

# ANALISIS PERENCANAAN PONDASI AKIBAT BEBAN STATIS DAN BEBAN DINAMIS (STUDI KASUS : MESIN *VERTICAL MILL* DI PT. SEMEN BATURAJA)

**Rezky Anugrah Wati**

E-mail: luphylyze\_citooon@yahoo.co.id

## Abstrak

Pondasi mesin merupakan bagian dari struktur bawah yang berfungsi untuk memikul beban statis maupun beban dinamis yang ditimbulkan oleh mesin untuk kemudian diteruskan ke lapisan tanah. Dalam penelitian ini dibahas tentang perencanaan pondasi akibat beban statis dan beban dinamis yang dihasilkan oleh pergerakan mesin *vertical mill*.

Tahapan-tahapan dalam penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data sekunder, perencanaan pembebanan, serta perhitungan perencanaan pondasi mesin yang dimulai dengan perhitungan daya dukung tanah dan dilanjutkan dengan perencanaan dimensi pondasi mesin tipe blok dan kombinasi antara pondasi mesin tipe blok dengan pondasi tiang.

Dari hasil perencanaan didapatkan dimensi pondasi mesin yang paling efektif dan memenuhi persyaratan keamanan pondasi mesin, yaitu kombinasi antara pondasi mesin tipe blok dengan dimensi 15 m x 15 m x 4 m dan pondasi tiang dengan dimensi 40 cm x 40 cm dengan panjang tiang 6 m dan jarak antar tiang 1,2 m.

*Kata kunci : Pondasi Mesin, Vertical Mill*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini tenaga kerja manusia banyak digantikan oleh tenaga mesin. Hal ini dimaksudkan agar dapat mengoptimalkan, mengefesienkan, serta mengefektifkan pekerjaan. Pada saat mesin-mesin tersebut beroperasi akan menimbulkan beban statis dan beban dinamis yang harus ditahan oleh tanah dan struktur pondasi mesin di bawahnya.

Pondasi mesin merupakan bagian dari struktur bawah yang berfungsi untuk memikul beban statis maupun dinamis yang ditimbulkan oleh mesin untuk kemudian diteruskan ke lapisan tanah. Mekanisme perencanaan bangunan dan struktur pondasi mesin harus memenuhi kapasitas dan persyaratan yang diizinkan terhadap sejauh mana bangunan dan struktur tersebut menjalankan fungsinya. Dari penelitian-penelitian terdahulu perencanaan pondasi sebagian besar hanya mempertimbangkan akibat beban statis saja, dan sedikit sekali yang mempertimbangkan akibat beban dinamis. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibahas bagaimana merencanakan pondasi mesin *vertical mill* yang diharapkan dapat menahan seluruh beban termasuk beban statis dan beban dinamis yang diakibatkan oleh pergerakan mesin *vertical mill*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana merencanakan dimensi pondasi mesin *vertical mill* agar dapat menahan beban statis dan beban dinamis dari pergerakan mesin *vertical mill*.

### 1.3 Tujuan Penulisan

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi pondasi mesin *vertical mill* yang efektif dan proporsional serta aman terhadap beban-beban yang bekerja termasuk getaran mesin.

### 1.4 Ruang Lingkup Penulisan

Adapun ruang lingkup penulisan sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya dilakukan pada kasus pembangunan pondasi mesin *vertical mill* pada pabrik PT. Semen Baturaja.
2. Data mesin menggunakan data asli spesifikasi mesin *vertical mill*.
3. Pemilihan dimensi pondasi dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan bantuan program excel sampai diperoleh dimensi yang memenuhi persyaratan keamanan untuk pondasi mesin.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

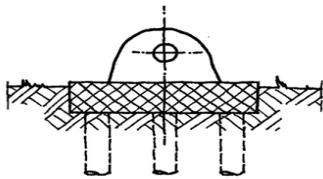
### 2.1 Pondasi Mesin

Pondasi mesin merupakan pondasi beban dinamis yang dirancang sebagai pondasi yang dapat menerima beban statis mesin yang berupa berat mati mesin dan beban dinamis yang berupa gerak alat.

#### 2.1.1 Pondasi Dangkal

##### a. Pondasi Mesin Tipe Mat Slab

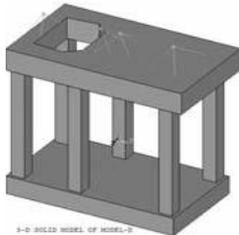
Fleksibel slab beton yang diletakkan pada tanah dan digunakan untuk mendukung mesin.



