

## BAB IV

### PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini, akan diuraikan proses perhitungan dari pondasi blok dinamis maupun pondasi blok statis ekuivalen sehingga akan didapatkan disain pondasi blok yang paling efisien. Sebelum perencanaan pondasi blok statis ekuivalen, terlebih dahulu direncanakan pondasi blok dinamis untuk mendapatkan nilai *ubalanced force* serta frekuensi natural pondasi untuk vibrasi vertikal. Parameter yang akan dibandingkan adalah dalam segi penurunan maupun daya dukung masing-masing pondasi. Berikut penjelasan langkah-langkah perhitungan masing-masing jenis pondasi.

- **PONDASI BLOK DINAMIS**

#### 4.1. Penentuan parameter

##### 4.1.1 Parameter tanah

Bangunan *clarifier* direncanakan akan dibangun pada lokasi titik 2 (berdasarkan titik uji sondir). Dari hasil uji sondir yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, dapat diketahui jenis tanah untuk masing-masing kedalaman sebagai berikut :

1. Untuk kedalaman 0 – 1,2 meter jenis tanah merupakan *clayey silt to silt*
2. Untuk kedalaman 1,2 – 2,6 meter jenis tanah merupakan *sandy silt to clay*
3. Untuk kedalaman 2,6 – 3,2 meter jenis tanah merupakan *sand to clayey*

Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa jenis tanah cenderung mendekati jenis tanah lempung. Karakteristik tanah di lapangan dapat dikategorikan sebagai jenis tanah yang cukup baik karena mudah mencapai kedalaman tanah keras yaitu pada kedalaman 3,2 meter.

- a. *Poisson's Ratio* (Angka Poisson)

**Tabel 4. 1** Nilai angka Poisson untuk beberapa jenis material

Jenis	$\nu$
Lempung	0,5
Pasir	0,30-0,35
Batuan	0,15-0,25

Sumber : Srinivasulu (1976 : 39)

Berdasarkan perkiraan kondisi lapangan, diambil angka poisson sebesar  $\nu = 0,5$ .

b. Modulus Geser Tanah

Penentuan modulus geser tanah dapat dilakukan berdasarkan rumus empiris, metoda uji laboratorium, maupun hasil uji lapangan. Pada skripsi ini, penentuan modulus geser akan dilakukan dengan menggunakan 2 korelasi yakni :

1. Korelasi antara hasil uji sondir dengan kecepatan gelombang geser
2. Korelasi antara hasil uji sondir dengan N-SPT untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser.

Setelah didapatkan hasil kecepatan gelombang geser yang paling berpengaruh, hasilnya akan digunakan untuk mencari modulus geser dengan menggunakan rumus :

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

Keterangan :

$G$  : modulus geser

$\rho = \frac{\gamma}{g}$  : densitas tanah

$V_s^2$  : kecepatan gelombang geser

Hasil analisis :

**1. Korelasi antara hasil uji sondir dengan kecepatan gelombang geser.**

Menurut Prakoso (2010) korelasi hasil uji sondir dengan kecepatan gelombang geser dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_s = 111,21 \cdot qc^{0,37}$$

Keterangan :

$V_s$  : Kecepatan gelombang geser

$qc$  : tahanan konus

Sehingga, dari hasil uji sondir dapat ditabelkan data sebagai berikut :

**Tabel 4. 2** Hasil perhitungan kecepatan gelombang geser

NO.	Kedalaman	$q_c$ rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> )	$q_c$ (Mpa)	$V_s = 111,21 q_c^{0,37}$ (m/det)
1.	Kedalaman 0 - 1,2 meter	9,571	0,957	109
2.	Kedalaman 1,2 - 2,6 meter	29,500	2,950	166
3.	Kedalaman 2,6 - 3,2 meter	91,250	9,125	252

Setelah diketahui kecepatan gelombang geser masing-masing kedalaman, maka dapat ditentukan modulus geser tanah tersebut. Perhitungan modulus geser tanah dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 3** Hasil perhitungan modulus geser

NO.	Kedalaman	Berat volume tanah ( $\gamma$ ) kgf/m <sup>3</sup>	$\rho = \frac{\gamma}{g}$	$G_s = \rho \cdot V_s^2$ (kgf/m <sup>2</sup> )
1.	Kedalaman 0 - 1,2 meter	1857	189	2266480
2.	Kedalaman 1,2 - 2,6 meter	1780	181	4996292
3.	Kedalaman 2,6 - 3,2 meter	1849	188	11969262

## 2. Korelasi antara hasil uji sondir dengan N-SPT untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser.

Menurut De Alencar Velloso (1959) hasil uji sondir (CPT) dapat dikorelasikan dengan N-SPT menggunakan angka perbandingan (*ratio*).

Jenis Tanah	Ratio antara CPT dengan N-SPT
1. Clay and Silty Clay	$n = \frac{q_c}{N} = 0,35$
2. Sandy clay and silty sand	$n = \frac{q_c}{N} = 0,2$
3. Sandy silt	$n = \frac{q_c}{N} = 0,35$

4. Fine Sand	$n = \frac{q_c}{N} = 0,6$
5. Sand	$n = \frac{q_c}{N} = 1$

Sumber : Kara dan Gündüz (2014)

Setelah didapatkan nilai  $q_c$  dikorelasikan menjadi N pada SPT, dapat dihitung kecepatan gelombang geser dengan menggunakan persamaan yang dirumuskan oleh Imai (1977) yaitu :

$$V_s = 91. N^{0,337}$$

Keterangan :

$V_s$  : kecepatan gelombang geser

$N$  : jumlah pukulan tabung standar pada uji SPT

Sehingga, hasil perhitungan secara lengkap dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 4** Hasil perhitungan kecepatan gelombang geser

No.	Kedalaman	$q_c$ rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> )	$q_c$ (Mpa)	ratio $q_c/N$	N	$V_s = 91. N^{0,337}$ (m/sec)
1.	kedalaman 0 - 1,2 meter	9,571	0,957	0,350	2,735	128
2.	kedalaman 1,2 - 2,6 meter	29,500	2,950	0,350	8,429	187
3.	kedalaman 2,6 - 3,2 meter	91,250	9,125	0,200	45,625	330

**Tabel 4. 5** Hasil perhitungan modulus geser

No.	Kedalaman	Berat volume tanah ( $\gamma$ ) kgf/m <sup>3</sup>	$\rho = \frac{\gamma}{g}$	$G = \rho. V_s^2$ (kgf/m <sup>2</sup> )
1.	Kedalaman 0 - 1,2 meter	1857	189	3088166,3
2.	Kedalaman 1,2 - 2,6 meter	1780	181	6320229,4
3.	Kedalaman 2,6 - 3,2 meter	1849	188	20492402,7

Keterangan :

Densitas tanah = data uji laboratorium

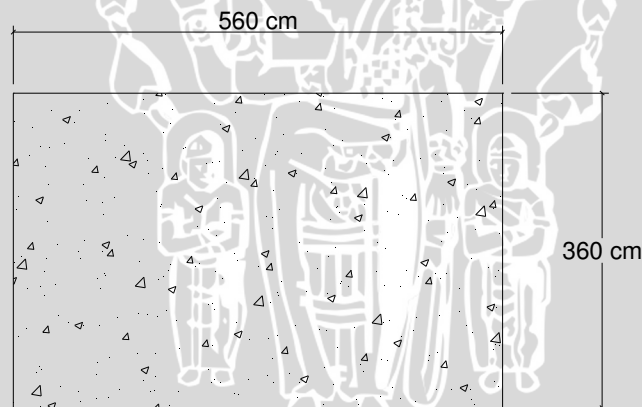
$g$  = 9,81 m/det<sup>2</sup>

$q_c$  = data hasil uji sondir

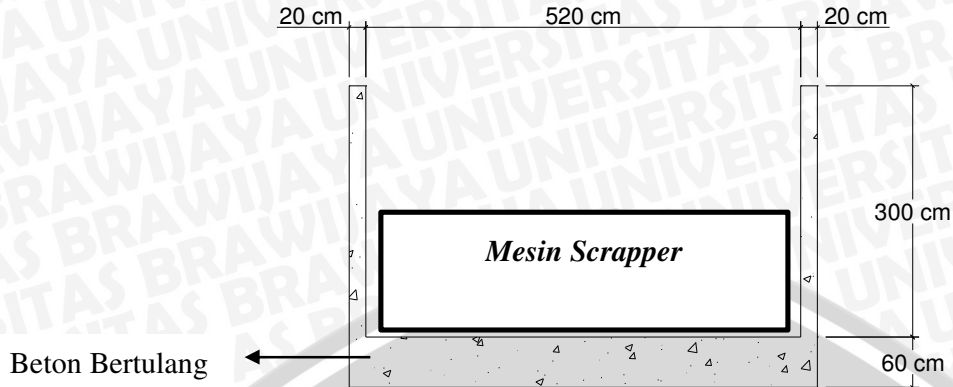
Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa nilai modulus geser yang lebih besar adalah hasil perhitngan korelasi antara uji sondir dengan nilai N-SPT. Modulus geser merupakan representasi dari tingkat regangan tanah. Oleh karena itu, sebagai keamanan, diambil nilai modulus geser pada hasil perhitungan ini.

#### 4.1.2 Parameter mesin

Bangunan yang digunakan untuk proses pengolahan air limbah dinamakan *clarifier*. Sedangkan mesin yang terdapat dalam bangunan tersebut dinamakan *scrapper*. Untuk memudahkan analisis, bangunan *clarifier* dianggap sebagai silinder berongga sempurna. Berikut adalah gambar dari bangunan *clarifier* dan letak mesin *scrapper* :

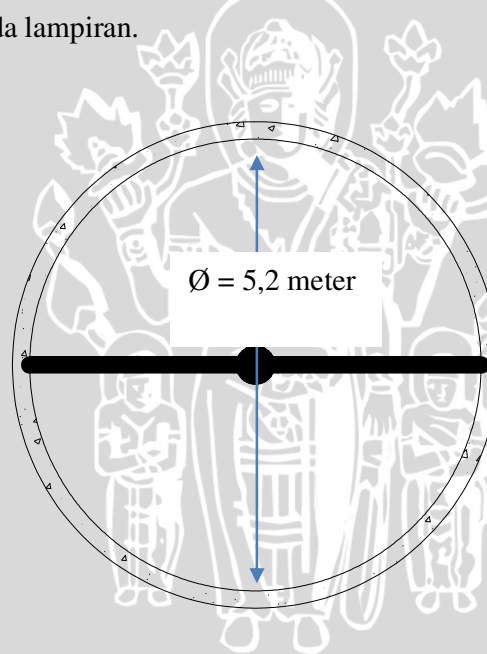


**Gambar 4. 1** Tampak samping bangunan *clarifier*



**Gambar 4. 2** Potongan melintang bangunan *clarifier*

Gambar di atas merupakan sketsa letak mesin *scrapper* saja, untuk detail gambar mesin dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 4. 3** Tampak atas bangunan *clarifier*

Diketahui :

1. Kecepatan mesin *scrapper* : 1 rpm
2. Berat mesin *scrapper* : 500 kgf = 5000 N (data lapangan)

Untuk menghitung berat keseluruhan dari bangunan yang akan menjadi beban pondasi, maka dihitung pula :

1. Berat bangunan beton bertulang :

Volume silinder berongga (aktual) : volume silinder I – volume silinder II

$$V_{\text{silinder aktual}} = \left(\frac{1}{4}\pi \cdot d_1^2 \cdot t - \frac{1}{4}\pi \cdot d_2^2 \cdot t\right)$$

$$V_{\text{silinder aktual}} = \left(\left(\frac{1}{4}\pi \cdot 5,6^2 \cdot 3,6\right) - \left(\frac{1}{4}\pi \cdot 5,2^2 \cdot 3\right)\right)$$

$$V_{\text{silinder aktual}} = (15,840 - 12,257) \text{ m}^3$$

$$V_{\text{silinder aktual}} = 3,583 \text{ m}^3$$

Sehingga, berat bangunan beton bertulang :

$$W_{\text{silinder aktual}} : V_{\text{silinder aktual}} \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_{\text{silinder aktual}} : 3,583 \text{ m}^3 \cdot \left(2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}\right)$$

$$W_{\text{silinder aktual}} : 8598,857 \text{ kgf}$$

2. Berat air limbah

Selain beban statis meliputi bangunan beton dan bangunan mesin, berat produk merupakan beban yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pondasi blok. Berat produk dalam bangunan *clarifier* merupakan berat air limbah. Air limbah dipengaruhi oleh aktivitas mesin *scraper* yang berputar sebesar 1 rpm. Sehingga, perhitungan berat produk dapat diuraikan sebagai berikut :

$$V_{\text{produk}} = V_{\text{silinder II}}$$

$$V_{\text{produk}} = \frac{1}{4}\pi \cdot d_2^2 \cdot t$$

$$V_{\text{produk}} = \frac{1}{4}\pi \cdot 5,2^2 \cdot 3$$

$$V_{\text{produk}} = 12,257 \text{ m}^3$$

Sehingga berat produk :

$$W_{\text{produk}} = V_{\text{produk}} \cdot \rho_{\text{produk}}$$

$$W_{\text{produk}} = 12,257 \text{ m}^3 \cdot \rho_{\text{produk}}$$

Dalam skripsi ini, massa jenis limbah produk diambil pendekatan dengan massa jenis limbah lumpur. Mengacu pada Tyas (2008 : 83) dalam studi kasus “Perencanaan Pengolahan Lumpur IPAM Karang Pilang II Surabaya” diketahui berat jenis lumpur adalah sebesar 1,116. Sehingga massa jenis lumpur:

$$\rho_{lumpur} = \text{berat jenis} \times \rho_{air}$$

$$\rho_{lumpur} = 1,116 \times 1000 \text{ kgf/m}^3$$

$$\rho_{lumpur} = 1116 \text{ kgf/m}^3$$

Dengan massa jenis lumpur sebesar 1116 kgf/m<sup>3</sup> maka :

$$W_{produk} = 12,257 \text{ m}^3 \cdot 1116 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$W_{produk} = 13679 \text{ kgf} = 136790 \text{ N}$$

Beban air limbah (produk) merupakan beban dinamis yang terjadi akibat adanya eksentrisitas. Adanya beban dinamis, menyebabkan timbulnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*). Dikarenakan tidak diketahuinya eksentrisitas mesin, digunakan acuan berdasarkan ACI 351.3R.04 untuk mengetahui hubungan besarnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*). *Unbalanced force* dapat dikaitkan dengan kecepatan mesin yang dirumuskan dengan :

$$F_o = \frac{W_r \cdot f_o}{6000}$$

Dimana :

$$F_o = \text{gaya tak seimbang}$$

$$W_r = \text{massa yang berputar (N)}$$

$$f_o = \text{kecepatan operasi mesin (rpm)}$$

Dengan kecepatan putaran *scraper* sebesar 1 rpm maka besarnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*) yang dimiliki oleh mesin tersebut :

$$f_o = 1 \text{ rpm}$$

$$W_r = W_{produk} = 136790 \text{ N}$$



$$F_o = \frac{W_r \cdot f_o}{6000}$$

$$F_o = \frac{136790 \times 1}{6000}$$

$$F_o = 22,79829 \text{ N}$$

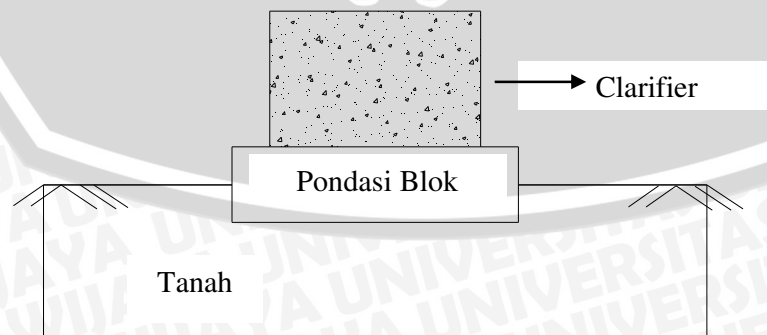
Mesin yang digunakan pada *clarifier* memiliki frekuensi operasi yang rendah yakni 1 rpm sehingga, amplitudo izin yang dipilih adalah sebesar 0,02 cm. Amplitudo maksimum mesin yang diijinkan adalah sesuai dengan tabel berikut :

