang lewat di Pelabuhan Udara Kemayoran, Halim Perdu- nakusuma dan Ngurah Rai, sudah mencapai 148.300 gerakan untuk domestik dan 20.000 gerakan untuk internasional.

Sementara itu, jumlah penum- pang pesawat diperkirakan akan meningkat hampir dua kali lipat pada tahun 1985, mendatang di- bandingkan tahun 1980. Kalau pada tahun 1980 misalnya ada 5,2 juta penumpang pesawat baik internasional maupun domestik, maka 5 tahun mendatang jumlah penumpang akan mencapai 8,9 juta lebih.

\*\*\*

WAKTU pertama kali diren- canakan, ada 8 buah lokasi yang dipertimbangkan untuk pelabu- han udara yang bisa menampung kegiatan sampai tahun 2000 men- datang. Berbagai macam pertim- bangan, antara lain pertimbangan lingkungan, situasi daerah bagi pembebasan tanah, kebiasaan dan keselamatan diperhitungkan dalam menentukan pilihan.

Ketika itu lokasi yang dipertim- bangkan adalah Kemayoran dan Halim Perdanakusuma yang seka- rang telah dipakai. Babakan serta Jonggol di Bekasi, Tangerang utara dan Tangerang selatan serta Curug dan Kota Tangerang sendiri. Akhirnya lokasi Tangerang utara yang dikenal sebagai Cengkareng, "lulus" dari pertimbangan- pertimbangan di atas.

Direncanakan sejak tahun 1970 yang lalu, pelud Cengkareng telah merampungkan studi kelayakan, "master plan study" serta "final design". Untuk studi kelayakan yang dilakukan oleh sebuah kop- sultan AS menghabiskan US \$ 325.000 (Rp 227,5 juta) berupa hibah dari AS.

Rancangan induk yang dibuat antara tahun 1974-75 oleh konsult- an Kanada menghabiskan dana US 1 juta (Rp 572 juta) lebih berasal dari bantuan teknik Kanada. Ran- cangan Akhir dikerjakan oleh konsultan "Aeroport de Paris" dan lapangan yang juga merencan- kan lapangan udara Charles De Gaulle Paris, antara tahun 1977 sampai 1979. Untuk ini telah menelan biaya FF-22,4 juta (Rp 2 milyar) lebih dari bantuan teknik Prancis dan Rp 177 juta lebih yang berasal dari APBN.

Biaya pembanguan tahap per- tama yang akan selesai akhir tahun 1984 diperkirakan akan

menelan Rp 140,4 milyar dan US \$ 15,8 juta (Rp 11 milyar) yang berasal dari APBN. Serta FF-1,2 milyar (Rp 120 milyar) lebih yang berasal dari pinjaman Pemerintah Prancis.

Kontrak pembangunan fisik yang dilakukan melalui tender internasional dimenangkan oleh konsorsium kontraktor Prancis. Dalam operasinya, Konsorsium ini diharuskan bekerja sama dengan kontraktor nasional PT Waskita Karya.

Dengan arcal yang sudah di- bebaskan seluas 1800 hektar, maka luas pelud Cengkareng tiga selengah kali luas area Pelud Kemayoran.

Bila diperlukan, area ini bisa diperluas sampai 3000 hektar sesuai dengan rencana induk yang dibuat.

Landasan Pelud Cengkareng akan dibuat dua buah pada tahap pertama, yang letaknya sejajar. Dengan lebar masing-masing 60 meter landasan utama panjang- nya 3660 meter dan 3050 meter. Kedua landasan itu akan mampu melayani pesawat-pesawat ber- badan lebar seperti Boeing 747 dan Airbus A-300 yang diperkirakan akan mendominasi penerbangan.

# Perencanaan dan Pengembangan Sistem Cakar Ayam Menjadi Sistem Cakar Ayam Menjadi Sistem Cakar Ayam Menjadi Sistem Cakar Ayam

dan Restoran Harus Melayani Wisatawan Lebih Baik

**Kompas**  
Gunakan sistem teknologi  
Ayam pada pembangunan  
Udara Internasional  
yang merupakan kepulauan  
Sistem itu merupakan  
Anologi putra Indonesia  
yang sebelumnya banyak  
minat kekuatannya.