Gambar 2.1 Pondasi mesin tipe mat slab

##### b. Pondasi Mesin Tipe Portal

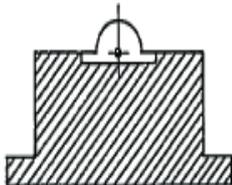
Pondasi mesin yang berupa struktur beton bertulang dengan ketinggian tertentu yang terdiri dari balok dan kolom yang ditumpu oleh pondasi slab. Bagian atas dari kolom dihubungkan dengan top slab sehingga membentuk lantai untuk meletakkan mesin.



Gambar 2.2 Pondasi mesin tipe portal

##### c. Pondasi Mesin Tipe Blok

Pondasi mesin yang berupa blok beton rigid yang relatif tebal sehingga deformasi struktur akibat beban-beban yang bekerja bisa diabaikan.



Gambar 2.5 Pondasi mesin tipe blok

#### 2.1.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam biasanya menggunakan tiang pancang atau menggunakan *bore pile*.

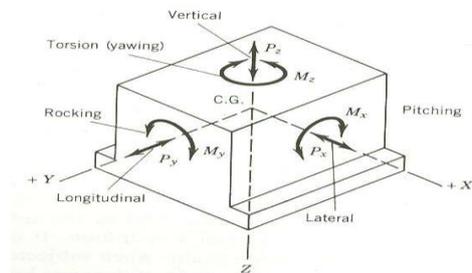
Pondasi tiang dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Pondasi tiang yang digunakan untuk memikul beban struktur pondasi di atasnya. Hal ini dilakukan jika daya dukung tanah tidak dapat memikul seluruh beban yang ada, sehingga diperlukan bantuan tiang pancang .
2. Pondasi tiang yang digunakan untuk menambah kekakuan sehingga menaikkan frekuensi natural dan memperkecil amplitudo.

#### 2.1.3 Derajat Kebebasan Pondasi Mesin

Setiap gerakan dari pondasi blok dapat dipecah kedalam enam displacement secara terpisah. Oleh karena itu pondasi blok mempunyai enam derajat kebebasan dengan enam natural frekuensi.

1. Translasi searah sumbu z (vertikal)
2. Translasi searah sumbu x (lateral)
3. Translasi searah sumbu y (longitudinal)
4. Rotasi terhadap sumbu x (pitching)
5. Rotasi terhadap sumbu y (rocking)
6. Rotasi terhadap sumbu z (yawing/torsi)



Gambar 2.6 Derajat kebebasan pondasi mesin tipe blok

#### 2.1.4 Beban Dinamis

Beban dinamis yang bekerja pada pondasi berasal dari sistem kerja alat. Pada mesin *vertical mill* beban berasal dari putaran mesin dengan kecepatan 90 rpm untuk mesin *vertical mill* dan 993 rpm untuk *main rotor*. Untuk tipe *rotating* mesin yang menghasilkan gerakan rotasi maka gaya luar (W) dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$F_o = m\omega^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

Fo = Gaya luar (kN , ton)

- m = Massa mesin (ton dt<sup>2</sup>/m)
- e = Eksentrisitas (m)
- ω = Resonansi untuk *rotating* (rad/dt<sup>2</sup>)

$$= 2 \cdot \pi \cdot f_{mesin} \dots\dots\dots (2.2)$$

Beban dinamis yang disalurkan ke tanah akan mengalami pengurangan akibat adanya pondasi. Untuk menghitung beban yang disalurkan ke tanah tersebut menggunakan rumus :

$$T_r = \frac{\sqrt{1+2D \cdot r^2}}{\sqrt{(2Dr)^2+(1-r^2)^2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- Tr = Transmibility
- D = Rasio redaman
- r = Ekvivalen bentuk pondasi

Sehingga besar beban yang disalurkan menjadi :

$$F_t = T_r \cdot F_o \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

Ft = Gaya yang diterima tanah sesuai arah gaya (ton/kN)

Sedangkan untuk menghitung besarnya amplitudo yang dihasilkan berdasarkan arah gaya yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$A = M \frac{F_o}{k} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{(2Dr)^2+(1-r^2)^2}} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

- A = Amplitudo (inch)
- M = *Magnification factor*
- Fo = Gaya luar berasal dari mesin ( ton )
- k = Konstanta pegas sesuai arah gaya (ton/m)
- D = Rasio redaman
- r =  $\frac{f_{mesin}}{f_n} \dots\dots\dots (2.7)$

### 2.1.5 Metode Lumped Parameter System

Dalam teori *Lumped Parameter System*, respon dinamis tanah terhadap pondasi dan beban dinamis dapat dimodelkan sebagai :

- Pegas / spring dengan harga kekakuan “k”.
- Dashpot / damping / redaman dengan harga koefisien damping “c”.