**Tabel 4. 6** Amplitudo izin untuk beberapa jenis mesin

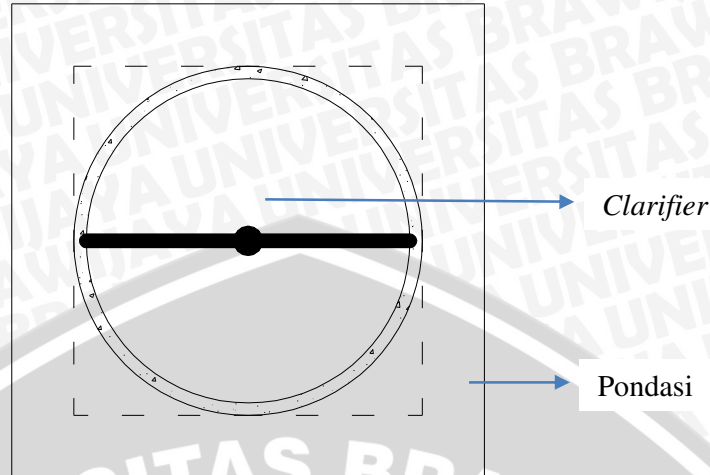
Jenis	Amplitudo Izin (cm)
Mesin berfrekuensi rendah	0,02-0,025
Mesin <i>hammer</i>	0,1-0,12
Mesin berfrekuensi tinggi	
a. 3000 rpm	
Getaran Vertikal	0,002-0,003
Getaran Horizontal	0,004-0,005
b. 1500 rpm	
Getaran Vertikal	0,004-0,006
Getaran Horizontal	0,007-0,009

Sumber : Irsyam, Sahadewa, dan Darjanto : 2012

Sebelum dilakukan perencanaan dan analisis pondasi, perlu digambarkan sketsa perletakan pondasi dan bangunan *clarifier*. Berikut sketsa perencanaan pondasi :



**Gambar 4. 4** Sketsa tampak samping perletakan pondasi dan *clarifier*



**Gambar 4. 5** Sketsa tampak atas perletakan pondasi dan *clarifier*

**4.1.3 Parameter pondasi**

Dari data mesin dan bangunan *clarifier*, didapatkan panjang dan lebar minimum pondasi yang diperlukan. Ukuran tersebut masih ditambahkan jarak yang berfungsi untuk pijakan awal bagi orang yang bekerja dan tempat meletakkan peralatan terutama pada saat mesin dalam perawatan atau perbaikan. Jarak yang ditambahkan minimum pada masing-masing sisi adalah 300 mm. Dalam perencanaan dimensi pondasi dilakukan secara *trial dan error* untuk mendapatkan ukuran pondasi yang paling efisien bagi bangunan *clarifier*. Berikut beberapa uji coba yang telah dilakukan :

**Tabel 4. 7** *Trial and error* dimensi pondasi

NO.	PARAMETER	UJI KE-1	
1	UKURAN PONDASI	B =	6,2 m
		L =	6,2 m
		T =	1 m
2	ANALISIS VERTIKAL	1. Frekuensi alami :	19,38585025 cps
		2. Frekuensi saat resonansi :	71,32440336 cps
		3. Amplitudo saat resonansi :	1,59574651 mm
		4. Amplitudo selain resonansi :	2,14619E-07 mm
3	ANALISIS HORIZONTAL	1. Frekuensi alami :	16,45121194 cps
		2. Frekuensi saat resonansi :	tidak terdefinisi cps

		3. Amplitudo saat resonansi : tidak terdefinisi	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : tidak terdefinisi	mm
4	<b>ANALISIS ROCKING</b>	1. Frekuensi alami : 58,94043011	cps
		2. Frekuensi saat resonansi : 71,32440336	cps
		3. Amplitudo saat resonansi : 1,59574651	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : 2,14619E-07	mm

NO.	PARAMETER	UJI KE-2	
1	<b>UKURAN PONDASI</b>	B = 6,2	m
		L = 6,2	m
		T = 1,5	m
2	<b>ANALISIS VERTIKAL</b>	1. Frekuensi alami : 16,5731353	cps
		2. Frekuensi saat resonansi : 19,5924431	cps
		3. Amplitudo saat resonansi : 19,81793291	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : 1,27876E-05	mm
3	<b>ANALISIS HORIZONTAL</b>	1. Frekuensi alami : 14,24541983	cps
		2. Frekuensi saat resonansi : tidak terdefinisi	cps
		3. Amplitudo saat resonansi : tidak terdefinisi	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : tidak terdefinisi	mm
4	<b>ANALISIS ROCKING</b>	1. Frekuensi alami : 49,27486879	cps
		2. Frekuensi saat resonansi : 58,98065271	cps
		3. Amplitudo saat resonansi : 1,2391402	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : 2,42116E-07	mm

NO.	PARAMETER	UJI KE-3	
1	<b>UKURAN PONDASI</b>	B = 6,2	m
		L = 6,2	m
		T = 1,8	m
2	<b>ANALISIS VERTIKAL</b>	1. Frekuensi alami : 15,13046314	cps
		2. Frekuensi saat resonansi : 17,09598595	cps
		3. Amplitudo saat resonansi : 21,77638366	mm
		4. Amplitudo selain resonansi : 1,30938E-05	mm

3	<b>ANALISIS HORIZONTAL</b>	1. Frekuensi alami : 16,45121194 cps 2. Frekuensi saat resonansi : tidak terdefinisi cps 3. Amplitudo saat resonansi : tidak terdefinisi mm 4. Amplitudo selain resonansi : tidak terdefinisi mm
4	<b>ANALISIS ROCKING</b>	1. Frekuensi alami : 44,51067496 cps 2. Frekuensi saat resonansi : 53,32720318 cps 3. Amplitudo saat resonansi : 1,073282081 mm 4. Amplitudo selain resonansi : 2,56712E-07 mm

Setelah dilakukan beberapa kali coba-coba dimensi pondasi, maka didapatkan ukuran yang paling aman terhadap penurunan dan daya dukung adalah sebagai berikut :

Dimensi pondasi blok :

1. Panjang (L) : 6,2 meter
2. Lebar (B) : 6,2 meter
3. Tinggi (T) : 2 meter
4. Kedalaman pondasi tertanam ( $D_f$ ) : 1 meter

Berdasarkan data-data tersebut maka didapatkan :

- a. Luas bidang kontak antara dasar pondasi dengan tanah :

$$A = L \cdot B$$

$$A = 6,2 \times 6,2$$

$$A = 38,44 \text{ m}^2$$

- b. Berat Pondasi :

$$W_{\text{pondasi}} = L \cdot B \cdot T \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_{\text{pondasi}} = 6,2 \cdot 6,2 \cdot 2 \cdot 2400$$

$$W_{\text{pondasi}} = 184512 \text{ kgf} = 1845120 \text{ N}$$

c. Massa Pondasi :

$$m = \frac{W_{pondasi}}{g}$$

$$m = \frac{1845120}{9,81}$$

$$m = 188086 \text{ kgm}$$

#### 4.2. Analisis dinamis dengan menggunakan metode *Elastic Half Space*

Setelah didapatkan parameter-parameter tanah, mesin maupun pondasi dapat dilakukan analisis dinamis sebagai berikut :

##### Analisis Vertikal

- Total massa pondasi dan mesin :

$$m = \text{massa tabung} + \text{massa mesin} + \text{massa produk} + \text{massa pondasi}$$

$$m = \frac{W_{total}}{9,81}$$

$$m = \frac{85989 + 5000 + 136790 + 1845120}{9,81}$$

$$m = 211305 \text{ kgm}$$

- Jari-jari ekuivalen :

$$r_0 = \sqrt{\frac{BL}{\pi}}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{6,2,6,2}{\pi}}$$

$$r_0 = 3,50 \text{ m}$$

**Tabel 4. 8** Hasil Perhitungan Modulus Geser

No.	Kedalaman	Berat volume tanah ( $\gamma$ ) kg/m <sup>3</sup>	$\rho = \frac{\gamma}{g}$	Gs = $\rho \cdot Vs^2$ (kg/m <sup>2</sup> )
1.	Kedalaman 0 - 1,2 meter	1857	189,3	3088166,3
2.	Kedalaman 1,2 - 2,6 meter	1780	181,4	6320229,4
3.	Kedalaman 2,6 - 3,2 meter	1849	188	20492402,7

Tanah dasar pondasi berada pada kedalaman 1 m, dipilih harga modulus geser pada kedalaman 1,2 – 2,6 meter (sisa 20 cm kedalaman 0 – 1,2 meter diabaikan). Sedangkan untuk modulus geser tanah samping dipilih untuk kedalaman 0 – 1,2 meter.

Sedangkan nilai  $\bar{C}_1$ ,  $\bar{C}_2$ ,  $\bar{S}_1$ , dan  $\bar{S}_2$  diambil berdasarkan tabel 4.6 berikut ini :

**Tabel 4. 9** nilai  $\bar{C}_1$ ,  $\bar{C}_2$ ,  $\bar{S}_1$ , dan  $\bar{S}_2$

Poisson's ratio, $\mu$	$\bar{C}_1^a$	$\bar{C}_2^a$	$\bar{S}_1^b$	$\bar{S}_2^b$
0.0	3.9	3.5	2.7	6.7
0.25	5.2	5.0	2.7	6.7
0.5	7.5	6.8	2.7	6.7

<sup>a</sup> Validity range:  $0 \leq a_0 \leq 1.5$

<sup>b</sup> Validity range:  $0 \leq a_0 \leq 2$

Sumber : Principles of Soil Dynamics ( Das dan Ramana)

Diketahui :

Modulus geser tanah dasar ( $G$ ) : 6320229,4 kg/m<sup>2</sup> = 63202294 N/m<sup>2</sup>

Modulus geser tanah samping ( $G_s$ ) : 3088166,3 kg/m<sup>2</sup> = 30881663 N/m<sup>2</sup>

Densitas tanah dasar ( $\rho$ ) : 189,3 kgf.det<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> = 1893 N.det<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

Densitas tanah samping ( $\rho_s$ ) : 1814 kgf.det<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> = 1814 N.det<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

Kedalaman pondasi tertanam ( $D_f$ ) : 1 meter

Berdasarkan data-data di atas perhitungan konstanta pegas dan koefisien dashpot dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$k_z = G \cdot r_0 \left( \bar{C}_1 + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \bar{S}_1 \right)$$

$$k_z = 63202294 \cdot 3,5 \cdot \left( 7,5 + \frac{30881663,1}{63202294,3,5} \cdot 2,7 \right)$$

$$k_z = 1741147434$$

$$c_z = r_0^2 \sqrt{\rho} \cdot G \left( \bar{C}_2 + \bar{S}_2 \frac{D_f}{r_0} \cdot \sqrt{\frac{G_s \cdot \rho_s}{G \cdot \rho}} \right)$$

$$c_z = 3,5^2 \cdot \sqrt{1893,30881663} \left( 6,8 + 6,7 \frac{1}{3,5} \cdot \sqrt{\frac{30881663,1814}{63202294,1893}} \right)$$

$$c_z = 33828401$$

Sedangkan untuk masing-masing perhitungan respons sistem pondasi dapat dijabarkan sebagai berikut :

a) Putaran sudut alami dan frekuensi alami :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_z}{m}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1741147434}{211305}}$$

$$\omega_n = 90,774 \text{ rad/det}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z}{m}}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot 90,774$$

$$f_n = 14,441 \text{ cps}$$

$$f_n = 14,441.60 \text{ cpm}$$

$$f_n = 866,483 \text{ cpm}$$

b) Damping Ratio

$$b = \frac{m}{\rho \cdot r_0^3}$$

$$b = \frac{211305}{1893.3.5^3}$$

$$b = 2,723$$

$$D_z = \left( \frac{1}{2\sqrt{b}} \right) \frac{(\bar{c}_2 + \bar{s}_2 \frac{D_f}{r_0} \sqrt{\frac{G_s \cdot \rho_s}{G \cdot \rho}})}{\sqrt{\bar{c}_1 + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \bar{s}_1}}$$

$$D_z = \left( \frac{1}{2\sqrt{2,723}} \right) \frac{(6,8 + 6,7 \frac{1}{3,5} \sqrt{\frac{30881663.1814}{63202294.1893}})}{\sqrt{7,5 + \frac{30881663.1}{63202294.3.5} \cdot 2,7}}$$

$$D_z = 0,314$$

c) Frekuensi saat resonansi :

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1 - 2 \cdot D_z^2}}$$

$$f_m = \frac{14,441}{\sqrt{1 - 2 \cdot 0,314^2}}$$

$$f_m = 16,1200 \text{ cps}$$

$$f_m = 16,1200.60 \text{ cpm}$$

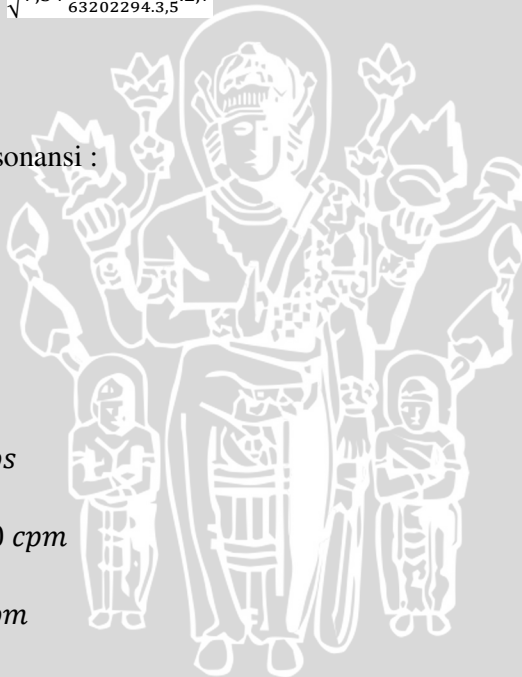
$$f_m = 967,205 \text{ cpm}$$

d) Amplitudo Vibrasi Pada Resonansi

$$\text{unbalanced force} = m_1 \cdot e \cdot \omega^2$$

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_m = 2 \cdot \pi \cdot 16,1200$$

$$\omega_{res} = 101,3263$$





Unbalanced force pada saat resonansi :  $F_o \cdot \left(\frac{fm}{f_{op}}\right)^2$

$$F_o \cdot \left(\frac{fm}{f_{op}}\right)^2 = 22,7983 \cdot \left(\frac{967,205}{1}\right)^2$$

$$F_o \text{ pd frek resonansi} = F_o \times \left(\frac{fm}{f_{op}}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot \omega_{res}^2$$

$$\left(\frac{967,205}{1}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot 101,326^2$$

$$21327480 = m_1 \cdot e \cdot 101,326^2$$

$$2077,281 = m_1 \cdot e$$

e) Amplitudo pada resonansi :

Untuk Rotating Mass :

$$A_{z(res)} = \frac{m_1 \cdot e}{m} \frac{1}{2D_z \sqrt{1-2D_z^2}}$$

$$A_{z(res)} = \frac{2077,281}{211305} \frac{1}{2,0,314 \sqrt{1-2,0,314^2}}$$

$$A_{z(res)} = 0,02011 \text{ m}$$

$$A_{z(res)} = 20,11 \text{ mm}$$

Amplitudo pada saat resonansi melebihi amplitudo ijin yakni 0,02 cm atau 0,2 mm. Namun, hal ini dimungkinkan tidak relevannya persamaan yang digunakan. Tidak relevannya persamaan yang digunakan dimungkinkan karena frekuensi operasi mesin sebesar 1 cpm memiliki rentang yang jauh dengan frekuensi alami pondasi sebesar 866,483 cpm sehingga, kemungkinan terjadinya resonansi sangat kecil. Oleh karena itu, perhitungan amplitudo pada saat resonansi tidak dianalisis (diabaikan).

f) Amplitudo selain Pada Frekuensi selain Resonansi

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{op}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,0167$$

$$\omega = 0,104 \text{ cps}$$

$$\text{Rotating Mass : } A_z = \frac{\frac{m_1 \cdot e}{m} \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D_z^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}}$$

$$A_z = \frac{\frac{2077,281}{211305} \cdot \left(\frac{0,104^2}{90,774^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{0,104^2}{90,774^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,314^2 \left(\frac{0,104^2}{90,774^2}\right)}}$$

$$A_z = 1,30938 \cdot 10^{-08} m$$

$$A_z = 1,30938 \cdot 10^{-05} mm$$

Ditinjau dari hasil analisa di atas, dilakukan pengontrolan sebagai berikut :

1. Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi (fn) *tidak sama dengan* kecepatan operasi (f) )
2. Amplitudo pada frekuensi operasi mesin < amplitudo ijin ( $1,30938 \cdot 10^{-05} mm < 0,2 mm$  )

Sehingga, berdasarkan pengontrolan tersebut dapat disimpulkan bahwa pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis vertikal.