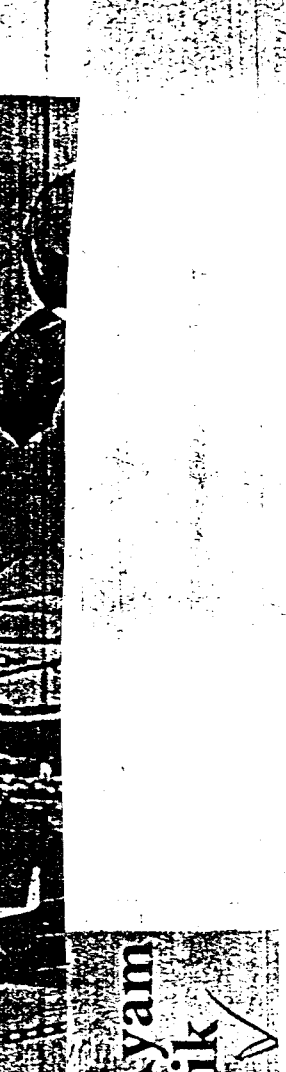
Presiden Soeharto meng-  
gunakan hal ini. Senin kemarin  
bersama Ny. Tien Soeharto  
di pelaksanaan pembanga-  
nan pelabuhan udara itu yang  
selesai 37 persen.  
Presiden Soeharto mengingat-  
kannya pelabuhan itu  
menampung arus wisatawan  
di Indonesia.

Sebaliknya, kalau wisatawan itu  
merasa dikecewakan, tidak dapat  
dapat pelayanan seperti yang  
mereka harapkan, tapi untuk itu  
mereka harus membayarkan lebih  
lebihan maka yang kita perlukan  
hanyalah keengganan mereka ber-  
kurang untuk kedua kalinya.  
Malah mungkin lebih banyak  
mereka akan menemukannya  
kepada teman-teman mereka  
yang datang ke Indonesia.  
"Apabila ini terjadi maka kita  
yang bagaimana pun untuk ini  
datangkan wisatawan ke sini  
tidak akan membawa hasil yang  
apa. Karena tanpa hotel dan re-  
storan yang dapat memberikan pe-  
layan yang baik, arus wisatawan  
akan sulit diuntungkan."

Kepala Negara mendandani  
pariwisata mempunyai potensi  
besar dalam keseluruhan ger-  
bang pembangunan bangsa. Dengan  
sekarang banyak maka rencana  
ngembangan sektor pariwisata  
menganjurkan yang penting  
Sejalan dengan ini pula maka  
dalam alam pembangunan sampai  
sekarang, perusahaan hotel dan  
restoran telah tumbuh pesat  
dengan perkembangan pemban-  
gunan nasional pada umumnya.  
Namun, Presiden Soeharto  
mengingatkan selanjutnya, apa  
yang telah tercapai itu bukanlah  
pada tahap permulaan yang masih  
harus terus kita kembangkan, kita  
perhatikan dan kita berikan

Kekuatan landasan proyek  
Cengkareng itu adalah tiga kali  
kekuatan pesawat Jumbo Boeing  
747. Panjang landasan pertama  
3.050 m dan landasan kedua 3.800  
meter. Lebar landasan itu 60  
meter.  
Pelabuhan Udara Cengkareng  
itu nantinya berwujud Indonesia  
dengan dilengkapi taman-taman  
indah, plaza untuk pertunjukan  
tari-tarian dan bangunan terminal  
berbentuk "joglo".  
"Memang kapasitas terminalnya  
mungkin lebih kecil dari Pelabuhan  
Udara Changi di Singapura.  
Kalau Changi itu tampak begitu  
mewah maka Cengkareng lebih  
kelihatan indah dan menarik, de-  
mikian Dirjen Sutoyo.  
Pondasi cakar ayam berbentuk  
suatu stabiplat beton bertulang  
yang mempunyai pipa-pipa beton  
di bawahnya yang disusun ber-  
aturan. Tebal slab antara 12 sampai  
dengan 15 cm sedangkan pipa-  
pipa bergaris tengah 1,20 m  
dengan tebal 5 cm. Jarak pipa-pipa  
ini berkisar antara 2 m sampai 4 m  
pada sumbuannya.  
Landasan dengan pondasi cakar  
ayam ini setelah diuji ternyata  
sangat kuat dan mampu menerima  
beban (tekanan) tiga kali berat  
Boeing 747, kata Pimpinan proyek  
JIA Cengkareng, Ir Karno Barkah.  
Lapangan parkir pesawat  
(apron) internasional mampu me-  
nampung tujuh posisi pesawat  
Boeing 747 dan tujuh posisi pesa-  
wat DC-10/L-1011 dan apron do-  
mestik mampu menampung 14  
posisi pesawat Airbus A-300B dan  
parkir jauh delapan posisi pesawat  
Fokker-28.  
Sedang apron untuk pesawat  
terbang angkutan barang mampu  
menampung empat posisi pesawat  
Boeing 747.  
Sedang terminal penumpang  
yang terdiri dari satu subunit  
untuk penumpang internasional  
dan dua subunit untuk penun-  
gang domestik mampu menam-  
pung sembilan juta penumpang  
per tahun.