Berikut rumus-rumus untuk menentukan koefisien pegas (*spring constant*) dan koefisien redaman (*damping ratio*) :

**Tabel 2.1** Nilai Konstanta Pegas

Bentuk Getaran	Pondasi Lingkaran	Pondasi Kotak
Vertical	$K_z = \frac{4 \cdot G \cdot r_o}{1 - \nu} \eta_z$	$K_z = \frac{G}{1 - \nu} \beta_z \sqrt{BL} \eta_z$
Horizontal	$K_x = \frac{32 \cdot (1 - \nu) \cdot G \cdot r_o}{7 - 8\nu} \eta_x$	$K_x = 2(1 + \mu) \cdot G \cdot \beta_x \cdot \sqrt{BL} \eta_x$
Rocking	$K_\phi = \frac{8 \cdot G \cdot r_o^3}{3(1 - \nu)} \eta_\phi$	$K_\phi = \frac{G}{1 - \nu} \beta_\phi B L^2 \eta_\phi$
Torsional	$K_\psi = \frac{16 \cdot G \cdot r_o^3}{3}$	Tidak ada penyelesaian

Berdasarkan nilai konstanta pegas yang didapat maka akan diketahui frekuensi natural untuk setiap gaya. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$f_{res} = f_n \sqrt{1 - 2D^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

f<sub>n</sub> = Frekuensi natural (cps).

K = Konstanta pegas pada setiap arah gaya (kN/m).

m = Total massa (berat pondasi dan mesin per gravitasi) (kN dt<sup>2</sup>/m).

D = Rasio redaman pada arah gaya yang bekerja.

Sedangkan untuk menghitung koefisien redaman adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.2** Nilai Konstanta Redaman

Bentuk getaran	Rasio masa	Rasio redaman
Vertical	$B_z = \frac{(1 - \nu) \cdot W}{4 \cdot \gamma \cdot r_o^3}$	$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z$
Horizontal	$B_x = \frac{(7 - 8\nu) \cdot W}{32(1 - \nu) \cdot \gamma \cdot r_o^3}$	$D_x = \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x$
Rocking	$B_\phi = \frac{3(1 - \nu) \cdot M M I_o}{8 \cdot \rho \cdot r_o^3}$	$D_\phi = \frac{0,15 \cdot \alpha_\phi}{(1 + n_\phi \cdot B_\phi) \sqrt{n_\phi \cdot B_\phi}}$
Torsional	$B_\psi = \frac{I_\psi}{\rho \cdot r_o^3}$	$D_\psi = \frac{0,5}{1 + 2B_\psi}$

### 2.1.6 Parameter Dinamis Pondasi Dalam

Pondasi dalam yang digunakan berupa pondasi tiang pancang. Untuk itu pengaruh gaya dinamis yang dikeluarkan mesin harus disesuaikan dengan jenis pondasi sehingga didapat perhitungan nilai konstanta pegas dan redaman seperti berikut :

a) Vertikal

$$k_z^1 = \frac{E_p \cdot A}{r_o} f_{18,1} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$c_z^1 = \frac{E_p \cdot A}{v_s} f_{18,2} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$k_z^g = \frac{\sum_1^N k_z^1}{\sum_1^N \alpha_A} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$D_z^g = \frac{\sum_1^N c_z^1}{2\sqrt{\sum_1^N k_z \cdot m_c} \sqrt{\sum_1^N \alpha_A}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$k_z^f = G_s \cdot h \cdot \bar{S}_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$c_z^f = h \cdot r_o \cdot \sqrt{G_s \cdot \frac{Y_s}{g} \cdot \bar{S}_2} \dots\dots\dots (2.15)$$

b) Horizontal

$$k_x^1 = \frac{E_p \cdot I}{r_o^3} f_{11,1} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$c_x^1 = \frac{E_p \cdot I}{r_o^2 v_s} f_{11,2} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$k_x^g = \frac{\sum_1^N k_x^1}{\sum_1^N \alpha_L} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$D_x^g = \frac{\sum_1^N c_x^1}{2\sqrt{\sum_1^N k_x \cdot m_c} \sqrt{\sum_1^N \alpha_L}} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$k_x^f = G_s \cdot h \cdot \bar{S}_{v1} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$c_x^f = h \cdot r_o \cdot \sqrt{G_s \cdot \frac{Y_s}{g} \cdot \bar{S}_{v2}} \dots\dots\dots (2.21)$$