#### Analisis Horizontal (*Sliding*)

Tidak berbeda dengan analisis getaran vertikal, tanah dasar pondasi berada pada kedalaman 1 m, dipilih harga modulus geser pada kedalaman 1,2 – 2,6 meter (sisa 20 cm kedalaman 0 – 1,2 meter diabaikan). Sedangkan untuk modulus geser tanah samping dipilih untuk kedalaman 0 – 1,2 meter.

Sedangkan nilai  $\bar{C}_{x1}$ ,  $\bar{C}_{x2}$  ,  $\bar{S}_{x1}$ , dan  $\bar{S}_{x2}$  diambil berdasarkan tabel 4.7 sebagai berikut :

**Tabel 4. 10** Nilai  $\bar{C}_{x1}$ ,  $\bar{C}_{x2}$  ,  $\bar{S}_{x1}$ , dan  $\bar{S}_{x2}$

Poisson's ratio $\mu$	Parameter
0	$\bar{C}_{x1} = 4.3;$ $\bar{C}_{x2} = 2.70$
→ 0.5	$\bar{C}_{x1} = 5.1;$ $\bar{C}_{x2} = 3.15$
0	$\bar{S}_{x1} = 3.6;$ $\bar{S}_{x2} = 8.20$
0.25	$\bar{S}_{x1} = 4.0;$ $\bar{S}_{x2} = 9.10$
→ 0.4	$\bar{S}_{x1} = 4.1;$ $\bar{S}_{x2} = 10.6$

Sumber : Principles of Soil Dynamics ( Das dan Ramana)

Diketahui :

$$\text{Modulus geser tanah dasar } (G) : 6320229,4 \text{ kg/m}^2 = 63202294 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Modulus geser tanah samping } (G_s) : 3088166,3 \text{ kg/m}^2 = 30881663 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Densitas tanah dasar } (\rho) : 189,3 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1893 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$$

$$\text{Densitas tanah samping } (\rho_s) : 1814 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1814 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$$

$$\text{Kedalaman pondasi tertanam } (D_f) : 1 \text{ meter}$$

- Total massa pondasi dan mesin :

$$m = \text{massa tabung} + \text{massa mesin} + \text{massa produk} + \text{massa pondasi}$$

$$m = \frac{W_{total}}{9,81}$$

$$m = \frac{85989 + 5000 + 136790 + 1845120}{9,81}$$

$$m = 211305 \text{ kgm}$$

- Jari-jari ekivalen :

$$r_0 = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{6,2 \cdot 6,2}{\pi}}$$

$$r_0 = 3,50 \text{ m}$$

Berdasarkan data-data di atas perhitungan konstanta pegas dan koefisien dashpot dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$k_x = G \cdot r_0 \left( \bar{C}_{x1} + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \bar{S}_{x1} \right)$$

$$k_x = 63202294 \cdot 3,5 \cdot \left( 5,1 + \frac{30881663,1}{63202294 \cdot 3,5} \cdot 4,1 \right)$$

$$k_x = 1253896339$$

$$c_x = r_0^2 \sqrt{\rho \cdot G} \left( \bar{c}_{x2} + \bar{s}_{x2} \frac{D_f}{r_0} \cdot \sqrt{\frac{G_s \cdot \rho_s}{G \cdot \rho}} \right)$$

$$c_x = 3,5^2 \cdot \sqrt{1893.30881663} \left( 3,15 + 10,6 \cdot \frac{1}{3,5} \cdot \sqrt{\frac{30881663.1814}{63202294.1893}} \right)$$

$$c_x = 22009188$$

Perhitungan Respon Pondasi

a) Damping Ratio

$$D_x = \frac{c_x}{2\sqrt{k_x \cdot m}}$$

$$D_x = \frac{22009188}{2\sqrt{1253896339.211305}}$$

$$D_x = 0,676$$

b) Frekuensi Alami Tak Teredam

$$\omega_x = \sqrt{\frac{k_x}{m}}$$

$$\omega_x = \sqrt{\frac{1253896339}{211305}}$$

$$\omega_x = 77,033 \text{ rad/det}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_x}{m}}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1253896339}{211305}}$$

$$f_n = 12,2552 \text{ cps}$$

$$f_n = 12,2552.60 \text{ cpm}$$

$$f_n = 735,314 \text{ cpm}$$

c) Frekuensi saat resonansi :

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2 \cdot D_x^2}}$$



$$f_m = \frac{12,255}{\sqrt{1-2,0,676^2}}$$

$$f_m = 41,8213 \text{ cps}$$

$$f_m = 41,8213.60 \text{ cpm}$$

$$f_m = 2509,2814 \text{ cpm}$$

Setelah  $\omega_x$  dan  $D_x$  dihitung maka, amplitudo vibrasi pondasi dapat dihitung seperti pondasi di atas permukaan tanah. Perhitungan dapat dijabarkan sebagai berikut :

d) Amplitudo Vibrasi pada saat Resonansi

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_m = 2 \cdot \pi \cdot 41,8213$$

$$\omega_{res} = 262,877$$

$$\text{Unbalanced force pada saat resonansi : } F_0 \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2$$

$$F_0 \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = 14,729 \cdot \left(\frac{2509,2814}{1}\right)^2$$

$$F_0 \text{ pd frek resonansi} = F_0 \times \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot \omega_{res}^2$$

$$22,7983 \cdot \left(\frac{2509,2814}{1}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot 262,877^2$$

$$143549251 = m_1 \cdot e \cdot 262,877^2$$

$$2077,282 = m_1 \cdot e$$

Untuk Rotating Mass :

$$A_{x(res)} = \frac{m_1 \cdot e}{m} \frac{1}{2D_x \sqrt{1-2D_x^2}}$$

$$A_{x(res)} = \frac{2077,282}{211305} \frac{1}{2,0,676 \sqrt{1-2,0,676^2}}$$

$$A_{x(res)} = 0,02481 \text{ m}$$

$$A_{x(res)} = 24,81 \text{ mm}$$

Amplitudo pada saat resonansi melebihi amplitudo ijin yakni 0,2 mm. Namun, hal ini dimungkinkan tidak relevannya persamaan yang digunakan. Tidak relevannya persamaan yang digunakan dimungkinkan karena frekuensi operasi mesin sebesar 1 cpm memiliki rentang yang jauh dengan frekuensi alami pondasi sebesar 735,314 cpm sehingga, kemungkinan terjadinya resonansi sangat kecil. Oleh karena itu, perhitungan amplitudo pada saat resonansi tidak dianalisis (diabaikan).

e) Amplitudo Vibrasi pada Frekuensi selain Resonansi

*Rotating Mass :*

$$A_x = \frac{\frac{m_1 \cdot e}{m} \cdot \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D_x^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}}$$

$$A_x = \frac{\frac{2077,282}{211305} \cdot \left(\frac{0,104^2}{77,033^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{0,104^2}{77,033^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,676^2 \left(\frac{0,104^2}{77,033^2}\right)}}$$

$$A_x = 1,8182 \cdot 10^{-08} \text{ m}$$

$$A_x = 1,8182 \cdot 10^{-05} \text{ mm}$$

Ditinjau dari hasil analisa di atas, dilakukan pengontrolan sebagai berikut :

1. Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi ( $f_n$ ) tidak sama dengan kecepatan operasi ( $f$ ))
2. Amplitudo pada frekuensi operasi mesin < amplitudo ijin ( $1,8182 \cdot 10^{-05} \text{ mm} < 0,2 \text{ mm}$ )

Sehingga, berdasarkan pengontrolan tersebut dapat disimpulkan bahwa pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis horizontal (*sliding*).

**Analisis Rocking**

Untuk analisis rocking, tanah dasar pondasi berada pada kedalaman 1 m, dipilih harga modulus geser pada kedalaman 1,2 – 2,6 meter (sisa 20 cm kedalaman 0 – 1,2 meter diabaikan). Sedangkan untuk modulus geser tanah samping dipilih untuk kedalaman 0 – 1,2 meter.

Diketahui :

Modulus geser tanah dasar ( $G$ ) :  $6320229,4 \text{ kg/m}^2 = 63202294 \text{ N/m}^2$

Modulus geser tanah samping ( $G_s$ ) :  $3088166,3 \text{ kg/m}^2 = 30881663 \text{ N/m}^2$

Densitas tanah dasar ( $\rho$ ) :  $189,3 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1893 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$

Densitas tanah samping ( $\rho_s$ ) :  $1814 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1814 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$

Kedalaman pondasi tertanam ( $D_f$ ) : 1 meter

- Jari-jari ekuivalen :

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{B.L^3}{3\pi}}$$

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{6,2.6,2^3}{3\pi}}$$

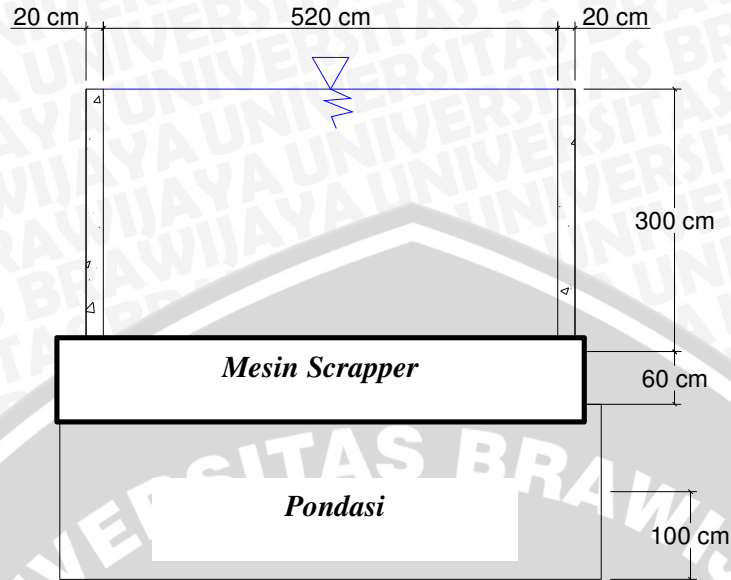
$$r_0 = 3,538 \text{ m}$$

Sedangkan konstanta-konstanta yang digunakan untuk analisis dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Nilai  $c_{\theta 1}, c_{\theta 2}, s_{\theta 1}, s_{\theta 2}, s_{x1}, s_{x2}$

Jenis Tanah							
Samping	Dasar	$c_{\theta 1}$	$c_{\theta 2}$	$s_{\theta 1}$	$s_{\theta 2}$	$s_{x1}$	$s_{x2}$
Lempung	Lempung	4,3	0,7	2,5	1,8	4,1	10,6
Lempung	Pasir	3,3	0,5	2,5	1,8	4,1	10,6
Pasir	Lempung	4,3	0,7	2,5	1,8	4	9,1
Pasir	Pasir	3,3	0,5	2,5	1,8	4	9,1

Sumber : Irsyam dkk : 2008



- Letak titik berat pondasi :

Untuk mencari letak titik berat massa maka, struktur antara pondasi dan bangunan mesin dibedakan menjadi 4 bagian yang dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 12** Tabel perhitungan titik berat pondasi dari dasar

Komponen	Titik berat dari dasar pondasi (z) meter	W (kgf)	W.z
Pondasi	$z_{pondasi}$	1	184512
Mesin	$z_{mesin} + t_{pondasi} + t_{beton}$	2,85	500
Air	$z_{air} + t_{pondasi}$	3,5	13679
Beton	$z_{beton} + t_{pondasi}$	2,774	8598,86
		$\Sigma$	207290
			257664

Sehingga titik berat pondasi dan mesin dari dasar :

$$z = \frac{\Sigma W.z}{\Sigma W}$$

$$z = \frac{257664}{207290}$$

$$z = 1,24 \text{ meter}$$



- Momen inersia massa

Pondasi dan mesin memiliki momen inersia massa.  $I_{\theta y}$  merupakan momen inersia massa pondasi dan mesin yang parallel sumbu Y dan melalui titik berat sistem pondasi. Sedangkan  $I_{\theta o}$  merupakan momen inersia massa pondasi dan mesin yang melalui titik berat area dasar pondasi.

Momen inersia massa dapat dihitung :

$$I_{\theta y} = \frac{1}{12} \cdot m_{pond} \cdot (L^2 + t^2) + m_{pond} \cdot (z_{pon} - z)^2 + m_{mesin} \cdot (t_{pondasi} + t_{mesin} - z)^2 + m_{air} \cdot (t_{pondasi} + t_{air} - z)^2 + m_{beton} \cdot (t_{pondasi} + t_{beton} - z)^2$$

Perhitungan tersebut dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 13** Perhitungan momen inersia massa

Komponen	Rumus	Hasil	Satuan
Pondasi	$m_{pond}$	188086	kgm
	$(L^2 + t^2)$	8,2	m <sup>2</sup>
<b>Momen inersia massa</b>	$\frac{1}{12} \cdot m_{pond} \cdot (L^2 + t^2)$	128525,2	kgm.m <sup>2</sup>
Pondasi	$m_{pond}$	188086	kgm
	$(z_{pon} - z)^2$	0,05905	m <sup>2</sup>
<b>Momen inersia massa</b>	$m_{pond} \cdot (z_{pon} - z)^2$	11107,44	kgm.m <sup>2</sup>
Mesin	$m_{mesin}$	510	kgm
	$(t_{pondasi} + t_{mesin} - z)^2$	1,58	m <sup>2</sup>
<b>Momen inersia massa</b>	$m_{mesin} \cdot (t_{pondasi} + t_{mesin} - z)^2$	805,3093	kgm.m <sup>2</sup>
Air	$m_{air}$	13944	kgm
	$(t_{pondasi} + t_{air} - z)^2$	14,11	m <sup>2</sup>
<b>Momen inersia massa</b>	$m_{air} \cdot (t_{pondasi} + t_{air} - z)^2$	196817,6	kgm.m <sup>2</sup>
Beton	$m_{beton}$	8765	kgm
	$(t_{pondasi} + t_{beton} - z)^2$	39,81	m <sup>2</sup>
<b>Momen inersia massa</b>	$m_{beton} \cdot (t_{pondasi} + t_{beton} - z)^2$	63590	kgm.m <sup>2</sup>

$$I_{\theta y} = 128525,2 + 11107,44 + 805,3093 + 196817,6 + 63590$$

$$I_{\theta y} = 400845,4 \text{ kgm. m}^2$$

- Momen inersia massa pondasi dan mesin yang melalui titik berat area dasar pondasi

$$I_{\theta 0} = I_{\theta y} + \Sigma_{\text{massa pondasi+mesin+air+beton}} \cdot z^2$$

$$I_{\theta 0} = 400845,4 + \left( \frac{1845120}{9,81} + \frac{5000}{9,81} + \frac{136790}{9,81} + \frac{85989}{9,81} \right) \cdot 1,24^2$$

$$I_{\theta 0} = (400845,4 + 326482,7) \text{ kgm} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\theta 0} = 727328,2 \text{ kgm} \cdot \text{m}^2 = 7,27 \cdot 10^5 \text{ kgm} \cdot \text{m}^2$$