Terminal barang terdiri dari  
terminal barang dan terminal



Tetapi ketika mendapat kesem-  
pitan untuk mengembangkan di-  
rinya secara bebas, ia mencapai  
prestasi yang gemilang. Ia dikenal  
sebagai insinyur yang sangat krea-  
tif dan penuh keisinsinan. Menda-  
pat gelar Doctor Honoris Causa  
dari ITB.  
Pondasi cakar ayam adalah hasil  
pemikiran Sedjatmo untuk meng-  
atasi persoalan-persoalan yang di-  
temui dalam hal membuat ba-  
ngunan pada tanah-tanah lembek.  
Selain sistem cakar ayam, ia juga  
menemukan sistem pipa pesat  
beton bertulang, pompa hidrolis  
untuk keperluan irigasi dan lain-  
lain.

Mentri Perhubungan Roessun  
Nurjadin dalam laporannya me-  
ngatakan, pembangunan proyek  
Pelabuhan Udara Cengkareng  
sudah 37 persen selesai. Pelabu-  
han yang nanti digunakan untuk  
perubahan domestik dan luar  
negeri itu akan selesai akhir 1984  
dan mulai beroperasi April 1985.  
Sebuah jalan baru menuju Pluit  
kini sedang dibangun sepanjang  
lebih kurang 14 km dari Cengka-  
reng. Jalan itu selesai Oktober  
1983. Fasilitas telepon dengan  
sistem digital air minum dari  
Tangerang dan tenaga listrik dari  
Muara Karang.

Selain jalan menuju Pluit, juga  
akan dibangun jalan tol menuju  
Grogol dan jalur kereta api dari  
Pelabuhan Udara Cengkareng ke  
Jakarta, demikian Menteri Perhu-  
bungan.  
Menurut Dirjen Perhubungan  
Udara Sutoyo, pembangunan Pe-  
labuhan Udara Cengkareng yang  
dimulai 1981 itu akan menelan  
biaya sekitar Rp 335 milyar yang  
berasal dari pinjaman Perancis  
dan APBN.  
Pipa beton dengan diameter 1,20  
cm dan tinggi dua meter diguna-  
kan untuk konstruksi landasan  
dan landasan parkir bagi pesawat.  
Pipa-pipa beton itu seluruhnya  
berjumlah lebih kurang 220.000  
buah.

an politik. Dengan sistem ini nama  
baik Indonesia menjadi diketahui  
lumin. Sistem cakar ayam terse-  
but merupakan hasil teknologi  
dari putra Indonesia sendiri yang  
cukup bisa bersaing dengan  
sistem teknologi lainnya," kata  
Presiden.  
"Kepik-kepik"  
Presiden Soeharto mengingat-  
kan dalam membangun proyek  
Pelabuhan Udara Cengkareng  
agar diperhatikan setelah mung-  
kin faktor faktor yang dapat  
mengganggu kenikmatan suatu  
pelabuhan udara internasional.  
Misalnya pengaruh "kepik-  
kepik" (gemacam serangga yang  
suka pada sinar lampu di malam  
hari) agar diperhatikan. "Sebab  
jika pelabuhan ini dipakai pada  
waktu malam, jangan sampai  
kepik-kepik itu mengganggu pe-  
numpang yang ada di terminal,"  
ucap Presiden Soeharto.  
Presiden mengharapkan dalam  
memberikan pelayanan dalam  
pengoperasian pelabuhan itu  
dapat diberi kesan yang indah dan  
menarik bagi pengunjung. Karena  
pelabuhan udara merupakan  
pintu gerbang masuk ke negeri ini.  
"Kalau kesan pertama jelek, itu  
akan mempengaruhi kesan bahwa  
Indonesia seluruhnya jelek," kata  
Presiden.

Pondasi cakar ayam adalah  
satu sistem pondasi yang ditemu-  
kan oleh Prof Dr Ir R.M. Sedjat-  
mo. Karena itu sistem itu sering  
pula disebut Sistem Sedjatmo.  
Sedjatmo dilahirkan tanggal 24  
Oktober 1909 menjelang pendidik-  
an HIS di Solo. Dengan beasiswa  
dari Mangkunegaran, meneruskan  
pelajarannya ke MULO di Solo  
pula, kemudian ke AMS "B" di  
Yogyakarta, juga dengan beasi-  
wa. Seterusnya juga dengan be-  
asiswa ia meneruskan pelajarannya  
ke THS (Sekolah Tinggi Teknik ITB,  
sekarang di Bandung). Dia  
bukan pelajar atau mahasiswa  
yang cemerlang ketika masih se-  
kolah. Di THS ia bahkan hampir  
selalu mendapat honor terakur.

selalu mendapat honor terakur

# Melengkap Pembangunan Pelabuhan Udara Cengkareng (2-Habis) Dibangun Dgn Pondasi "Cakar Ayam" Dikerjakan Oleh 3.200 Tenaga Pelaksana

Laporan: HASAN DHIAN S (Wartawan "PR")

**PEMBANGUNAN** Pelud Cengkareng (20 Km barat Jakarta) yang dewasa ini hampir rampung, dikerjakan oleh 3.200 tenaga pelaksana, diantaranya 185 orang tenaga asing (Perancis). "Sistem konstruksi yang dipakai baik untuk landasan maupun terminalnya digunakan konstruksi "Cakar Ayam", hasil penemuan putra Indonesia Prof. DR. Ir. Sedjajitmo. Pondasi Cakar Ayam berbentuk suatu slab/piat beton bertulang yang mempunyai pipa-pipa beton bertulang di bawahnya, yang disusun beraturan.