c) Rocking

$$k_\phi^1 = \frac{E_p \cdot I}{r_o} f_{7,1} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$c_\phi^1 = \frac{E_p \cdot I}{v_s} f_{7,2} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$k_{x\phi}^1 = \frac{E_p \cdot I}{r_o^2} f_{9,1} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$c_{x\phi}^1 = \frac{E_p \cdot I}{r_o v_s} f_{9,2} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$k_\phi^g = \sum_1^N [k_\phi^1 + k_z^1 x_r^2 + k_x z_c^2 - 2z_c k_{\phi x}^1] + k_\phi^f \dots\dots\dots (2.26)$$

$$k_\phi^f = G_s \cdot \frac{h}{r_o} \bar{S}_{\phi 1} + G_s \cdot \frac{h}{r_o} \left[ \left( \frac{\delta^2}{3} \right) + \left( \frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left( \frac{z_c}{r_o} \right) \right] \bar{S}_{v1} \dots\dots (2.27)$$

$$c_\phi^g = \sum_1^N [c_\phi^1 + c_z^1 x_r^2 + c_x z_c^2 - 2z_c c_{\phi x}^1] + c_\phi^f \dots\dots\dots (2.28)$$

$$c_\phi^f = \delta r_o^4 \sqrt{\frac{G_s Y_s}{g}} \left\{ \bar{S}_{\phi 2} + \left[ \left( \frac{\delta^2}{3} \right) + \left( \frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left( \frac{z_c}{r_o} \right) \right] \bar{S}_{v2} \right\} \dots\dots (2.29)$$

## 2.2 Persyaratan Pondasi Mesin

Tujuan utama dalam merencanakan pondasi mesin adalah membatasi amplitudo sehingga tidak akan membahayakan orang yang bekerja di sekitar mesin tersebut.

Kriteria *trial sizing* dari pondasi blok :

- ✓ Berat pondasi mesin tipe blok harus > 2-3 kali berat mesin ( untuk *centrifugal machines*).
- ✓ Berat pondasi mesin tipe blok yang dikombinasikan dengan pondasi tiang harus > 1,5-2,5 kali berat mesin (untuk *centrifugal machines*)
- ✓ Tebal minimum dari pondasi blok harus > 0,6 + (B/30) (m).
- ✓ Lebar pondasi harus > 1,5 x C.G machines.
- ✓ Allowable eccentricities < 5 %.

**Tabel 2.3** Kriteria cek keamanan pondasi mesin

Item	Kriteria
Daya dukung statis	50 % $\sigma$ izin
Daya dukung statis + dinamis	75 % $\sigma$ izin
Amplitudo vertikal	< Troublesome ( grafik 2.1)
Amplitudo horizontal	Masuk zona A atau B ( grafik 2.2)
Pembesaran dinamis vertikal (M)	< 1,5
Resonansi	Frekuensi operasi $\pm$ 20 % dari frekuensi resonansi
Kecepatan amplitudo	< Good ( tabel 2.4)
Transmissibility factor	< 5 %

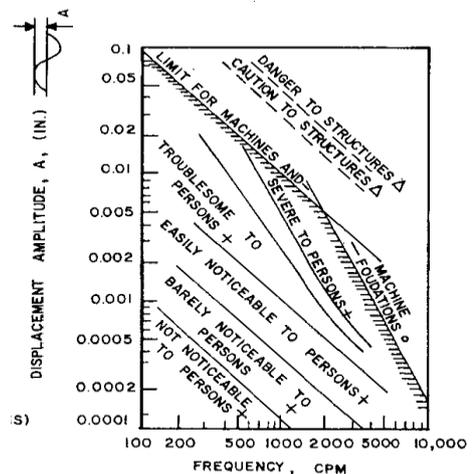
(Sumber : Sidharta, Ananta S., 2009 dan Arya et al., second printing, 1981)

Persyaratan *transmissibility factor* kurang dari 5 % adalah untuk *high frequency machines*, sedangkan persyaratan *transmissibility factor* untuk *medium frequency machines* dan *low frequency machines* adalah kurang dari 1%.