Konstanta pegas dan koefisien damping :

$$k_{\theta} = G \cdot r_0^3 \left( \bar{C}_{\theta 1} + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \left( \bar{S}_{\theta 1} + \frac{D_f^2}{3 \cdot r_0^2} \cdot \bar{S}_{x1} \right) \right)$$

$$k_{\theta} = 63202294 \cdot 3,538^3 \left( 4,3 + \frac{30881663,1}{63202294 \cdot 3,53} \cdot \left( 2,5 + \frac{1^2}{3,3,53^2} \cdot 4,1 \right) \right)$$

$$k_{\theta} = 13046359764$$

$$c_{\theta} = r_0^4 \sqrt{\rho} \cdot G \left( \bar{C}_{\theta 2} + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \left( \bar{S}_{\theta 2} + \frac{D_f^2}{3 \cdot r_0^2} \cdot \bar{S}_{x2} \right) \right)$$

$$c_{\theta} = 3,53^4 \sqrt{1893 \cdot 63202294} \left( 0,7 + \frac{30881663,1}{63202294 \cdot 3,53} \cdot \left( 1,8 + \frac{1^2}{3,3,53^2} \cdot 10,6 \right) \right)$$

$$c_{\theta} = 52407567,77$$

a) Frekuensi Alami Tak Teredam

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{\theta}}{I_{\theta 0}}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1322228050}{727328,2}}$$

$$\omega_n = 133,930 \text{ rad/det}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega_n$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot 133,930$$

$$f_n = 39,8178 \text{ cps}$$

$$f_n = 39,8178 \cdot 60 \text{ cpm}$$

$$f_n = 2389,0665 \text{ cpm}$$

b) Damping ratio

$$D_\theta = \frac{c_\theta}{2\sqrt{k_\theta \cdot I_\theta}}$$

$$D_\theta = \frac{52407567,77}{2\sqrt{1322228050,727328,2}}$$

$$D_\theta = 0,2690$$

c) Frekuensi Alami Tereadam/Frekuensi Resonansi

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2D_\theta^2}}$$

$$f_m = \frac{39,8178}{\sqrt{1-2 \cdot 0,2690^2}}$$

$$f_m = 43,0550 \text{ ps}$$

$$f_m = 43,0550 \cdot 60 \text{ cpm}$$

$$f_m = 2583,3003 \text{ cpm}$$

Selanjutnya, amplitudo vibrasi dapat dihitung berdasarkan persamaan pada pondasi di atas tanah

d) Amplitudo Vibrasi pada saat Resonansi

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_m = 2 \cdot \pi \cdot 43,0550$$

$$\omega_{res} = 270,6315$$

Unbalanced force pada saat resonansi :  $F_0 \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2$

$$F_0 \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = 22,7982 \cdot \left(\frac{2583,3003}{1}\right)^2$$

$$F_0 \text{ pd frek resonansi} = F_0 \times \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot \omega_{res}^2$$

$$22,7982 \cdot \left(\frac{2583,3003}{1}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot 270,6315^2$$

$$25359074 = m_1 \cdot e \cdot 270,6315^2$$

$$346,2396694 \text{ kgm} = m_1 \cdot e$$

Untuk Rotating Mass :

$z'$  dianggap berada pada pusat bangunan clarifier sehingga :

$$z' = \frac{t_{\text{bangunan clarifier}}}{2} + t_{\text{pondasi}}$$

$$z' = \frac{3,6}{2} + 2$$

$$z' = 3,8$$

$$\theta_{(res)} = \frac{m_1 \cdot e \cdot z'}{I_0} \cdot \frac{1}{2D_\theta \sqrt{1-2D_\theta^2}}$$

$$\theta_{(res)} = \frac{346,2396694 \cdot 3,8}{727328,2} \cdot \frac{1}{20,269 \sqrt{1-2 \cdot 0,269^2}}$$

$$\theta_{(res)} = 0,001049697 \text{ rad}$$

$$\theta_{(res)} = 1,04970 \text{ rad}$$

Amplitudo pada saat resonansi sebesar 1,04970 rad. Amplitudo tersebut relatif kecil, selain itu frekuensi operasi mesin sebesar 1 cpm memiliki rentang yang jauh dengan frekuensi alami pondasi sebesar 2389,0665 cpm sehingga, kemungkinan terjadinya resonansi sangat kecil. Oleh karena itu, perhitungan amplitudo pada saat resonansi tidak dianalisis (diabaikan).

e) Amplitudo Vibrasi pada Frekuensi selain Resonansi

Rotating Mass :

$$\theta = \frac{\left(\frac{m_1 \cdot e \cdot z_L}{I_0}\right) \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D_\theta^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}}$$

$$\theta = \frac{\left(\frac{346,2396694}{624520,2}\right) \left(\frac{0,105^2}{133,390^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{0,105^2}{133,390^2}\right)^2 + 4,0,269^2 \left(\frac{0,105^2}{133,390^2}\right)}}$$

$$\theta = 2,9126910^{-10} \text{ rad}$$

Ditinjau dari hasil analisa di atas, dilakukan pengontrolan sebagai berikut :

1. Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi (fn) *tidak sama dengan* kecepatan operasi (f) )
2. Amplitudo pada frekuensi operasi mesin sangat kecil sehingga dimungkinkan tidak terjadi simpangan yakni sebesar  $2,9126910^{-10} \text{ rad}$

Sehingga, berdasarkan pengontrolan tersebut dapat disimpulkan bahwa pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis rocking.

### Analisis Torsi

Sama halnya dengan analisis sebelumnya, tanah dasar pondasi berada pada kedalaman 1 m, dipilih harga modulus geser pada kedalaman 1,2 – 2,6 meter (sisa 20 cm kedalaman 0 – 1,2 meter diabaikan). Sedangkan untuk modulus geser tanah samping dipilih untuk kedalaman 0 – 1,2 meter.

Diketahui :

Modulus geser tanah dasar ( $G$ ) :  $6320229,4 \text{ kg/m}^2 = 63202294 \text{ N/m}^2$

Modulus geser tanah samping ( $G_s$ ) :  $3088166,3 \text{ kg/m}^2 = 30881663 \text{ N/m}^2$

Densitas tanah dasar ( $\rho$ ) :  $189,3 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1893 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$

Densitas tanah samping ( $\rho_s$ ) :  $1814 \text{ kgf.det}^2/\text{m}^4 = 1814 \text{ N.det}^2/\text{m}^4$

Kedalaman pondasi tertanam ( $D_f$ ) : 1 meter

- Total massa pondasi dan mesin :

$$m = \text{massa tabung} + \text{massa mesin} + \text{massa produk} + \text{massa pondasi}$$

$$m = \frac{W_{total}}{9,81}$$

$$m = \frac{85989 + 5000 + 136790 + 1845120}{9,81}$$

$$m = 211305 \text{ kgm}$$

- Jari-jari ekuivalen :

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{B \cdot L (B^2 + L^2)}{6\pi}}$$

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{6,2 \cdot 6,2 (6,2^2 + 6,2^2)}{6\pi}}$$

$$r_0 = 3,538 \text{ m}$$

- Momen inersia massa terhadap sumbu z :

$$J_{zz} = \frac{m}{12} (L^2 + B^2)$$

$$J_{zz} = \frac{188086}{12} (6,2^2 + 6,2^2)$$

$$J_{zz} = 1205002 \text{ kgm} \cdot \text{m}^2$$

- Frekuensi tak berdimensi :

$$a_0 = \frac{\omega \cdot B}{V_s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{60}$$

$$\omega = 0,105$$

Harga  $V_s$  diambil pada saat kedalaman 0 – 1,2 meter yakni sebesar 128 m/s

Sehingga,

$$a_o = \frac{0,105.6,2}{128}$$

$$a_o = 0,005$$

Dengan harga parameter  $\bar{C}_{\alpha 1}$ ,  $\bar{C}_{\alpha 2}$ ,  $\bar{S}_{\alpha 1}$ , dan  $\bar{S}_{\alpha 2}$  :

$$\left. \begin{array}{l} \bar{C}_{\alpha 1} = 4,3 \\ \bar{C}_{\alpha 2} = 0,7 \end{array} \right\} \text{ for } 0 \leq a_o \leq 2,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{S}_{\alpha 1} = 12,4 \\ \bar{S}_{\alpha 2} = 2,0 \end{array} \right\} \text{ for } 0 \leq a_o \leq 0,2$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{S}_{\alpha 1} = 10,2 \\ \bar{S}_{\alpha 2} = 5,4 \end{array} \right\} \text{ for } 0,2 \leq a_o \leq 2,0$$

Sumber : Sumber : Principles of Soil Dynamics ( Das dan Ramana)

Dalam Irsyam, et al (2012 : 129), untuk keperluan praktis, nilai konstanta kekakuan dan redaman ditentukan dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

$$k_a = G \cdot r_o^3 \left( 4,3 + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_o} \cdot 10,2 \right)$$

$$k_a = 63202294 \cdot 3,538^3 \left( 4,3 + \frac{30881663,1}{63202294 \cdot 3,538} \cdot 10,2 \right)$$

$$k_a = 15980969737$$

$$c_a = r_o^2 \sqrt{\rho \cdot G} \left( 0,7 + 5,4 \frac{D_f}{r_o} \cdot \sqrt{\frac{G_s \cdot \rho_s}{G \cdot \rho}} \right)$$

$$c_a = 3,538^2 \sqrt{1893 \cdot 63202294} \left( 0,7 + 5,4 \frac{1}{3,538} \cdot \sqrt{\frac{30881663,1814}{63202294 \cdot 1893}} \right)$$

$$c_a = 7586864,599$$

Perhitungan Respon Pondasi

a) Damping Ratio

$$B_{\alpha} = \text{mass ratio massa} = \frac{J_{zz}}{\rho \cdot r_o^5}$$

$$B_{\alpha} = \frac{1205002}{1893.3,538^5}$$

$$B_{\alpha} = 1,1978$$

$$D_{\alpha} = \frac{1}{2\sqrt{B_{\alpha}}} \left( \bar{c}_{a2} + \bar{s}_{a2} \frac{D_f}{r_0} \sqrt{\frac{G_s \rho_s}{G \cdot \rho}} \right) \sqrt{\left( \bar{c}_{a1} + \frac{G_s \cdot D_f}{G \cdot r_0} \cdot \bar{s}_{a1} \right)}$$

$$D_{\alpha} = \frac{1}{2\sqrt{1,1978}} \frac{\left( 0,7 + 2 \cdot \frac{1}{3,538} \sqrt{\frac{30881663.1814}{63202294.1893}} \right)}{\sqrt{\left( 4,3 + \frac{30881663.1}{63202294.3,538} \cdot 12,4 \right)}}$$

$$D_{\alpha} = 0,2056$$

b) Frekuensi Alami Tak Teredam

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{\alpha}}{J_{zz}}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{15980969737}{1205002}}$$

$$\omega_n = 115,1616 \text{ rad/det}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{\alpha}}{J_{zz}}}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot 15,1616$$

$$f_n = 18,3212$$

$$f_n = 18,3212.60 \text{ cpm}$$

$$f_n = 1099,2698 \text{ cpm}$$

c) Frekuensi Alami Teredam/Frekuensi Resonansi

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2D_{\alpha}^2}}$$

$$f_m = \frac{18,3212}{\sqrt{1-2.0,056^2}}$$

$$f_m = 19,1486 \text{ cps}$$

$$f_m = 19,1486.60 \text{ cpm}$$

$$f_m = 1148,918 \text{ cpm}$$





d) Amplitudo vibrasi dan frekuensi resonansi

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_m = 2 \cdot \pi \cdot 19,1486$$

$$\omega_{res} = 120,3628$$

$$\text{Unbalanced force pada saat resonansi : } F_o \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2$$

$$F_o \cdot \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = 22,7983 \cdot \left(\frac{1148,918}{1}\right)^2$$

$$F_{o \text{ pd frek resonansi}} = F_o \times \left(\frac{f_m}{f_{op}}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot \omega_{res}^2$$

$$22,7983 \cdot \left(\frac{1148,918}{1}\right)^2 = m_1 \cdot e \cdot 120,3628^2$$

$$30094006 = m_1 \cdot e \cdot 120,3628^2$$

$$2077,2818 = m_1 \cdot e$$

$$\text{Untuk Rotating Mass : } \alpha_{(res)} = \frac{m_1 \cdot e \cdot \left(\frac{x}{2}\right)}{J_{zz} \cdot 2D_a \sqrt{1 - D_a^2}}$$

$$\alpha_{(res)} = \frac{2077,2818 \cdot \left(\frac{6,2}{2}\right)}{1205002 \cdot 2,02056 \sqrt{1 - 0,2056^2}}$$

$$\alpha_{(res)} = 0,013278 \text{ m}$$

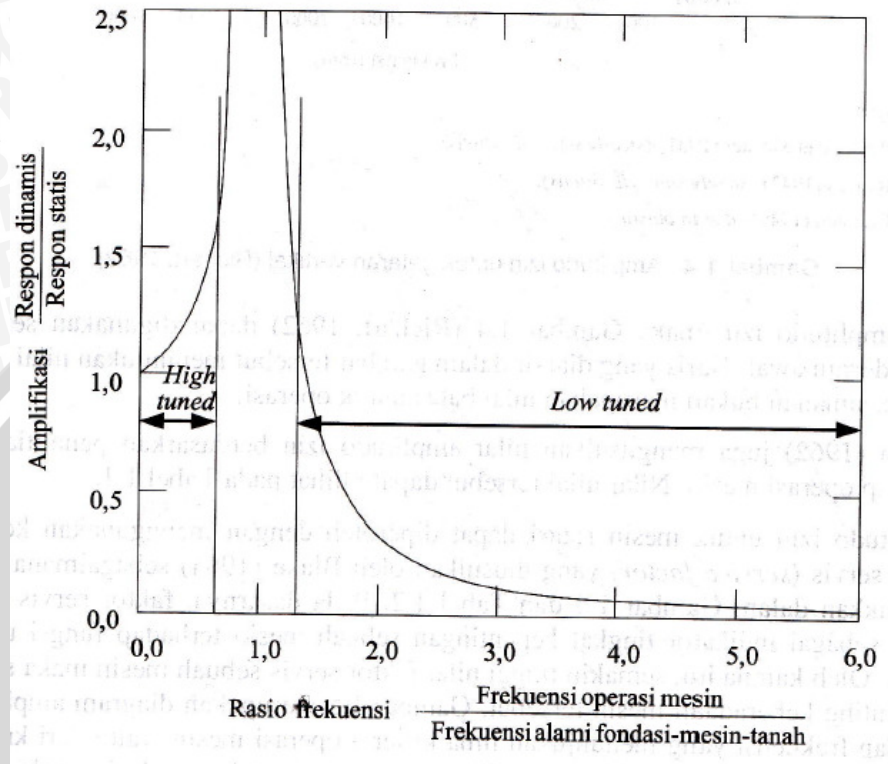
$$\alpha_{(res)} = 13,278 \text{ mm}$$

Amplitudo pada saat resonansi melebihi amplitudo ijin yakni 0,2 mm. Namun, hal ini dimungkinkan tidak relevannya persamaan yang digunakan. Tidak relevannya persamaan yang digunakan dimungkinkan karena frekuensi operasi mesin sebesar 1 cpm 1 cpm memiliki rentang yang jauh dengan frekuensi alami pondasi sebesar 1099,2698 cpm sehingga, kemungkinan terjadinya resonansi sangat kecil. Oleh karena itu, perhitungan amplitudo pada saat resonansi tidak dianalisis (diabaikan).