Keuntungan yang didapat dari sistem Cakar Ayam ini terutama pada tanah lembek, bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia (padat karya) maupun dengan teknologi modern, mudah dilaksanakan sehingga menghemat waktu pelaksanaan, dan biaya pembangunan relatif lebih murah dibanding dengan sistem lain dengan kekuatan yang sama.

Penggunaan pondasi Cakar Ayam di Pelud Cengkareng, sebelumnya diadakan percobaan percobaan internasional oleh sejumlah ahli dan konsultan asing bersama konsultan Indonesia (Konavi) dan PT Cakar Bumi yang bertindak sebagai desainer konstruksi Cakar Ayam. Sebelum digunakan di Pelud Cengkareng, pondasi Cakar Ayam juga telah digunakan pada perluasan Pelud AL Juanda Surabaya dan Pelud Polonia Medan. Area Pelud Cengkareng dengan konstruksi Cakar Ayam seluas 1.200.000 M<sup>2</sup> dengan jumlah pipa yang ditanam 240.000 buah.

**LANDASAN** terbang Pelud Cengkareng dibangun dua landasan sejajar yang terpisah satu

sama lainnya seluas 2.400 meter, termasuk kategori landasan bebas sehingga dapat dioperasikan secara simultan. Landasan sebelah selatan merupakan landasan utama berukuran 3.660 M panjang dan lebar 60 M. Landasan utama ini dimaksudkan untuk penerbangan internasional. Sedangkan landasan sebelah utara adalah landasan sekunder berukuran lebih kecil 3.050 M X 60 M untuk penerbangan domestik.

Kapasitas landasan masing-masing ditetapkan 37 gerakan penerbangan/jam, pada lamal sub tahun 1985 ditransformasikan akan terdapat 39 gerakan/jam dan tahun 2.000 akan mencapai 69 gerakan/jam.

Untuk terminal penumpang pada tahap pertama dibangun satu terminal dengan kapasitas sembilan juta penumpang per tahun (1985) terdiri dari 2.488.000 penumpang internasional dan 6.480.000 penumpang domestik, dilayani dalam tiga unit sub terminal.

Luas terminal seluruhnya 46.000 M<sup>2</sup>, bertingkat dua dengan bentuk dasar segi tiga sama sisi. Bentuk ini mengingatkan kita kepada bentuk rumah tradisional "Joglo", dengan warna merah menyala mulai dari atap genteng, penyangga. "Warna ini merupakan ciri khas daerah tropis", ujar petugas Humas Proyek Pelud kepada wartawan ketika melakukan peninjauan.

Sarana lain yang dibangun di sini antara lain terminal barang, lapangan parkir kendaraan yang mampu menampung 2.400 kendaraan sekaligus, pengendali lalu lintas udara setinggi 80 M dilengkapi alat bantu navigasi mutakhir. Sarana distribusi bahan

bakar dengan sistem hydrant dengan daya tampung 66 juta liter. Fasilitas lain adalah tenaga listrik dari PLN dengan kapasitas 24 MVA untuk tahun 1985 dan selanjutnya akan ditambah menjadi 60 MVA, air bersih dari PAM Tangerang dengan kapasitas 5.500 M<sup>3</sup>/hari, sambungan telepon dihubungkan dengan Jakarta terdiri dari 6.000 sampai 7.000 saluran.

Disamping pembangunan sarana lain yang bersifat menunjang kelancaran dan keselamatan pengoperasian Pelud Cengkareng.

**PIMPINAN** Proyek Ir Karno Barkah kepada wartawan menjelaskan, pembangunan secara fisik diharapkan selesai sekitar September 1984, dan mulai Oktober sampai Desember akan dilakukan tes penerbangan. Diadakan April 1985, Pelud Internasional Cengkareng dapat mulai dioperasikan secara penuh.

Berbicara tentang perkiraan jumlah penumpang permeal jasa angkutan penerbangan, Karno Barkah menjelaskan, tahun 1980 lalu penumpang dari dan ke Jakarta tercatat 5.238.000 terdiri dari penumpang internasional 1.548.000, dan domestik 3.690.000. Untuk tahun 1985, Pelud Cengkareng diperkirakan akan melayani sembilan juta penumpang internasional dan domestik, dan tahun 2.000 diperkirakan akan naik empat kali lipat, atau sekitar 31,3 juta penumpang.