**Tabel 2.4** General machinery vibration

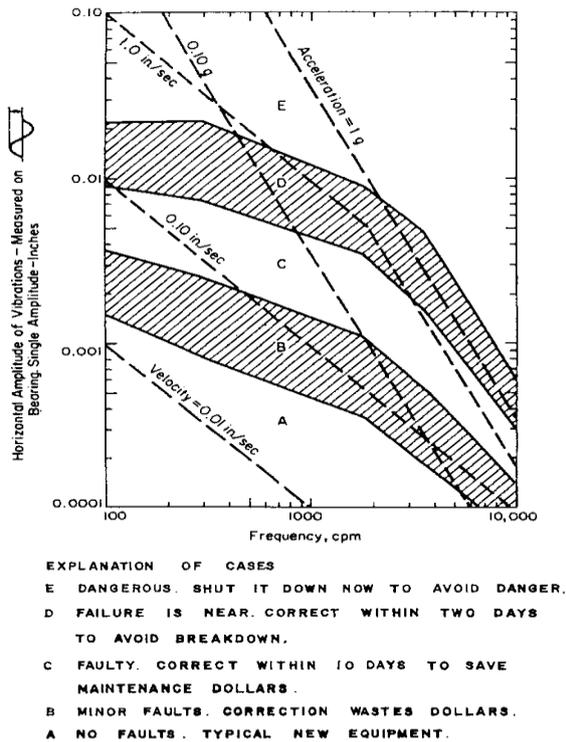
Horizontal Peak Velocity (in/sec)	Machinery Operation
<0,005	Extremely smooth
0,005-0,01	Very smooth
0,01-0,02	Smooth
0,02-0,04	Very good
0,04-0,08	Good
0,08-0,160	Fair
0,160-0,315	Slightly rough
0,315-0,630	Rough
>0,630	Very rough

- + FROM REIHER AND MEISTER (1931) - (STEADY STATE VIBRATIONS)
- o FROM RAUSH (1943) - (STEADY STATE VIBRATIONS)
- Δ FROM CRANDELL (1949) (DUE TO BLASTING)



**Grafik 2.1** Batasan amplitudo vertikal

(Sumber : *Design of Structures and Foundation for Vibrating Machines*, Suresh C. Arya, 1979.)



**Grafik 2.2** Batasan percepatan amplitudo

(Sumber : *Design of Structures and Foundation for Vibrating Machines*, Suresh C. Arya, 1979.)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Studi Literatur

Sumber literatur referensi didapat dari buku-buku yang berkaitan dengan rumusan kapasitas dan perencanaan pondasi mesin, sedangkan untuk literatur data didapatkan dari hasil pengujian tanah dilapangan.

#### 3.2 Pengumpulan Data

Data-data dalam penelitian ini adalah data sekunder. Dimana data sekunder didapat dari:

1. Buku-buku dan literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas.
2. Data-data proyek, pedoman dari rencana kerja dan syarat-syarat pekerjaan.
3. Gambar-gambar rencana (DED)
4. Data pembebanan stuktur atas dan spesifikasi mesin.
5. Data parameter tanah, yaitu data sondir dan data borlog.

#### 3.3 Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebanan statis dan dinamis menggunakan data asli dari pabrik pembuat mesin *vertical mill*. Beban yang terjadi akibat pergerakan mesin *vertical mill* berupa gaya vertikal, horizontal dan rotasi. Beban tersebut dijadikan beban pegas menggunakan rumus pada tinjauan pustaka yang menggunakan metode *lumped parameter system*.

#### 3.4 Perencanaan Pondasi mesin

Untuk perhitungan perencanaan pondasi mesin, maka diperlukan suatu susunan perhitungan dalam menunjang perhitungan. Adapun tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Daya Dukung Tanah.
2. Perhitungan Perencanaan Pondasi

#### 3.5 Analisis Hasil dan Pembahasan

Dari perhitungan perencanaan pondasi mesin dihasilkan dimensi pondasi yang kuat untuk menahan beban struktur atas beserta getaran dari mesin yang bekerja. Dengan dimensi pondasi yang direncanakan tersebut dapat diperkirakan penurunan yang terjadi pada pondasi dan tanah dibawahnya.

### IV. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data perencanaan

1. Data mesin
  - a. Tipe mesin : LM 46.2 + 2 C/S.
  - b. Dimensi : - Diameter : 10,5 m.  
- Tinggi : 16 m.
  - c. *Operational frequency* of main rotor : 993 rpm
  - d. Pembebanan
    - Beban mati statik dari *vertical mill* : 5500 kN
    - Unbalanced mass dari *vertical mill* : 2200 kN
    - Beban mati statik dari *main rotor* : 165 kN
    - Unbalanced mass dari *main motor* : 445 kN
    - Beban hidup pada pondasi : 500 kg/m<sup>2</sup>
2. Data tanah
 

Parameter tanah dimana pondasi berada ada sebagai berikut :

  - a. Berat jenis tanah ( $\gamma'_s$ ) : 6,44 kN/m<sup>3</sup>
  - b. Modulus geser tanah (Gs): 11280 kN/m<sup>2</sup>
  - c. Poisson ratio ( $\nu$ ) : 0,33
  - d. Soil Internal damping ratio ( $D_i$ ) : 0,04
  - e.