Ditinjau dari hasil analisa di atas, dilakukan pengontrolan sebagai berikut :

1. Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi ( $f_n$ ) tidak sama dengan kecepatan operasi ( $f$ ))

Selain menggunakan rumusan di atas, pengontrolan pondasi untuk analisis torsi dapat dilakukan dengan melihat apakah terjadi resonansi dari gambar berikut :



Gambar 4. 6 Tuning pondasi (Prakash dan Puri, 1988)

Untuk analisis torsi :

$$Rasio\ frekuensi = \frac{Frekuensi\ operasi\ mesin}{frekuensi\ alami\ pondasi-mesin-tanah}$$

$$Rasio\ frekuensi = \frac{1}{1099,2698}$$

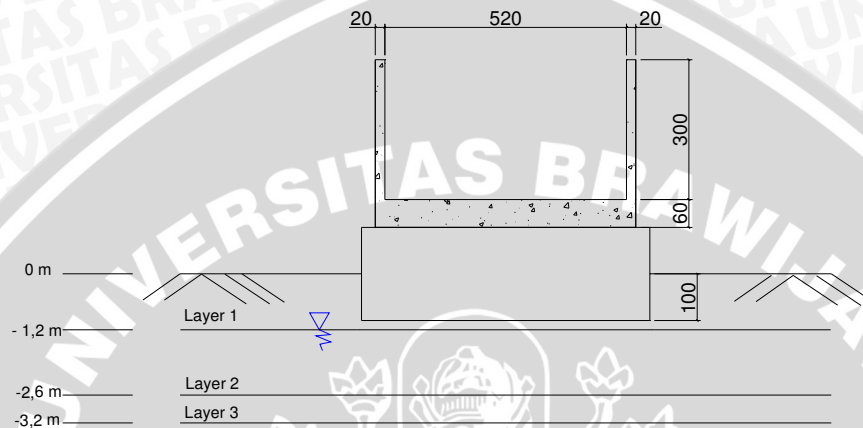
$$Rasio\ frekuensi = 0,00091 \rightarrow \text{mendekati } 0$$

Sehingga, berdasarkan pengontrolan tersebut nampak bahwa pondasi berada di zona *high tuned foundation* yakni apabila frekuensi alami sistem pondasi-mesin-tanah lebih besar bila dibandingkan frekuensi operasi mesin. Berdasarkan analisis di atas dapat disimpulkan bahwa pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis torsi.

### 4.3. Analisis daya dukung

Pada perencanaan pondasi mesin, perhitungan daya dukung dianalisa berdasarkan beban-beban yang mempengaruhi yakni akibat beban statis dan beban dinamis.

#### 4.3.1 Daya dukung akibat beban statis



Analisis daya dukung akibat beban statis menggunakan persamaan kapasitas dukung ultimit untuk pondasi yang terletak di tanah lempung, yang tanahnya terdiri dari dua lapis, yaitu lempung lunak pada bagian atas dan lempung kaku pada bagian bawah.

Diketahui data-data sebagai berikut :

- Lebar pondasi (B) = 6,2 m
- Panjang pondasi (L) = 6,2 m
- Tebal pondasi (T) = 2 m
- Kedalaman pondasi (Df) =  $T - 1 = 2 - 1 = 1$  m
- Jarak dasar pondasi ke lapis 2 (H) = 0,2 m

Lapisan 1 (*clayey silt to silt*)

- Berat jenis tanah ( $\gamma_d$ ) = 1857 kgf/m<sup>3</sup>
- Kohesi (Cu) = 675 kgf/m<sup>2</sup>

Lapisan 2 (*sandy silt to clay*)

- Berat jenis tanah ( $\gamma_{sat}$ ) = 1908 kgf/m<sup>3</sup>
- Kohesi (Cu) = 770 kgf/m<sup>2</sup>

Adanya pengaruh muka air tanah pada kedalaman  $z$  di bawah dasar pondasi ( $z = 0,2m < B$ ) maka, nilai  $\gamma$  yang digunakan adalah  $\gamma_{\text{rata-rata}}$  yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = \gamma' + \left(\frac{z}{B}\right) (\gamma_d - \gamma')$$

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = (1908 - 980) + \left(\frac{0,2}{6,2}\right) (1857 - (1908 - 980))$$

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = 958 \text{ kgf/m}^3$$

Pondasi berbentuk persegi :

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{770}{675} = 1,1407 \approx 1,5$$

$$\frac{B}{H} = \frac{6,2}{0,2} = 31$$

Berdasarkan tabel faktor kapasitas dukung  $N_m$  untuk;

$$\frac{B}{H} = 20 \rightarrow N_m = 6,76$$

$$\frac{B}{H} = 40 \rightarrow N_m = 7,25$$

Dari interpolasi untuk  $\frac{B}{H} = 31 \rightarrow N_m = 7,03$

Kapasitas dukung ultimit :

$$q_u = c_1 \cdot N_m + D_f \cdot \gamma_{\text{rata-rata}}$$

$$q_u = 675 \times 7,03 + (1 \times 958)$$

$$q_u = 5702 \text{ kgf/m}^2$$

Kontrol:

$$W_{\text{total}} = W_{\text{tabung}} + W_{\text{produk}} + W_{\text{mesin}} + W_{\text{pondasi}}$$

$$W_{\text{total}} = 8599 + 13679 + 500 + 184512$$

$$W_{\text{total}} = 207290 \text{ kgf}$$

Tekanan tanah yang terjadi :

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\sigma = \frac{207290}{6,2,6,2}$$

$$\sigma = 5393 \text{ kgf/m}^2 < q_u \quad (\text{AMAN})$$

#### 4.3.2 Daya dukung akibat beban dinamis

Pondasi yang terletak pada tanah lempung dan menerima beban dinamis dapat memperhitungkan strain rate. Carroll (1963) mengusulkan  $\frac{cu_{dinamis}}{cu_{statis}} = \varepsilon$ , dengan  $\varepsilon$  adalah regangan, sebagaimana rumus berikut :

$$cu_{dyn} = \varepsilon \times cu_{stat}$$

$$cu_{dyn} = 1,5 \times 675$$

$$cu_{dyn} = 1013 \text{ kg/m}^2$$

$$q = D_f \cdot \gamma$$

$$q = 1.1857$$

$$q = 1857 \text{ kg/m}^2$$

Dari rumus diatas dapat ditentukan nilai daya dukung dinamis sebagai berikut :

$$q_u = 5,14 cu_{dyn} \left[ 1 + 0,1946 \left( \frac{B}{L} \right) \right] \times \left[ 1 + 0,4 \left( \frac{D_f}{B} \right) \right] + q$$

$$q_u = 5,14 \times 1013 \left[ 1 + 0,1946 \left( \frac{6,2}{6,2} \right) \right] \times \left[ 1 + 0,4 \left( \frac{1}{6,2} \right) \right] + 1857$$

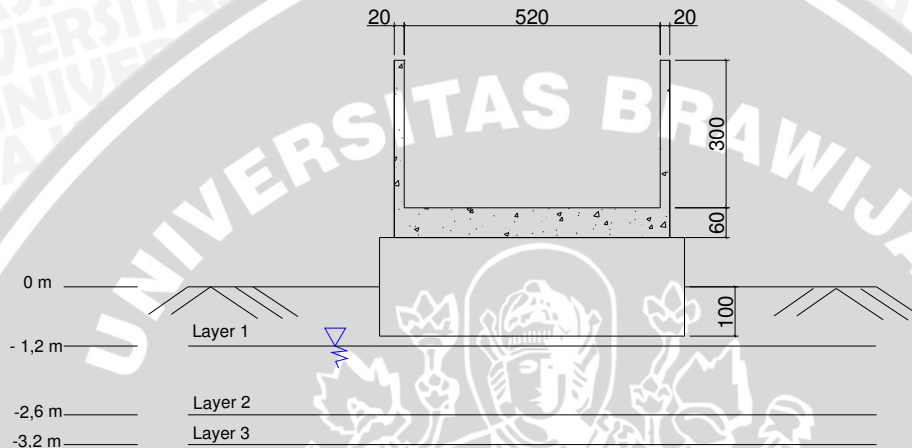
$$q_u = 8475 \text{ kgf/m}^2 > \sigma = 5393 \text{ kgf/m}^2 (\text{AMAN})$$

#### 4.4. Analisis penurunan

Pada dasarnya, karakteristik tanah pada proyek pembangunan IPAL ( Instalasi Pengolahan Air Limbah ) untuk bangunan *clarifier* ini cukup baik. Berdasarkan hasil uji sondir, tanah mudah mencapai kedalaman tanah keras. Penurunan tanah yang diakibatkan getaran mesin *scraper* hanya diperhitungkan sampai kedalaman 3,2 meter (sampai mencapai tanah keras). Perhitungan penurunan dibagi menjadi dua yakni akibat beban statis dan akibat beban dinamis.

#### 4.4.1 Penurunan akibat beban statis

Berdasarkan karakteristik dari tanah lokasi pembangunan *clarifier*, dapat dilihat bahwa kondisi tanah cenderung berlapis. Pada lapisan ke-1 dan lapisan ke-2 tanah cenderung mendekati jenis lempung sedangkan pada lapisan ke-3 tanah cenderung berpasir sehingga penurunan total yang terjadi merupakan total dari penjumlahan dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.



Dengan data-data sebagai berikut :

- Layer 1 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 95714 kg/m<sup>2</sup>
  - $\gamma$  : 1857 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,593
- Layer 2 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 295000 kg/m<sup>2</sup>
  - $\gamma$  : 1780 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,647
- Layer 3 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 295000 kg/m<sup>2</sup>
  - $\gamma$  : 1849 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,677

- a) Penurunan pada lapisan tanah lempung :
- Penurunan segera ( *Immediate Settlement* )

Perhitungan tekanan pondasi netto ( $q_n$ ) :

Total beban :

$$W_{total} = W_{tabung} + W_{produk} + W_{mesin} + W_{pondasi}$$

$$W_{total} = 8599 + 13679 + 500 + 184512$$

$$W_{total} = 207290 \text{ kgf}$$

Sehingga :

$$q_n = \frac{W}{A} - (\gamma_{lapis 1} \cdot D_f)$$

$$q_n = \frac{207290}{6,2 \cdot 6,2} - (1857,1)$$

$$q_n = 3536 \text{ kgf/m}^2$$

Penurunan pondasi pada kedalaman 1 – 1,2 meter :

$$\frac{D}{B} = \frac{1}{6,2} = 0,161, \text{ maka } \mu_o = 0,91$$

$$\frac{H}{B} = \frac{0,2}{6,2} = 0,032, \text{ dan } \frac{L}{B} = \frac{6,2}{6,2} = 1, \text{ maka } \mu_1 = 0,05$$

Dengan mengambil nilai modulus elastisitas  $E = 3 \cdot q_c$

Pada kedalaman 1-1,2  $q_c$  rata-rata adalah  $95714 \text{ kgf/m}^2$

$$E = 3 \cdot q_c$$

$$E = 3 \cdot 95714$$

$$E = 287143 \text{ kgf/m}^2$$

Sehingga penurunan yang terjadi pada lapisan 1-1,2 m :

$$S_i = \mu_1 \cdot \mu_o \cdot \frac{q \cdot B}{E}$$

$$S_i = 0,05 \cdot 0,91 \cdot \frac{3410 \cdot 6,2}{287143}$$

$$S_i = 0,00335 \text{ m}$$

Perhitungan penurunan lapisan dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 14** Perhitungan penurunan segera

Kedalaman	B (meter)	D (meter)	H (meter)	D/B	H/B	$\mu_o$	$\mu_l$	q (kg/m <sup>2</sup> )	E (kg/m <sup>2</sup> )	Si (m)
1 - 1,2	6,2	1	0,2	0,161	0,032	0,91	0,05	3536	287143	0,00347
1,2 - 2,6	6,2	1	1,4	0,161	0,226	0,95	0,2	3536	885000	0,001518
total penurunan segera										0,004992

Maka, total penurunan segera adalah sebesar 0,004992 meter

- Penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Untuk penyebaran beban ke tanah di bawah pondasi, maka dalam hal ini dipakai metode penyebaran 2V : 1 H. untuk pondasi empat persegi panjang :

$$\Delta\sigma_z = \frac{q_n L B}{(L+z)(B+z)}$$

Dengan nilai penurunan :

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} + \log \frac{p_{o'} + \Delta p}{p_{o'}}$$

Dimana :

$\Delta\sigma_z$  : tambahan tegangan vertikal

$q_n$  : tekanan netto (terbagi rata) :  $q_n = 3410 \text{ kgf/m}^2$

L : panjang luasan beban (m) : 6,2 meter

B : lebar luasan beban (m) : 6,2 meter

z : jarak tengah-tengah lapisan terhadap dasar pondasi

Penurunan pondasi pada kedalaman 1 – 1,2 meter :

$$z = \frac{1,2-1}{2} = 0,1 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta p = \frac{q_n \cdot L \cdot B}{(L+z)(B+z)}$$



$$\Delta\sigma_z = \Delta p = \frac{3536 \cdot 6,2 \cdot 6,2}{(6,2+0,1)(6,2+0,1)}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta p = 3424$$

Perhitungan  $Po'$  di tengah lapisan adalah :

$$po' = D_f \cdot \gamma_1 + z \cdot \gamma'$$

$$po' = D_f \cdot \gamma_1 + z \cdot \gamma'$$

$$po' = 1.1856,9937 + 0,1.1856,9937$$

$$po' = 2043 \text{ kgf/m}^2$$

$$C_c = 0,141 \cdot G_s^{1,2} \left( \frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2,38}$$

$$C_c = 0,141 \cdot 2,593^{1,2} \left( \frac{1+0,7515}{2,593} \right)^{2,38}$$

$$C_c = 0,1738$$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} + \log \frac{po' + \Delta p}{po'}$$

$$S_c = \frac{0,1738 \cdot 0,2}{1+0,7515} + \log \frac{2043+3424}{2043}$$

$$S_c = 0,008489 \text{ m}$$

Perhitungan pada lapisan selanjutnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

Kedalaman	Z(meter)	B (meter)	L (meter)	H (meter)	$\gamma$	Gs	$e_0$	$Po'$	q (kg/m <sup>2</sup> )
1 - 1,2	0,1	6,2	6,2	0,2	1857	2,593	0,7515	2043	3536
1,2 - 2,6	0,7	6,2	6,2	1,4	1780	2,647	1,0246	1617	3536

**Tabel 4. 15** perhitungan penurunan konsolidasi

$\Delta\sigma_z$	$C_c$	$\frac{C_c H}{1 + e_0}$	$\frac{po' + \Delta p}{po'}$	$S_c (m)$
3302	0,173891	0,019856	0,41774	0,008489
2600	0,239583	0,165671	0,41625	0,070581

0,001643076 m

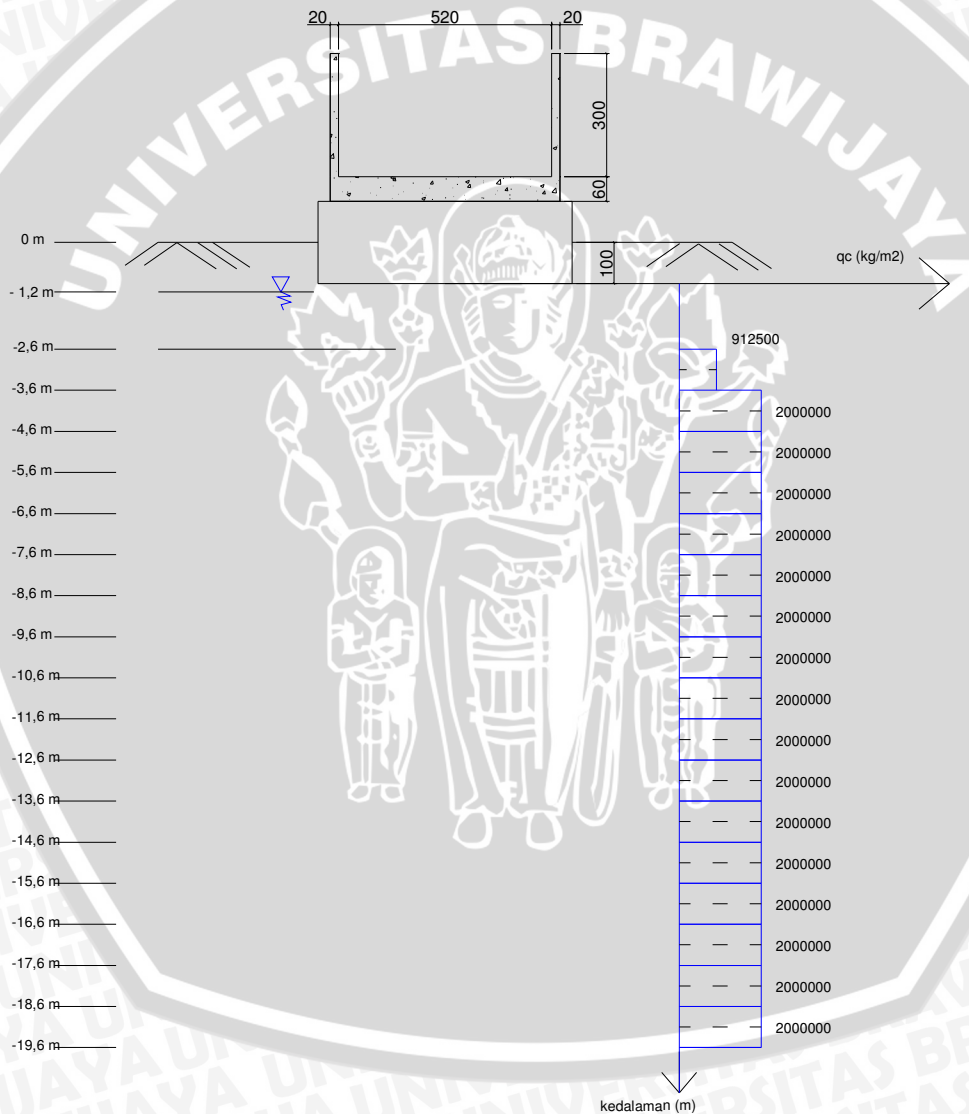
Maka, total penurunan adalah sebesar 0,001643076 meter

b) Penurunan pada lapisan tanah pasir :