Menjawab pertanyaan wartawan tentang dampak sosial dari pembangunan Pelud Internasional Cengkareng, dikatakannya bahwa telah dipertimbangkan secara matang baik secara teknis,

ekonomis maupun politis. Menurutnya, dampak sosialnya belum bisa diramalkan dan dilihat saat ini, tetapi baru akan diketahui beberapa tahun mendatang.

Namun diakuinya, dari segi polusi atau pencemaran lingkungan, pemerintah lingkungan dan mengatasinya, tapi polusi kebisingan masih akan ditemukan "area kebisingan berbahaya".

Area kebisingan berbahaya ini terdapat di sekitar landasan sampai jauh ke luar kawasan Pelud. Karena itu diharapkan pada area kebisingan berbunyi tidak dibangun bangunan - bangunan bertingkat, sekolah, madrasah, rumah sakit, dan tempat pertemuan umum lainnya.

Menurut sumber "PR", pada area kebisingan berbahaya itu nantinya dikawatirkan akan menjadi sumber kerawanan dan keresahan masyarakat, apabila jauh sebelumnya tidak diberikan pengertian. Kebisingan berbahaya ini diperkirakan akan meliputi wilayah Kecamatan Teluknaga Kabupaten Tangerang, dan daerah Kamal Jakarta Barat.

Tentang manfaat yang dapat dirasakan oleh masyarakat Tangerang dengan adanya Pelud Cengkareng ini, menurut Karno Barkah bahwa Tangerang kemungkinan akan dilincar oleh para pemakai jasa penerbangan. Namun sudah barang tentu dalam waktu panjang, sebab semua jalan masuk dan ke luar Pelud Cengkareng ini akan melalui Jalan Tol Pelud - Pluit Jakarta Barat. "Kalau begitu Tangerang hanya kebagian asap dan bisisnya saja", tukas wartawan.

Ketika disarankan untuk memaknai tenaga kerja sebanyak-banyaknya dari Tangerang, sebab

lah Pelud dioperasikan nanti, menurut Karno Barkah, tenaga kerja tersebut telah dipersiapkan di Jakarta sekitar 2.000 orang. Mereka tidak dilihat dari mana asalnya, tetapi kini mereka tengah dididik secara khusus.

Beberapa pejabat teras dan tokoh masyarakat di Tangerang ketika diminta tanggapannya menekankan, "Pelud Cengkareng merupakan proyek nasional dan demi kepentingan nasional. Karena itu kita tidak perlu berpandangan daerah sentris".



# Pondasi Cakar Ayam Dan Misteri Pohon Kelapa

TANGGAL 1 Oktober y.l. dilakukan percobaan operasi penerangan di pelabuhan udara internasional Cengkareng Tanggal 1 April 1985, pelabuhan udara yang lebih dikenal dengan nama Jakarta International Airport — Cengkareng disingkat JIA Cengkareng ini mulai operasi secara penuh. Landasan JIA Cengkareng ini menggunakan sistem pondasi cakar ayam, hasil karya Prof. Dr. Ir. Sedyatmo.

Prinsip kerja cakar ayam tidaklah terlalu sukar. Sebagai model, ambillah selembar pelat baja tipis setebal kira-kira 1 mm atau 1½ mm dengan luas sekitar 1 meter persegi. Letakkan di atas permukaan berlumpur, misalnya sawah yang baru saja dibajak.

Apa yang kemudian terjadi? Pelat baja tersebut tidak melengkang. Tidak seperti bila kita melakkan seongkah besi dengan bobot yang sama seperti plat baja, pada permukaan tanah berlumpur. Plat baja yang luas itu dapat "mengambang" karena permukaan yang luas membagi bobot dari plat sehingga tekanan yang dialami oleh suatu satuan luas tanah di bawahnya menjadi kecil.

Peristiwa pada plat baja tersebut berbeda dengan yang dialami seongkah besi yang diletakkan di atas tanah berlumpur. Tekanan per satuan luasnya cukup besar. Tanah berlumpur tersebut tidak mampu menahan bebannya sehingga beberapa bagian diantaranya menyingkir ke samping. Akibatnya, bongkahan besi itu melengkang ke dalam lumpur.

Inilah prinsip pertama dari pondasi sistem cakar ayam. Yaitu "mengambang" di atas tanah

berlumpur dengan cara membagi-bagi tekanan melalui permukaan yang sangat luas. Dan itu pula sebabnya landasan pendaratan pada lapangan udara Cengkareng merupakan rentangan beton terpadu yang luas tanpa sedikitpun menggunakan sambungan, di "ambang"-kan di atas tanah rawa yang basah dan berlumpur.