#### 4.2 Perencanaan Pondasi Mesin

Penentuan dimensi pondasi mesin tipe blok dilakukan dengan sistem *trial and error* sampai mendapatkan dimensi yang yang efektif yang memenuhi persyaratan pondasi mesin. Berikut adalah beberapa asumsi dimensi yang

akan dihitung pada perencanaan pondasi blok untuk mesin vertical mill.

- a. Pondasi mesin tipe blok dengan ukuran :
  - 15 m x 15 m x 4 m
  - 16 m x 16 m x 8 m
  - 19 m x 19 m x 8 m
  - 22 m x 22 m x 8 m
  - 42 m x 42 m x 8 m
- b. Kombinasi pondasi mesin tipe blok dengan ukuran 15 m x 15 m x 4 m dan tiang pancang dengan konfigurasi ukuran tiang sebagai berikut :
  - 30 cm x 30 cm, jarak antar tiang 0,75 m
  - 30 cm x 30 cm, jarak antar tiang 0,9 m
  - 40 cm x 40 cm, jarak antar tiang 1,0 m
  - 40 cm x 40 cm, jarak antar tiang 1,2 m
  - 50 cm x 50 cm, jarak antar tiang 1,25 m
  - 50 cm x 50 cm, jarak antar tiang 1,5 m

Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan-persamaan pada bab tinjauan pustaka, maka didapatkan dimensi yang paling efektif dan memenuhi persyaratan keamanan pondasi mesin, yaitu kombinasi pondasi mesin tipe blok dengan ukuran 15 m x 15 m x 4 m dan pondasi tiang dengan ukuran 40 cm x 40 cm dengan jarak antar tiang 1,2 m dan panjang tiang 6 m. Adapun rekapitulasi perhitungan analisis dinamis untuk asumsi pondasi blok dapat dilihat pada tabel 4.1 dan rekapitulasi perhitungan analisis dinamis kombinasi antara pondasi blok dan konfigurasi variasi dimensi pondasi tiang dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Analisis Dinamis Variasi

### 4.3 Analisis Hasil dan Pembahasan

#### Pondasi Blok

Parameter	Variasi Dimensi Pondasi Blok					Syarat
	B = 15 m L = 15 m H = 4 m	B = 16 m L = 16 m H = 8 m	B = 19 m L = 19 m H = 8 m	B = 22 m L = 22 m H = 8 m	B = 42 m L = 42 m H = 8 m	
1. Spring constant, K (KN/m)						
Kz (Vertical)	661146,605	803749,926	914866,3443	1025982,762	1766758,882	
Kx (Horizontal)	645463,121	870859,042	960873,442	1050887,842	1650983,842	
K $\phi$ (Rocking)	8,010E+07	1,330E+08	1,995E+08	2,866E+08	1,598E+09	
2. Geometrical Damping Ratio						
Dz (Vertical)	0,555	0,547	0,569	0,589	0,693	
Dx (Horizontal)	0,485	0,521	0,531	0,539	0,575	
D $\phi$ (Rocking)	0,036	0,016	0,029	0,044	0,146	
3. Internal Damping Ratio						
Diz (Vertical)	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	
Dix (Horizontal)	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	
D $\phi$ (Rocking)	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	
4. Total Damping Ratio						
Dzt (Vertical)	0,595	0,587	0,609	0,629	0,733	
Dxt (Horizontal)	0,525	0,561	0,571	0,579	0,615	
D $\phi$ z (Rocking)	0,076	0,056	0,069	0,084	0,186	
5. Resonance Frequency, fr (rpm)						
frz (Vertical)	87,803	62,615	52,231	43,623	1,074	f < 0,8 fr atau f > 1,2 fr
frx (Horizontal)	101,831	71,151	62,213	55,486	32,273	
fr $\phi$ (Rocking)	0,003	0,006	0,009	0,014	0,069	
6. Frequency Ratio						
rz (Vertical)	7,009	8,843	9,643	10,406	14,704	
rx (Horizontal)	7,094	8,495	9,409	10,282	15,211	
r $\phi$ (Rocking)	3,851	4,686	4,579	4,634	6,043	
7. Magnification Factor (M)						
M (Vertical)	0,021	0,013	0,011	0,009	0,005	< 1,5
M (Horizontal)	0,020	0,014	0,011	0,009	0,004	
M (Rocking)	0,072	0,048	0,050	0,049	0,028	
8. Transmissibility Factor						
Trz (Vertical)	0,161	0,134	0,127	0,121	0,100	< 1