- Penurunan segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan segera pada tanah pasir menggunakan cara De Beer Marten yang dilakukan pada kedalaman 3B-4B di bawah dasar pondasi. Oleh karena itu, penurunan dihitung sampai kedalaman 3 (6,2) m = 18,6 m. Sehingga, perhitungan penurunan untuk tanah pada kedalama 2,6 – 19,6 m

Pada kedalaman 2,6 – 3,2 meter  $q_c$  rata-rata adalah  $912500 \text{ kgf/m}^2$



Perhitungan  $Po'$  di tengah lapisan adalah :

$$Po' = H_{lapis 1} \cdot \gamma_1 + H_{lapis 2} \cdot \gamma' + \frac{1}{2} H_{lapis 3} \cdot \gamma'$$

$$Po' = 1,2.1856,9937 + 1,4.(1908 - 980) + \frac{1}{2}.1.(1943 - 980)$$

$$Po' = 4008,334 \text{ kgf/m}^2$$

Kedalaman (meter)	Tebal lapisan (meter)	$q_c \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}\right)$	Po' di tengah lapisan	$C = \frac{1,5qc}{Po'}$
2,6-3,6	1	912500	4008,334	341,4760656
3,6-4,6	1	2000000	4971,045	603,4947991
4,6-5,6	1	2000000	5933,757	505,5818756
5,6-6,6	1	2000000	6896,469	435,0052367
6,6-7,6	1	2000000	7859,180	381,7191935
7,6-8,6	1	2000000	8821,892	340,0631037
8,6-9,6	1	2000000	9784,604	306,6041377
9,6-10,6	1	2000000	10747,315	279,1394756
10,6-11,6	1	2000000	11710,027	256,1906957
11,6-12,6	1	2000000	12672,739	236,728622
12,6-13,6	1	2000000	13635,451	220,0147327
13,6-14,6	1	2000000	14598,162	205,5053203
14,6-15,6	1	2000000	15560,874	192,7912289
15,6-16,6	1	2000000	16523,586	181,5586566
16,6-17,6	1	2000000	17486,297	171,5629075
17,6-18,6	1	2000000	18449,009	162,6103607
18,6-19,6	1	2000000	19411,721	154,5458053

Perhitungan  $\Delta\sigma_z$  di bawah pusat pondasi dilakukan dengan membagi luasan pondasi menjadi 4 bagian yang sama dengan  $B = L = \frac{6,2}{2} = 3,1 \text{ m}$

Dengan

$$z = 3,1 - 1$$

$$z = 2,1 \text{ m}$$



**Tabel 4. 16** Penurunan segera pada lapisan tanah pasir

Kedalaman	$\frac{B}{z} = \frac{L}{z}$	I	$\Delta\sigma_z = \Delta p = 4 Iq$	$Ln \frac{po' + \Delta p}{po'}$	$S_i$
3,1	3,0	0,242	0,968	0,000241468	7,07129E-07
4,1	2,0	0,238	0,952	0,000191491	3,17303E-07
5,1	1,5	0,235	0,94	0,000158403	3,13309E-07
6,1	1,2	0,23	0,92	0,000133393	3,06646E-07
7,1	1,0	0,18	0,72	9,16084E-05	2,39989E-07
8,1	0,9	0,17	0,68	7,7078E-05	2,26658E-07
9,1	0,8	0,15	0,6	6,13189E-05	1,99994E-07
10,1	0,7	0,13	0,52	4,8383E-05	1,73329E-07
11,1	0,6	0,12	0,48	4,09897E-05	1,59997E-07
12,1	0,6	0,12	0,48	3,78759E-05	1,59997E-07
13,1	0,5	0,115	0,46	3,3735E-05	1,53331E-07
14,1	0,5	0,115	0,46	3,15103E-05	1,53331E-07
15,1	0,4	0,07	0,28	1,79937E-05	9,33325E-08
16,1	0,4	0,07	0,28	1,69453E-05	9,33325E-08
17,1	0,4	0,07	0,28	1,60124E-05	9,33326E-08
18,1	0,4	0,07	0,28	1,51769E-05	9,33326E-08
19,1	0,3	0,04	0,16	8,24241E-06	5,33331E-08
					$3,54 \cdot 10^{-06}$
					0,00354

Maka, total penurunan segera adalah sebesar 0,00354 meter

Berdasarkan perhitungan di atas maka penurunan yang terjadi adalah :

$$S = S_i + S_c + S_t$$

$$S = 0,004992 + 0,001643076 + 0,00354$$

$$S = 0,006638 \text{ meter}$$

Untuk pondasi rigid, maka penurunan ini dikalikan faktor kekakuan pondasi sebesar 0,85 untuk pondasi yang kaku sempurna (*rigid*) sehingga:

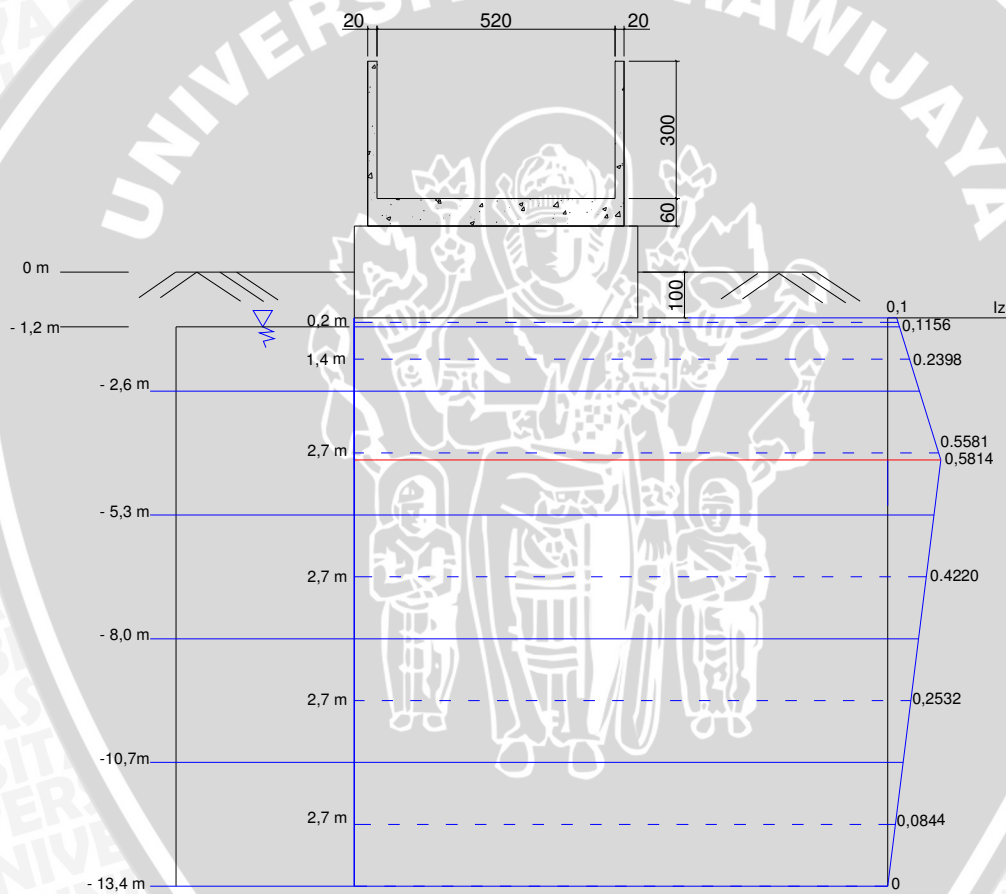
$$S = 0,8 \times 0,00663 \text{ m}$$

$$S = 0,005642 \text{ m} = 5,642 \text{ mm} < \text{penurunan ijin} = 65 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut pondasi aman terhadap penurunan akibat beban statis.

- Penurunan dengan metoda Schmertmann :

Penurunan segera pada tanah pasir menggunakan cara Schmertmann dilakukan dengan memperhatikan tahanan kerucut  $q_c$  sampai kedalaman  $2B$  dari dasar pondasi. Lebar pondasi  $B = 6,2 \text{ m}$  sehingga penurunan di analisis sampai kedalaman  $12,4 \text{ m}$  dari dasar pondasi.



Total beban :

$$W_{total} = W_{tabung} + W_{produk} + W_{mesin} + W_{pondasi}$$

$$W_{total} = 8599 + 13679 + 500 + 184512$$

$$W_{total} = 207290 \text{ kgf}$$

Tekanan overburden pada dasar pondasi :

$$\sigma'_{zD} = \gamma \cdot D$$

$$\sigma'_{zD} = 1(958)$$

$$\sigma'_{zD} = 958 \text{ kgf/m}^2$$

Sehingga :

$$q' = q - \sigma'_{zD} = \frac{W}{A} - (\gamma_{\text{lapis 1}} \cdot D_f)$$

$$q' = \frac{207290}{6,2 \cdot 6,2} - (958 \cdot 1) = 3536 \text{ kgf/m}^2$$

$$\sigma'_{zP} = D_f \cdot \gamma + 0,2 \gamma + 1,4 (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + 1,5 (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)$$

$$\sigma'_{zP} = 1 \times 958 + 0,2 \times 958 + 1,4 (1908 - 980) + 1,5 \times (1943 - 980)$$

$$\sigma'_{zP} = 3893,3 \text{ kf/m}^2$$

$$I_{zp} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{q - \sigma'_{zD}}{\sigma'_{zP}}}$$

$$I_{zp} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{3536 - 958}{3893,3}}$$

$$I_{zp} = 0,5814$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \left( \frac{\sigma'_{zD}}{q - \sigma'_{zD}} \right)$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \left( \frac{958}{3536} \right)$$

$$C_1 = 0,86$$

Ditinjau penurunan untuk  $t = 50$  tahun maka faktor rangkai adalah sebesar :

$$C_2 = 1 + 0,2 \log\left(\frac{50}{0,1}\right) = 1,538$$

Sedangkan faktor bentuk pondasi :

$$C_3 = 1,03 - 0,03 \frac{L}{B}$$

$$C_3 = 1$$

Modulus elastisitas dihitung dengan cara pendekatan empiris yang diusulkan Schmertmann (1978) , yakni  $E = 2,5 \cdot q_c$  untuk pondasi persegi. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh besar penurunan untuk masing-masing lapisan tanah sebagai berikut :

**Tabel 4. 17** Hasil perhitungan penurunan dengan cara Schmertmann

Kedalaman (m)	$I_z$	$\Delta z$ (m)	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$q_c$	$E$	$\frac{I_z \cdot H}{E}$
1,0 - 1,2	0,1156	0,2	0,86	1,538	1	60000	150000	1,54133E-07
1,2 - 2,6	0,2398	1,4	0,86	1,538	1	295000	737500	4,55214E-07
2,6 - 5,3	0,5581	2,7	0,86	1,538	1	912500	2281250	6,60546E-07
5,3 - 8,0	0,422	2,7	0,86	1,538	1	912500	2281250	4,99463E-07
8,0 - 10,7	0,2532	2,7	0,86	1,538	1	912500	2281250	2,99678E-07
10,7 - 13,4	0,0844	2,7	0,86	1,538	1	912500	2281250	9,98926E-08
$\sum \frac{I_z \cdot H}{E} =$								2,1689. 10 <sup>-06</sup>

$$\delta = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot q' \cdot \sum \frac{I_z \cdot H}{E}$$

$$\delta = 0,86 \cdot 1,538 \cdot 1 \cdot 3536 \cdot 2,1689 \cdot 10^{-06}$$

$$\delta = 0,01014 \text{ m} = 10,14 \text{ mm}$$

Hasil analisa perhitungan penurunan yang dipilih adalah dengan menggunakan metoda Schmertmann yakni sebesar 10,14 mm < 65 mm. Pertimbangan yang dijadikan dasar pemilihan metoda ini adalah dikarenakan pada metoda sebelumnya seharusnya dianalisa terlebih dahulu apakah konsolidasi lapisan lempung merupakan lempung terkonsolidasi normal atau terkonsolidasi berlebihan. Oleh karena itu, penggunaan metoda Schmertmann dirasa lebih akurat dan mewakili data yang sebenarnya.

**4.4.2 Penurunan akibat beban dinamis**

Dalam perhitungan penurunan terhadap beban dinamis, kedalaman tanah dibagi menjadi tiga lapisan berdasarkan jenis lapisan tanah hasil sondir yakni:

- Lapis 1 : 0,2 m = 0,656 ft
- Lapis 2 : 1,4 m = 4,593 ft
- Lapis 3 : 0,6 m = 1,969 ft

**Tabel 4. 18** Penjelasan mengenai deposit tanah

Kepadatan Relatif	Penjelasan Mengenai Deposit Tanah
0-15	Sangat lepas
15-50	Lepas
50-70	Sedang
70-85	Padat
85-100	Sangat Padat

Sumber: Braja M. Das,1998

Diasumsikan kepadatan tanah bertambah seiring bertambahnya kedalaman sehingga, kepadatan relatif ( $D_r$ ) ditentukan tiap lapisan :

Lapis 1 : 60 %

Lapis 2 : 70 %

Lapis 3 : 80 %

Penurunan hanya diperhitungkan pada arah vertikal sehingga amplitudo maksimum yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya menggunakan amplitudo pada mode gerakan translasi vertikal Amplitudo pada mode gerakan tersebut adalah  $8,45937 \cdot 10^{-6} \text{ mm} = 3,3304 \cdot 10^{-7} \text{ inc}$

Frekuensi operasi mesin ( $\omega$ ) = 1 rpm = 0,105 rad/det.

- Ukuran pondasi :

lebar (B) = 6,2 m

panjang (L) = 6,2 m

Jari-jari ekivalen (R) = 3,497271664 m = 11,4739884ft

Percepatan getaran (g) pada dasar pondasi :

$$a_0 = \frac{\omega^2 A_{max}}{(12 \times 32.2)} = \frac{0,105^2 \times 3,3304 \cdot 10^{-7}}{(12 \times 32.2)} = 9,45962^{-12} g$$

#### a) Analisa Lapis 1

- Berat isi tanah tiap lapisan ( $\gamma_t$ ) = 1857kg/m<sup>3</sup> = 115,9283lb/ft
- Kedalaman lapis 1 (H) = 0,6562 ft
- Kedalaman dari dasar pondasi ke pertengahan lapisan (dm) =  $\frac{1}{2}$  H = 0,3281 ft
- Percepatan getaran pada pertengahan lapisan (aj) dalam g

Untuk dm = 0,3281 ft < R = 11,4739 ft, maka didapatkan nilai aj sebagai berikut :

$$a_j = a_0$$

$$a_j = 9,45962^{-12} g$$



- Koefisien pemadatan akibat getaran ( $\beta_v$ )

Kadar air pada kedalaman ini :  $W = 33,6 \% > 18 \%$ ,  $\beta_v$  menurun jika kadar air lebih besar 18 %. Berdasarkan kedua rumus untuk mencari  $\beta_v$ , nilai  $\beta_v$  maksimum = 0,7720 sehingga  $\beta_v$  diambil 0,5. Percepatan kritis ( $a_{kritis}$ ) dalam g dapat dicari dengan rumus :

$$a_{kritis} = -\ln \frac{1 - \frac{D_{r0}}{100}}{\beta_v} = -\ln \frac{1 - \frac{60}{100}}{0,5} = 1,8325g$$

$$a_j = 6,6524410^{-14} g < a_{kritis} = 1,8325g$$

Sehingga  $D_{rf} = D_{r0}$

Karena kepadatan relatif akhir sama dengan kepadatan relatif awal maka tidak ada perubahan kepadatan relatif. Sehingga tidak terjadi penurunan yang berarti akibat getaran mesin.