### Pipa Beton

Kembali ke contoh plat baja. Timbul persoalan bila pada suatu titik, misalnya bagian tengah dari plat tersebut diberikan suatu pukulan yang cukup kuat. Ini identik dengan bila landasan tersebut didarati oleh sebuah pesawat terbang, yang karena ada getakan dari pesawat itu, menjadikan beban yang timbul mirip dengan beban pukulan.

Karena beban pukulan tersebut, plat baja akan melendut (defleksi) ke bawah. Keadaan yang sama akan terjadi pada landasan pendaratan yang dibuat di atas tanah perlipsum, ketika sebuah pesawat terbang rakasa mendarat. Kalau pada plat baja landutan tersebut tidak merupakan persoalan, maka pada suatu lapangan terbang, landutan yang terlalu dalam selain dapat mengakibatkan gangguan stabilitas lapangan pesawat yang sedang mendarat, bila sering-sering terjadi akan menimbulkan keretakan (crack) yang pada akhirnya menimbulkan patahan (fracture). Istilahnya adalah patahan akibat kelelahan (fatigue) material.

Peristiwa ini tentu tidak boleh terjadi. Landutan atau defleksi ini harus dihindarkan atau minimal dikurangi sampai suatu batasan.

Prof. Sedyatmo memberikan jawaban atas persoalan ini dengan memasang pipa-pipa beton tegak lurus permukaan landasan melengkang ke dalam tanah rawa, seperti terlihat pada gambar 1 (pandangan atas), dan gambar 2 (penampang potongan).

### Reaksi Menyeluruh Dan Serentak

Anggaph karena suatu beban, landasan yang merentang di atas tanah rawa tersebut melendut (defleksi) seperti terlihat pada gambar 3. Apa yang kemudian terjadi pada pipa-pipa beton tersebut? Karena dipasangi sangat kuat pada landasan, maka pipa-pipa beton tersebut tetap akan tegak lurus permukaan landasan dimana pipa tersebut dipasang. Kalau landasan melendut, pipa akan bergerak, dan bagian ujung pipa akan bergerak paling jauh. Tanah di sekitar memberikan perlawanan atas gerak pipa tersebut. Makin jauh gerak pipa, makin besar perlawanan tanah. Karena jumlah pipa sangat banyak, dan beton dibuat terpadu dari ujung ke ujung, maka arahnya, seluruh bagian landasan tersebut secara serentak mengadakan perlawanan.

Inilah prinsip kedua dari cakar ayam. Yaitu mengubah beban tegak lurus (vertikal) menjadi suatu beban mendatar (horizontal) dan membagi-bagi beban tersebut ke semua pipa dari ujung ke ujung dari sisi ke sisi. Artinya, oleh suatu beban di bagian tengah landasan, pipa di bagian ujung landasan pun kebagian beban. Demikian, beban pada tiap-tiap pipa menjadi sangat kecil.

Prinsip kedua ini boleh dikatakan merupakan prinsip utama dari pondasi sistem cakar ayam. Hasilnya pun menakjubkan. Pelaksana dari Perancis yang menangan pembanguan landasan Pelabuhan Udara Cengkareng pernah melakukan percobaan tekanan dengan menggunakan mesin tekan hidrolis (hidraulic jack). Defleksi yang dialami ketika penekanan mencapai 225 ton kecil sekali. Pembebanan identik dengan tekanan sebuah bogie (rangkainan roda pendarat B-747 seberat 90 ton, hanya 2,5 cm.

### Misteri Pohon Kelapa

Bayangkanlah kesulitan yang dialami oleh Ir. Sedyatmo ketika itu masih bergelut Ir dan kawan-kawannya P.I.N., belum dianugerahi gelar Dr. H.C. serta profesor sewaktu ditugasi memasang tiang listrik tegangan tinggi dari Tanjung Priok ke Jakarta, lewat tanah rawa Ancol awal dasawarsa 60-an yang lalu. Tiang listrik mempunyai persyaratan khusus, yaitu harus mampu menahan beban tarikan bila suatu waktu semua kawat listrik yang tergantung itu putus di satu tempat.

Dengan cara konvensional, pada setiap pondasi harus dipasang sejumlah tiang pancang yang merupakan "paku" menembus tanah rawa Ancol. Yang menjadi persoalan, harus berapa puluh meter masing-masing tiang pancang itu dipakukan ke dalam tanah. Sebab pemancangan baru boleh berhenti bila "paku" panjang telah menembus beberapa meter ke dalam tanah keras. Bila telah mencapai kedalaman tertentu, ternyata paku pancang belum juga menembus tanah keras,

pemancangan dihentikan dari dianggap gagal. Persoalan lain, bagaimana mengangkut peralatan pemancangan ke daerah berawa, padahal alat-alat tersebut merupakan alat-alat berat. Bisa-bisa, sebelum mencapai lokasi, alat-alat tersebut sudah terbenam masuk lumpur. Belum lagi persoalan lokasi yang terpecah-pecah, karena masing-masing tiang listrik berjarak sekitar 300 meter. Artinya, setelah selesai satu unit pondasi tiang listrik, alat-alat berat tersebut harus diangkut ke lokasi lain yang jaraknya sekitar 300 meter tersebut.