Tr <sub>x</sub> (Horizontal)	0,140	0,133	0,122	0,113	0,081	
Tr <sub>φ</sub> (Rocking)	0,075	0,054	0,059	0,062	0,069	
9. Amplitudo, A						
A <sub>z</sub> (Vertical), (in)	0,0096	0,0054	0,0043	0,0034	0,0008	<0,0020 ( Grafik 2.5)
A <sub>x</sub> (Horizontal), (in)	0,0109	0,0078	0,0055	0,0038	0,0006	<0,0020 (Grafik 2.6)
A <sub>φ</sub> (Rocking), (rad)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
10. Velocity, V (in/sec)						
V <sub>z</sub> (Vertical)	0,999	0,562	0,451	0,352	0,078	<0,08 (GOOD)
V <sub>x</sub> (Horizontal)	1,137	0,808	0,572	0,399	0,002	
V <sub>φ</sub> (Rocking)	-	-	-	-	-	
11. Transmissibility Force, P (KN)						
P <sub>z</sub> (Vertical)	425,547	354,161	336,431	321,241	263,812	
P <sub>x</sub> (Horizontal)	369,474	353,052	323,764	299,735	214,293	
M <sub>φ</sub> (Rocking), (N.m)	1795688,867	1782,905	1959,835	2052,888	2295,628	

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Analisis Dinamis Dengan Variasi Konfigurasi Pondasi Tiang

Parameter	Variasi Dimensi Pondasi Tiang						Syarat
	30 cm x 30 cm s = 0,75 (20 x 20)	30 cm x 30 cm s = 0,9 (16 x 16)	40 cm x 40 cm s = 1 (14 x 14)	40 cm x 40 cm s = 1,2 (12 x 12)	50 cm x 50 cm s = 1,25 (12 x 12)	50 cm x 50 cm s = 1,5 (10 x 10)	
1. Spring constant, K (KN/m)							
K <sub>z</sub> (Vertical)	2741335,636	2741335,636	3614506,181	3614506,181	4487676,73	4487676,726	
K <sub>x</sub> (Horizontal)	265823,374	265823,374	292767,165	292767,165	319710,956	319710,956	
K <sub>φ</sub> (Rocking)	1,503E+10	9,633E+09	1,309E+10	9,633E+09	1,503E+10	1,045E+10	
2. Damping ratio							
D <sub>z</sub> (Vertical)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	
D <sub>x</sub> (Horizontal)	43,164	43,164	66,456	66,456	92,875	92,875	
D <sub>φ</sub> (Rocking)	31254549789	24877175274	35765385097	30304970236	4,3877E+10	35867226373	
3. Magnification factor (M)							
M (Vertical)	0,009	0,009	0,011	0,011	0,014	0,014	<1,5
M (Horizontal)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
M (Rocking)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
4. Amplitudo, A							
A <sub>z</sub> (Vertical), (in)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0020 ( Grafik 2.5)
A <sub>x</sub> (Horizontal), (in)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	<0,0020 (Grafik 2.6)
A <sub>φ</sub> (Rocking), (rad)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
5. Velocity, V (in/sec)							
V <sub>z</sub> (Vertical)	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	< 0,08 (GOOD)
V <sub>x</sub> (Horizontal)	0,013	0,013	0,008	0,008	0,006	0,006	
V <sub>φ</sub> (Rocking)	-	-	-	-	-	-	
6. Transmissibility factor							
Tr <sub>z</sub> (Vertical)	0,009	0,009	0,011	0,011	0,014	0,014	<1
Tr <sub>x</sub> (Horizontal)	0,928	0,928	0,970	0,970	0,986	0,986	
Tr <sub>φ</sub> (Rocking)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
7. Transmissibility Force, P (KN)							
P <sub>z</sub> (Vertical)	22,731	22,722	30,049	30,041	37,416	37,404	

Px (Horizontal)	2453,383	2453,383	2566,439	2566,439	2607,289	2607,289
Mφ (Rocking), (N.m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat bahwa semakin besar dimensi pondasi mesin tipe blok, maka semakin besar pula parameter-parameter berikut, yaitu : *spring constant*, *geometrical damping ratio*, *total damping ratio* dan *frekuensi ratio*. Sebaliknya, semakin besar dimensi pondasi mesin tipe blok, maka semakin kecil parameter-parameter berikut, yaitu : *frekuensi resonansi*, *magnification factor*, *transmissibility factor*, *amplitudo*, *velocity*, *transmissibility force* dan *transmissibility moment*.