#### b) Analisa Lapis 2

- Berat isi tanah tiap lapisan ( $\gamma_t$ ) = 1780 kg/m<sup>3</sup> = 111,1067 lb/ft
- Kedalaman lapis 1 (H) = 4,5932 ft
- Kedalaman dari dasar pondasi ke pertengahan lapisan (dm) =  $\frac{1}{2} H = 2,9528$  ft
- Percepatan getaran pada pertengahan lapisan ( $a_j$ ) dalam g

Untuk  $dm = 2,9528$  ft  $< R = 11,4739$  ft, maka didapatkan nilai  $a_j$  sebagai berikut :

$$a_j = a_0$$

$$a_j = 9,45962^{-12} g$$

- Koefisien pemadatan akibat getaran ( $\beta_v$ )

Kadar air pada kedalaman ini :  $W = 35,31 \% > 18 \%$ ,  $\beta_v$  menurun jika kadar air lebih besar 18 %. Berdasarkan kedua rumus untuk mencari  $\beta_v$ , nilai  $\beta_v$  maksimum = 0,7721 sehingga  $\beta_v$  diambil 0,5

Percepatan kritis ( $a_{kritis}$ ) dalam g dapat dicari dengan rumus :

$$a_{kritis} = -\ln \frac{1 - \frac{D_{r0}}{100}}{\beta_v} = -\ln \frac{1 - \frac{70}{100}}{0,5} = 2,4079 g$$

$$a_j = 9,45962^{-12} g < a_{kritis} = 2,4079 g$$

Sehingga  $D_{rf} = D_{r0}$

Karena kepadatan relatif akhir sama dengan kepadatan relatif awal maka tidak ada perubahan kepadatan relatif. Sehingga tidak terjadi penurunan yang berarti akibat getaran mesin.

c) **Analisa Lapis 3**

- Berat isi tanah tiap lapisan ( $\gamma_t$ ) = 1849 kg/m<sup>3</sup> = 115,4132 lb/ft
- Kedalaman lapis 1 (H) = 1,9685 ft
- Kedalaman dari dasar pondasi ke pertengahan lapisan (dm) =  $\frac{1}{2}$  H = 6,2335 ft
- Percepatan getaran pada pertengahan lapisan ( $a_j$ ) dalam g

Untuk dm = 6,2335 ft < R = 11,4739 ft, maka didapatkan nilai  $a_j$  sebagai berikut :

$$a_j = a_0$$

$$a_j = 9,45962^{-12} g$$

- Koefisien pemadatan akibat getaran ( $\beta_v$ )

Kadar air pada kedalaman ini : W = 46,45 % > 18 %,  $\beta_v$  menurun jika kadar air lebih besar 18 %. Berdasarkan kedua rumus untuk mencari  $\beta_v$ , nilai  $\beta_v$  maksimum = 0,7728 sehingga  $\beta_v$  diambil 0,5

Percepatan kritis ( $a_{kritis}$ ) dalam g dapat dicari dengan rumus :

$$a_{kritis} = -\ln \frac{1 - \frac{D_{r0}}{100}}{\beta_v} = -\ln \frac{1 - \frac{80}{100}}{0,5} = 3,2189 g$$

$$a_j = 9,45962^{-12} g < a_{kritis} = 3,2189 g$$

Sehingga  $D_{rf} = D_{r0}$

Karena kepadatan relatif akhir sama dengan kepadatan relatif awal maka tidak ada perubahan kepadatan relatif. Sehingga tidak terjadi penurunan yang berarti akibat getaran mesin.

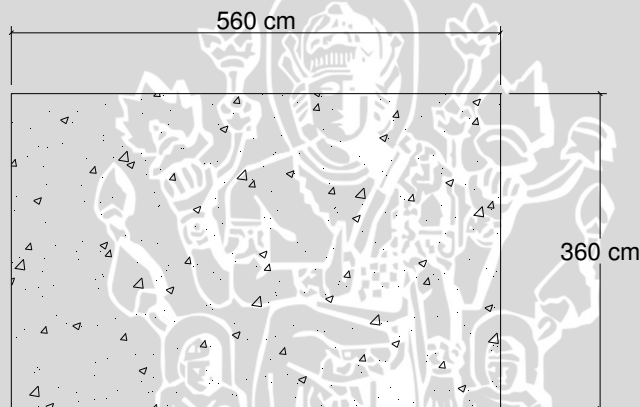
- **PONDASI BLOK STATIS EKIVALEN**

#### 4.5. Perhitungan pembebanan

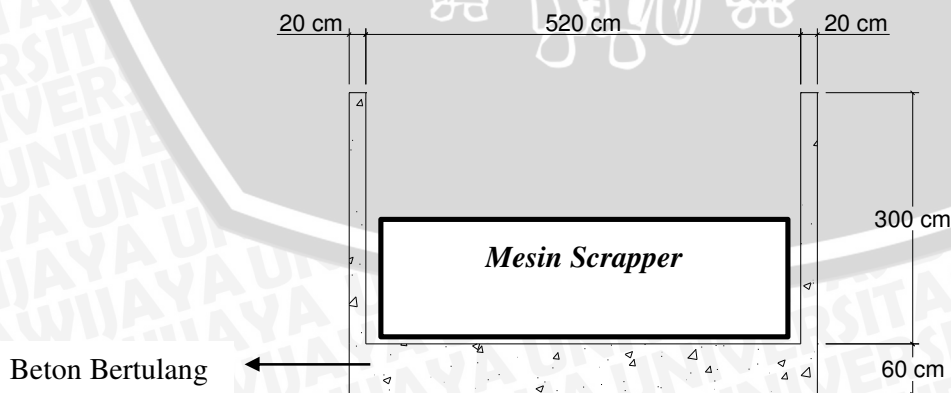
Pada perencanaan pondasi *clarifier*, beban-beban yang bekerja adalah sebagai berikut :

- **Beban Statis** :

Sama halnya dengan perencanaan pondasi dinamis beban yang ditinjau merupakan bangunan *clarifier*. Sedangkan mesin yang terdapat dalam bangunan tersebut dinamakan *scraper*. Untuk memudahkan analisis, bangunan *clarifier* dianggap sebagai silinder berongga sempurna. Berikut adalah gambar dari bangunan *clarifier* dan letak mesin *scraper* :

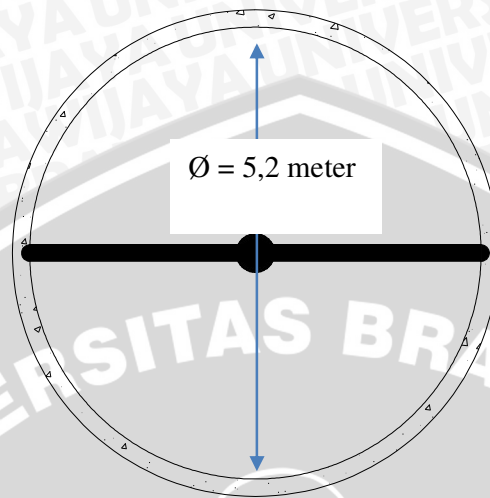


**Gambar 4. 7** Tampak samping bangunan *clarifier*



**Gambar 4. 8** Potongan melintang bangunan *clarifier*

Gambar di atas merupakan sketsa letak mesin *scraper* saja, untuk detail gambar mesin dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 4.9** Tampak atas bangunan *clarifier*

Diketahui :

1. Kecepatan mesin *scraper* : 1 rpm
2. Berat mesin *scraper* : 500 kgf = 5000 N (data lapangan)

Tidak berbeda dengan pondasi blok dinamis, sebelum perencanaan dihitung terlebih dahulu menghitung berat keseluruhan dari bangunan yang akan menjadi beban pondasi. Beban – beban tersebut adalah :

1. Berat bangunan beton bertulang :

$$V_{\text{silinder aktual}} = 3,583 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{silinder aktual}} : 8598,857 \text{ kgf}$$

2. Berat air limbah

Selain beban statis meliputi bangunan beton dan bangunan mesin, berat produk merupakan beban yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pondasi blok. Berat produk dalam bangunan *clarifier* merupakan berat air limbah. Air limbah dipengaruhi oleh aktivitas mesin *scraper* yang berputar sebesar 1 rpm. Sehingga, berat produk sama dengan pada perhitungan pada pondasi blok dinamis :

$$W_{produk} = 13679 \text{ kgf} = 136790 \text{ N}$$

- Beban Dinamis

Beban air limbah (produk) merupakan beban dinamis yang terjadi akibat adanya eksentrisitas. Adanya beban dinamis, menyebabkan timbulnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*). Mengacu pada ACI 351.3R.04, hubungan besarnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*) dapat dikaitkan dengan kecepatan mesin yang dirumuskan dengan :

$$F_o = \frac{W_r \cdot f_o}{6000}$$

Dimana :

$F_o$  = gaya tak seimbang

$W_r$  = massa yang berputar (N)

$f_o$  = kecepatan operasi mesin (rpm)

Dengan kecepatan putaran *scraper* sebesar 1 rpm maka besarnya gaya tak seimbang (*unbalanced force*) yang dimiliki oleh mesin tersebut :

$$f_o = 1 \text{ rpm}$$

$$W_r = W_{produk} = 88374 \text{ N}$$

$$F_o = \frac{W_r \cdot f_o}{6000}$$

$$F_o = \frac{136790 \cdot 1}{6000}$$

$$F_o = 22,798 \text{ N}$$

Menurut Nawrotzki, Hüffmann, dan Uzunoglu (2008) dalam *Static and Dynamic Analysis of Concrete Turbine* untuk jenis pondasi dengan geometri yang sederhana, analisa beban statis ekivalen lebih mudah untuk diterapkan dibandingkan analisa dinamis. Statik ekivalensi beban dari gaya tidak seimbang pada mesin dapat dihitung sebagai berikut :

$$F = v \cdot F(t)$$

$$F = \frac{1}{|1-\eta^2|} \cdot F(t)$$

$$F_{max} = 15 \cdot F(t)$$

Dengan :

F = gaya statis

F(t) = gaya tak seimbang akibat aktifitas mesin

Dimana  $\eta$  adalah perbandingan antara frekuensi operasi mesin ( $f_m$ ) dengan frekuensi natural pondasi ( $f_n$ ) :

$$\eta = \frac{f_m}{f_n}$$

Berdasarkan konsep di atas, dapat dihitung besarnya beban statik ekuivalen untuk gaya tak seimbang akibat adanya aktifitas mesin (*unbalanced force*). Dengan mengambil harga frekuensi natural pondasi untuk vibrasi vertikal :

$$f_m = 1 \text{ cpm}$$

$$f_n = 14,441 \text{ cps} = 866,483 \text{ cpm}$$

Sehingga,

$$\eta = \frac{f_m}{f_n}$$

$$\eta = \frac{1}{866,483}$$

$$\eta = 0,00115$$

$$F = \frac{1}{|1-\eta^2|} \cdot F(t)$$

$$F = \frac{1}{|1-0,00115^2|} \cdot F(t)$$

$$F = \frac{1}{|1,33193 \cdot 10^{-06}|} \cdot F(t)$$

$$F = 1 F(t)$$

Dengan  $F_o = F(t) = 22,7983 \text{ N}$

$$F = 1 \cdot 22,7983 \text{ N}$$

$$F_o = 22,7983 N = 2,27983 \text{ kgf}$$

Maka besarnya statik ekivalensi beban yang diakibatkan oleh *unbalanced force* adalah 0,14729 kgf.

Total beban yang akan mempengaruhi pondasi adalah :

$$W_{total} = W_{statis} + W_{dinamis}$$

$$W_{total} = W_{tabung} + W_{mesin} + W_{produk} + W_{statik \text{ ekivalen } unbalanced \text{ force}}$$

$$W_{total} = 8598,857 + 500 + 13679 + 2,27983$$

$$W_{total} = 115036,1 \text{ kgf}$$

#### 4.6. Perencanaan dimensi

Dalam perencanaan dimensi pondasi dilakukan secara *trial dan error* untuk mendapatkan ukuran pondasi yang paling efisien bagi bangunan *clarifier*. Setelah dilakukan coba-coba dimensi pondasi, maka didapatkan ukuran yang paling aman terhadap penurunan dan daya dukung adalah sebagai berikut :

Dimensi pondasi blok :

- 1 Panjang (L) : 6,2 meter
- 2 Lebar (B) : 1 meter
- 3 Tinggi (T) : 2 meter
- 4 Kedalaman pondasi tertanam ( $D_f$ ) : 0,5 meter

Berdasarkan data-data tersebut maka didapatkan :

- a. Luas bidang kontak antara dasar pondasi dengan tanah :

$$A = L \cdot B$$

$$A = 6,2 \times 6,2$$

$$A = 38,44 \text{ m}^2$$

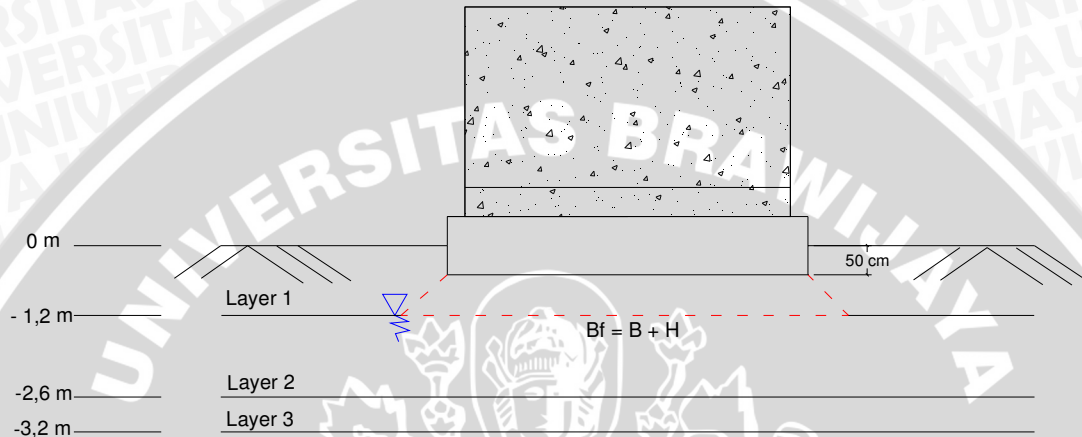
- b. Berat Pondasi :

$$W_{pondasi} = L \cdot B \cdot T \cdot \gamma_{beton}$$

$$W_{pondasi} = 6,2 \cdot 6,2 \cdot 1 \cdot 2400$$

$$W_{pondasi} = 92256 \text{ kgf} = 922560 \text{ N}$$

#### 4.7. Analisis daya dukung



Analisis daya dukung akibat beban statis menggunakan persamaan kapasitas dukung ultimit untuk pondasi yang terletak di tanah lempung, yang tanahnya terdiri dari dua lapis, yaitu lempung lunak pada bagian atas dan lempung kaku pada bagian bawah.