Ketika sedang pusing-pusingnya memikirkan sistem pondasi yang tepat untuk tiang listrik yang menjadi tugasnya itu, sambil menikmati semilirnya angin pantai Ancol, matanya tertuju pada pohon kelapa. Di dalam pikirannya, ia melihat suatu keadaan. Mengapa pohon kelapa yang tinggi itu dengan akar tergo-long akar serabut, mampu menahan tekanan angin kencang padahal tumbuh di atas tanah yang kurang padat?

Akhirnya diperoleh jawaban atas misteri pohon kelapa tersebut. Ternyata akar-akar serabut itu dijepit oleh tanah sekitarnya. Memanfaatkan jepitan (kompaksi) tanah inilah yang kemudian menjadi dasar pemikiran pondasi sistem cakar ayam.

Akar-akar serabut dari pohon kelapa diralisasikan ke dalam bentuk pipa-pipa beton vertikal. Dengan bantuan teori mekanika, maka diperkenalkan sistem pondasi cakar ayam. Prinsip inilah faatkan kompaksi tanah ini adalah prinsip ketiga dari pondasi sistem cakar ayam.

ngat besarnya. Menurut Informasi, JIA-Cengkareng menghemat tanah urugan, sebanyak 6.000.000 m<sup>3</sup>. Yang berarti penghematan yang mencapai 30% dari bila menggunakan pondasi sistem konvensional untuk tanah rawa.

\*\*\*

Oleh: O.K. Hoedori

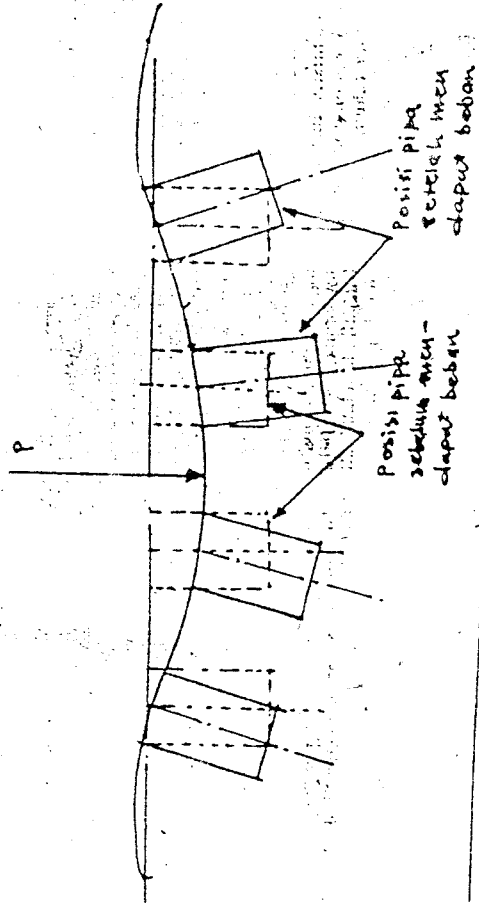
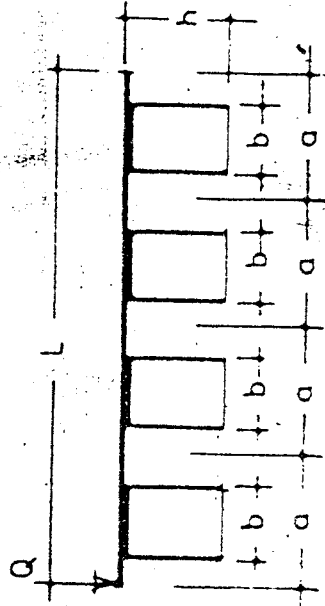
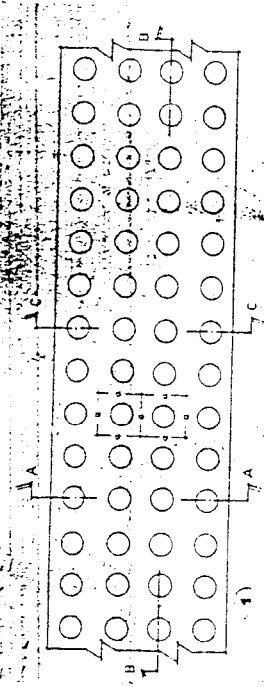
**Beberapa Kelebihan**  
 Dengan cukup membuat pipa-pipa beton tersebut, lepaskan Ir/Sediyatmo dari kewajiban harus menggunakan tiang pancang. Dan ini berarti pula keharusan menyediakan alat-alat berat hilang sudah. Yang kini muncul adalah cara menanamkan pipa-pipa beton tersebut ke dalam tanah.