Untuk parameter frekuensi resonansi, *magnification factor*, dan *transmissibility factor*, dapat dilihat bahwa semua dimensi pondasi mesin tipe blok memenuhi persyaratan parameter-parameter tersebut. Untuk parameter amplitudo dan *velocity*, semua dimensi pondasi mesin tipe blok tidak memenuhi persyaratan pondasi mesin kecuali dimensi pondasi blok 42 m x 42 m x 8 m. Untuk parameter *transmissibility force* dan *transmissibility moment*, dapat dilihat bahwa semakin besar dimensi pondasi mesin tipe blok, maka nilai *transmissibility force* dan *transmissibility moment* semakin kecil.

Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dimensi pondasi mesin tipe blok yang paling memenuhi persyaratan keamanan adalah dimensi 42 m x 42 m x 8 m. Namun dimensi ini tidak efektif karena volumenya terlalu besar dan terlalu banyak memakan ruang. Sehingga digunakan dimensi yang paling minimum yang memenuhi persyaratan rasio massa, dimana berat pondasi mesin harus lebih besar dari 2-3 kali berat mesin itu sendiri, yaitu dimensi 15 m x 15 m x 4 m. Karena dimensi ini belum memenuhi beberapa persyaratan pondasi mesin maka digunakan kombinasi pondasi mesin tipe blok dan pondasi tiang untuk memperkecil amplitudo dan *velocity*.

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar dimensi pondasi tiang dan semakin besar jarak antar tiang maka semakin besar pula parameter-parameter berikut, yaitu: *spring constant*, *damping ratio*, *magnification factor*, *transmissibility factor*, dan *transmissibility force*. Sebaliknya semakin besar dimensi pondasi tiang dan semakin kecil jarak antar tiang, maka semakin kecil nilai amplitudo dan *velocity* yang dihasilkan. Dari keseluruhan dimensi pondasi tiang beserta variasi jarak antar tiang, dapat dilihat bahwa semua dimensi dan konfigurasi jarak antar tiang tersebut memenuhi persyaratan keamanan pondasi mesin. Namun dimensi yang paling efektif adalah dimensi pondasi tiang 40 cm x 40 cm dengan

jarak antar tiang 1,2 m, karena konfigurasi pondasi tiang ini volumenya lebih kecil dibandingkan dengan konfigurasi pondasi tiang dimensi 50 cm x 50 cm dengan jarak antar tiang 1,5 m.

Dari tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pondasi tiang dapat memperkecil *magnification factor*, *amplitudo*, *velocity*, dan *transmissibility factor* untuk vertikal dan *rocking* sehingga memperkecil *transmissibility force* untuk vertikal dan memperkecil *transmissibility moment* jika dibandingkan dengan penggunaan pondasi mesin tipe blok saja. Akan tetapi penggunaan pondasi tiang dapat memperbesar nilai *transmissibility factor* untuk horizontal sehingga memperbesar nilai *transmissibility force* untuk horizontal.

Selain itu penurunan tidak terjadi karena pondasi tiang sudah mencapai tanah keras dengan nilai N-SPT > 50 mulai dari kedalaman 7 m, sehingga tidak diperlukan perhitungan penurunan.

## V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan untuk pondasi mesin tipe blok didapatkan dimensi pondasi blok yang memenuhi persyaratan keamanan, yaitu 42 m x 42 m x 8 m. Akan tetapi dengan dimensi ini membutuhkan ruang dan tempat yang sangat luas dan membutuhkan biaya yang sangat besar.
2. Dari hasil perhitungan untuk kombinasi pondasi mesin tipe blok dan pondasi tiang didapatkan dimensi yang memenuhi persyaratan keamanan, yaitu kombinasi pondasi mesin tipe blok dengan ukuran 15 m x 15 m x 4 m dan pondasi tiang dengan ukuran 40 cm x 40 cm dengan jarak antar tiang 1,2 m

## DAFTAR PUSTAKA

- Srinivasulu, P dan Vaidyanathan, C.V, " Hand Book Of Machine Foundations", Tata Mc Graw-Hill Publishing Co.LTD, New Delhi, 1978.
- Arya, Suresh, O'neill, Michael, dan Pincus, George, " Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines", Gulf Publishing Company Book Division, Houston, 1984.