Inipun dapat diatasi dengan mudah, yaitu dengan cara menyuruh seorang kuli masuk ke dalam pipa kemudian mengeruk tanah di bawah dinding pipa sedikit demi sedikit. Tanah keruk dikumpulkan dalam ember kemudian ditarik keluar oleh kuli kedua yang menunggu di atas. Sementara itu, pipa, yang karena beratnya sendiri dan hilangnya tanah di bawahnya, sedikit demi sedikit melesak menembus bumi.

Selain itu, untuk menghindari kewajiban mengangkat pipa yang beratnya sekitar 1½ sampai 2 ton ke tempat dimana pipa tersebut akan ditanam, maka pencetakan pipa dilakukan tepat di titik ia akan ditanam.

Inilah kelebihan pondasi sistem cakar ayam. Kalau perlu, cukup dengan metoda padat karya, dengan menyuruh kuli menggunakan batu, semen, pasir dengan pikulan dari tempat penimbunan material, menggotong cetakan pipa ke lokasi, mengeruk tanah di bawah pipa, persoalan pondasi dapat diatasi dengan mudah.

Kelebihan lain dari pondasi sistem cakar ayam adalah tanah tidak perlu disiapkan seperti pada sistem konvensional untuk tanah rawa. Artinya pengerukan sampai kedalaman tertentu, pengisian dengan tanah khusus, pemampatan tanah urugan agar menjadi padat dan keras tidak perlu dilakukan sama sekali. Inilah penghematan yang amat sa-



Gbr 3. Kemungkinan defleksi akibat pengaruh beban. (gambar defleksi sangat diperbesar untuk memperlajari persoalan)

# V Sistem Pondasi Cakar Ayam Digunakan di Dalam dan Luar Negeri

Jenazah Prof. Sedyatno Dimakamkan

Sistem pondasi cakar ayam pernah digunakan di dalam dan luar negeri. Di dalam negeri sistem cakar ayam digunakan untuk pondasi gedung, pabrik, gudang, rumah, dan sebagainya. Di luar negeri sistem cakar ayam digunakan untuk pondasi gedung, pabrik, gudang, rumah, dan sebagainya. Sistem pondasi cakar ayam ini sangat cocok untuk daerah-daerah yang mempunyai tanah lunak dan lembek. Sistem pondasi cakar ayam ini juga dapat digunakan untuk pondasi gedung, pabrik, gudang, rumah, dan sebagainya. Sistem pondasi cakar ayam ini sangat cocok untuk daerah-daerah yang mempunyai tanah lunak dan lembek. Sistem pondasi cakar ayam ini juga dapat digunakan untuk pondasi gedung, pabrik, gudang, rumah, dan sebagainya.

nya menjadi mahal. Begitu pula bangunan yang tinggi tidak tepat menggunakan sistem cakar ayam. "Paling tinggi lima tingkat," ujar Karno Barkan. "Karena bangunan yang lebih tinggi dari itu, jika memakai sistem cakar ayam, maka pondasi akan terlalu besar dan biayanya juga jadi mahal sekali." Sistem cakar ayam juga tidak tepat bagi bangunan di atas tanah yang lembek sekali. Bangunan di atas tanah semacam itu lebih baik menggunakan sistem konvensional, atau cakar ayam tetapi dengan penyempurnaan tanah, dalam arti diganti atau dipadatkan. Dengan demikian biaya mungkin akan sama atau bahkan sistem konvensional lebih murah. Dimakamkan Jenazah Prof. Sedyatno sendiri Senin sekitar pukul 10.30 ditepas dari Ndalem Kalitan Solo oleh Ny. Tien Soeharto ke makam keluarga Terju Ireng, Karanganyar 20 kilometer timur Solo. Pokok bergetas Rader Mas dari lingkungan kerabat Mangkunegara ini tutup usia di Jakarta Minggu (15/7) karena sakit beberapa waktu. Jenazah Sedyatno tiba dari Jakarta pukul 10.00 di Ndalem Kalitan telah menghinggai ratusan pelayat. Puluhan mobil bersama puluhan pelayat menghinggai jenazah hingga ke makam. Untuk menghormati jenazah Prof. Sedyatno, masyarakat Solo hari Senin mengibarkan bendera setengah tiang. Perintah ini disampaikan Walikota Solo, Senin pagi, sesudah memperoleh konfirmasi dari Jakarta menyangkut tutup usianya Prof. Sedyatno. Setelah kesemuanya rampung, sore harinya Ny. Tien Soeharto kembali ke Jakarta dengan pesawat terbang F-28 Pelita. (dir/pom)