Diketahui data-data sebagai berikut :

- Lebar pondasi (B) = 6,2 m
- Panjang pondasi (L) = 6,2 m
- Tebal pondasi (T) = 1 m
- Kedalaman pondasi ( $D_f$ ) =  $T - 0,5 = 1 - 0,5 = 0,5$  m
- Jarak dasar pondasi ke lapis 2 (H) = 0,7 m

Lapisan 1 (*clayey silt to silt*)

- Berat jenis tanah ( $\gamma_d$ ) = 1857 kgf/m<sup>3</sup>
- Kohesi ( $C_u$ ) = 675 kgf/m<sup>2</sup>

Lapisan 2 (*sandy silt to clay*)

- Berat jenis tanah ( $\gamma_{sat}$ ) = 1908 kgf/m<sup>3</sup>
- Kohesi ( $C_u$ ) = 770 kgf/m<sup>2</sup>



Adanya pengaruh muka air tanah pada kedalaman  $z$  di bawah dasar pondasi ( $z = 0,2m < B$ ) maka, nilai  $\gamma$  yang digunakan adalah  $\gamma_{\text{rata-rata}}$  yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = \gamma' + \left(\frac{z}{B}\right) (\gamma_d - \gamma')$$

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = (1908 - 980) + \left(\frac{0,2}{6,2}\right) (1857 - (1908 - 980))$$

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = 958 \text{ kgf/m}^3$$

Pondasi berbentuk persegi :

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{770}{675} = 1,1407 \approx 1,5$$

$$\frac{B}{H} = \frac{6,2}{0,7} = 9$$

Berdasarkan tabel faktor kapasitas dukung  $N_m$  untuk:

$$\frac{B}{H} = 8 \rightarrow N_m = 6,49$$

$$\frac{B}{H} = 10 \rightarrow N_m = 6,63$$

Dari interpolasi untuk  $\frac{B}{H} = 9 \rightarrow N_m = 6,55$

Kapasitas dukung ultimit :

$$q_u = c_1 \cdot N_m + D_f \cdot \gamma_{\text{rata-rata}}$$

$$q_u = 675 \times 6,55 + (0,5 \times 958)$$

$$q_u = 4937 \text{ kgf/m}^2$$

Kontrol:

$$W_{\text{total}} = W_{\text{tabung}} + W_{\text{produk}} + W_{\text{mesin}} + W_{\text{pondasi}} + W_{\text{statik ekuivalen}}$$

$$W_{\text{total}} = 8599 + 13679 + 500 + 92256 + 2,2798$$

$$W_{\text{total}} = 115036 \text{ kgf}$$

Tekanan tanah yang terjadi :

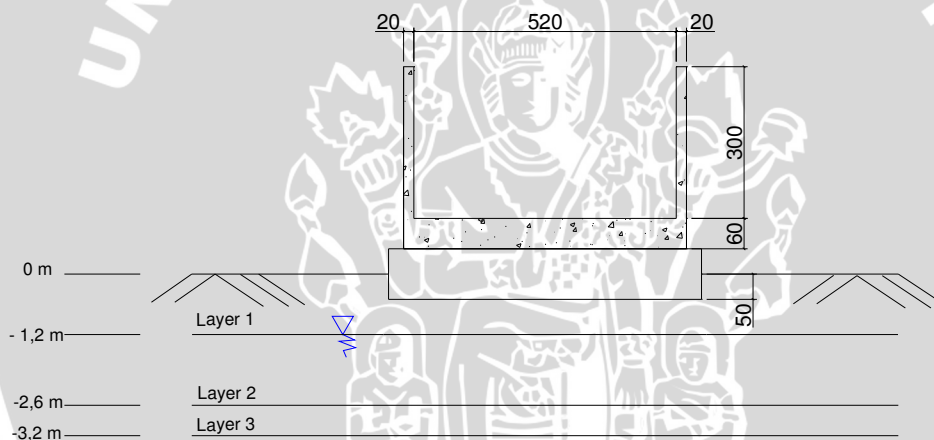
$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\sigma = \frac{115036}{6,2,6,2}$$

$$\sigma = 2992,615 \text{ kgf/m}^2 < q_u \text{ (AMAN)}$$

#### 4.8. Analisis penurunan

Sama dengan penurunan akibat beban statis pada pondasi dinamis, berdasarkan karakteristik dari tanah lokasi pembangunan *clarifier*, dapat dilihat bahwa kondisi tanah cenderung berlapis. Pada lapisan ke-1 dan lapisan ke-2 tanah cenderung mendekati jenis lempung sedangkan pada lapisan ke-3 tanah cenderung berpasir sehingga penurunan total yang terjadi merupakan total dari penjumlahan dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.



Dengan data-data sebagai berikut :

- Layer 1 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 95714 kg/m<sup>2</sup>
  - $\gamma$  : 1857 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,593
- Layer 2 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 295000 kg/m
  - $\gamma$  : 1780 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,647
- Layer 3 :
  - Tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) : 295000 kg/m<sup>2</sup>
  - $\gamma$  : 1849 kg/m<sup>3</sup>
  - Gs : 2,677

- a) Penurunan pada lapisan tanah lempung :
- Penurunan segera ( *Immediate Settlement* )

Perhitungan tekanan pondasi netto ( $q_n$ ) :

Total beban :

$$W_{total} = W_{tabung} + W_{produk} + W_{mesin} + W_{pondasi} + W_{statik\ ekivalen}$$

$$W_{total} = 8599 + 13679 + 500 + 92256 + 2,2798$$

$$W_{total} = 115036\text{ kgf}$$

Sehingga :

$$q_n = \frac{W}{A} - (\gamma_{lapis\ 1} \cdot D_f)$$

$$q_n = \frac{115036}{6,2 \cdot 6,2} - (1857 \cdot 0,5)$$

$$q_n = 2064\text{ kgf/m}^2$$

Penurunan pondasi pada kedalaman 1 – 1,2 meter :

$$\frac{D}{B} = \frac{0,5}{6,2} = 0,081, \text{ maka } \mu_o = 0,98$$

$$\frac{H}{B} = \frac{0,7}{6,2} = 0,113, \text{ dan } \frac{L}{B} = \frac{6,2}{6,2} = 1, \text{ maka } \mu_1 = 0,2$$

Dengan mengambil nilai modulus elastisitas  $E = 3 \cdot q_c$

Pada kedalaman 1-1,2  $q_c$  rata-rata adalah  $95714\text{ kgf/m}^2$

$$E = 3 \cdot q_c$$

$$E = 3 \cdot 95714$$

$$E = 287143\text{ kgf/m}^2$$

Sehingga penurunan yang terjadi pada lapisan 1-1,2 m :

$$S_i = \mu_1 \cdot \mu_o \cdot \frac{q \cdot B}{E}$$

$$S_i = 0,98 \cdot 0,113 \cdot \frac{1938 \cdot 6,2}{287143}$$

$$S_i = 0,004101154 \text{ mm}$$

Perhitungan penurunan lapisan dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 4. 19** Perhitungan penurunan segera

Kedalaman	B (meter)	D (meter)	H (meter)	D/B	H/B	$\mu_o$	$\mu_l$	q (kg/m <sup>2</sup> )	E (kg/m <sup>2</sup> )	Si (m)
0,5 - 1,2	6,2	0,5	0,7	0,081	0,113	0,98	0,1	2064	287143	0,004368
1,2 - 2,6	6,2	0,5	1,4	0,081	0,226	0,98	0,2	2064	885000	0,000457
total penurunan segera										0,004825

Maka, total penurunan segera adalah sebesar 0,004825 meter

- Penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Untuk penyebaran beban ke tanah di bawah pondasi, maka dalam hal ini dipakai metode penyebaran 2V : 1 H. untuk pondasi empat persegi panjang :

$$\Delta\sigma_z = \frac{q_n L B}{(L+z)+(B+z)}$$

Dengan nilai penurunan :

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} + \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'}$$

Dimana :

$\Delta\sigma_z$  : tambahan tegangan vertikal

$q_n$  : tekanan netto (terbagi rata) :  $q_n = 2064 \text{ kgf/m}^2$

L : panjang luasan beban (m) : 6,2 meter

B : lebar luasan beban (m) : 6,2 meter

z : jarak tengah-tengah lapisan terhadap dasar pondasi

Penurunan pondasi pada kedalaman 1 – 1,2 meter :

$$z = \frac{1,2-0,5}{2} = 0,35 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta p = \frac{q_n.L.B}{(L+z)(B+z)}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta p = \frac{1938 \cdot 6,2 \cdot 6,2}{(6,2+0,35)(6,2+0,35)}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta p = 1737$$

Perhitungan Po' di tengah lapisan adalah :

$$po' = D_f \cdot \gamma_1 + z \cdot \gamma'$$

$$po' = D_f \cdot \gamma_1 + z \cdot \gamma'$$

$$po' = 0,5 \cdot 1856,9937 + 0,35 \cdot 1856,9937$$

$$po' = 1578 \text{ kgf/m}^2$$

$$C_c = 0,141 \cdot G_s^{1,2} \left( \frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2,38}$$

$$C_c = 0,141 \cdot 2,593^{1,2} \left( \frac{1+0,7515}{2,593} \right)^{2,38}$$

$$C_c = 0,1738$$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} + \log \frac{po' + \Delta p}{po'}$$

$$S_c = \frac{0,1738 \cdot 0,7}{1+0,7515} + \log \frac{1578+1737}{1578}$$

$$S_c = 0,022395 \text{ m}$$

Perhitungan pada lapisan selanjutnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

Kedalaman	Z(meter)	B (meter)	L (meter)	H (meter)	$\gamma$	Gs	$e_0$	Po'	q (kg/m <sup>2</sup> )
0,5 - 1,2	0,35	6,2	6,2	0,7	1857	2,593	0,7515	1578	2064
1,2 - 2,6	0,7	6,2	6,2	1,4	1780	2,647	1,0246	2546	2064

**Tabel 4. 20** perhitungan penurunan konsolidasi

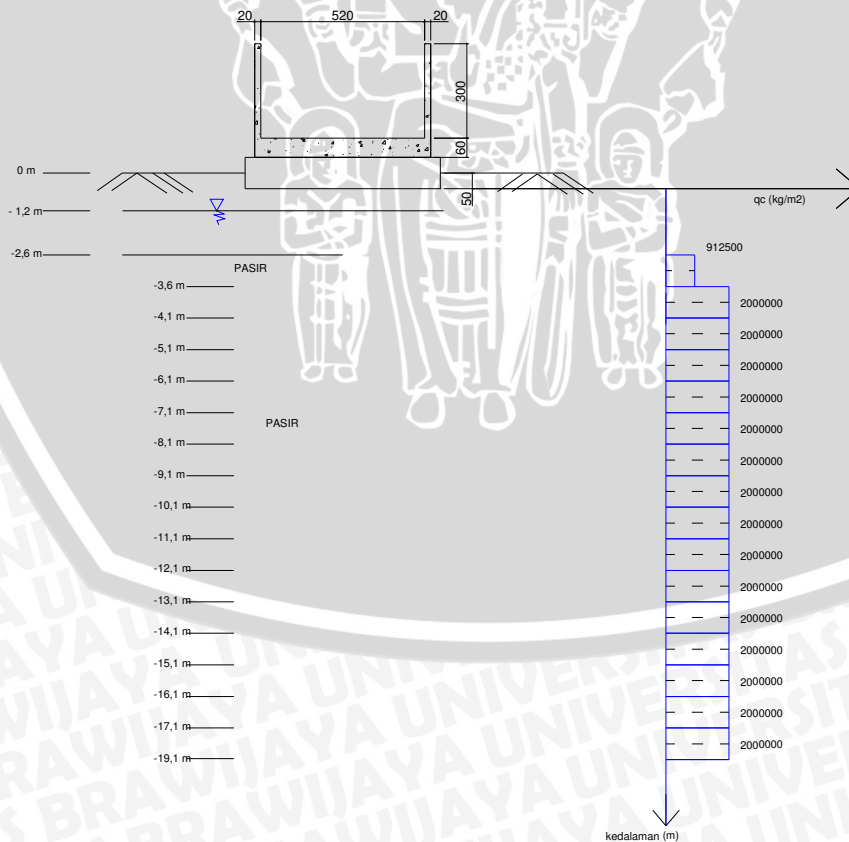
$\Delta\sigma z$	$C_c$	$\frac{C_c H}{1 + e_0}$	$\frac{po' + \Delta p}{po'}$	$S_c (m)$
1737	0,173891	0,069495	0,33679	0,023405
1290	0,239583	0,17802	0,18741	0,031048

0,05445 m

Maka, total penurunan segera adalah sebesar 0,05445 meter

- b) Penurunan pada lapisan tanah pasir :
  - Penurunan segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan segera pada tanah pasir menggunakan cara De Beer Marten yang dilakukan pada kedalaman 3B-4B di bawah dasar pondasi. Oleh karena itu, penurunan dihitung sampai kedalaman 3 (6,2) m = 18,6 m. Sehingga, perhitungan penurunan untuk tanah pada kedalama 2,6 – 19,1 m



Perhitungan  $Po'$  di tengah lapisan adalah :

$$Po' = H_{lapis\ 1} \cdot \gamma_1 + H_{lapis\ 2} \cdot \gamma' + \frac{1}{2} H_{lapis\ 3} \cdot \gamma'$$

$$Po' = 1,2 \cdot 1856,9937 + 1,4 \cdot (1908 - 980) + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (1943 - 980)$$

$$Po' = 4008,334 \text{ kgf/m}^2$$

Kedalaman (meter)	Tebal lapisan (meter)	$q_c$ ( $\frac{kgf}{m^2}$ )	Po' di tengah lapisan	$C = \frac{1,5qc}{Po'}$
2,6-3,6	1	912500	4008,334	341,4760656
3,6-4,1	0,5	2000000	4730,367	634,2002099
4,1-5,1	1	2000000	5452,401	550,2163005
5,1-6,1	1	2000000	6415,113	467,6457089
6,1-7,1	1	2000000	7377,825	406,6239285
7,1-8,1	1	2000000	8340,536	359,6891035
8,1-9,1	1	2000000	9303,248	322,4680268
9,1-10,1	1	2000000	10265,960	292,2279177
10,1-11,1	1	2000000	11228,671	267,1731963
11,1-12,1	1	2000000	12191,383	246,0754456
12,1-13,1	1	2000000	13154,095	228,0658665
13,1-14,1	1	2000000	14116,806	212,512655
14,1-15,1	1	2000000	15079,518	198,9453503
15,1-16,1	1	2000000	16042,230	187,006423
16,1-17,1	1	2000000	17004,941	176,4193081
17,1-18,1	1	2000000	17967,653	166,9667141
18,1-19,1	1	2000000	18930,365	158,4755514

Perhitungan  $\Delta\sigma_z$  di bawah pusat pondasi dilakukan dengan membagi luasan

pondasi menjadi 4 bagian yang sama dengan  $B = L = \frac{6,2}{2} = 3,1 \text{ m}$

Dengan

$$z = 2,6 - 0,5$$

$$z = 2,1 \text{ m}$$

**Tabel 4. 21** Penurunan segera pada lapisan tanah pasir

Kedalaman	$\frac{B}{z} = \frac{L}{z}$	I	$\Delta\sigma_z = \Delta p = 4 Iq$	$\ln \frac{po' + \Delta p}{po'}$	$S_i$
2,85	2,6	0,242	0,968	0,000241468	7,07129E-07
3,85	1,9	0,238	0,952	0,000201233	1,58651E-07
4,35	1,6	0,235	0,94	0,000172386	3,13306E-07
5,35	1,3	0,23	0,92	0,000143401	3,06645E-07
6,35	1,1	0,18	0,72	9,7585E-05	2,39988E-07
7,35	0,9	0,17	0,68	8,15262E-05	2,26657E-07
8,35	0,8	0,15	0,6	6,44915E-05	1,99994E-07
9,35	0,7	0,13	0,52	5,06516E-05	1,73329E-07
10,35	0,6	0,12	0,48	4,27468E-05	1,59997E-07
11,35	0,6	0,12	0,48	3,93713E-05	1,59997E-07
12,35	0,5	0,115	0,46	3,49695E-05	1,53331E-07
13,35	0,5	0,115	0,46	3,25847E-05	1,53331E-07
14,35	0,4	0,07	0,28	1,85681E-05	9,33325E-08
15,35	0,4	0,07	0,28	1,74538E-05	9,33325E-08
16,35	0,4	0,07	0,28	1,64657E-05	9,33326E-08
17,35	0,4	0,07	0,28	1,55834E-05	9,33326E-08
18,35	0,3	0,04	0,16	8,45199E-06	5,33331E-08
					$3,38 \cdot 10^{-06}$
					0,00338

Maka, total penurunan segera adalah sebesar 0,00338 meter

Berdasarkan perhitungan di atas maka penurunan yang terjadi adalah :

$$S = S_i + S_c + S_i$$

$$S = 0,004825 + 0,05445 + 0,00338$$



$$S = 0,05928 \text{ meter}$$

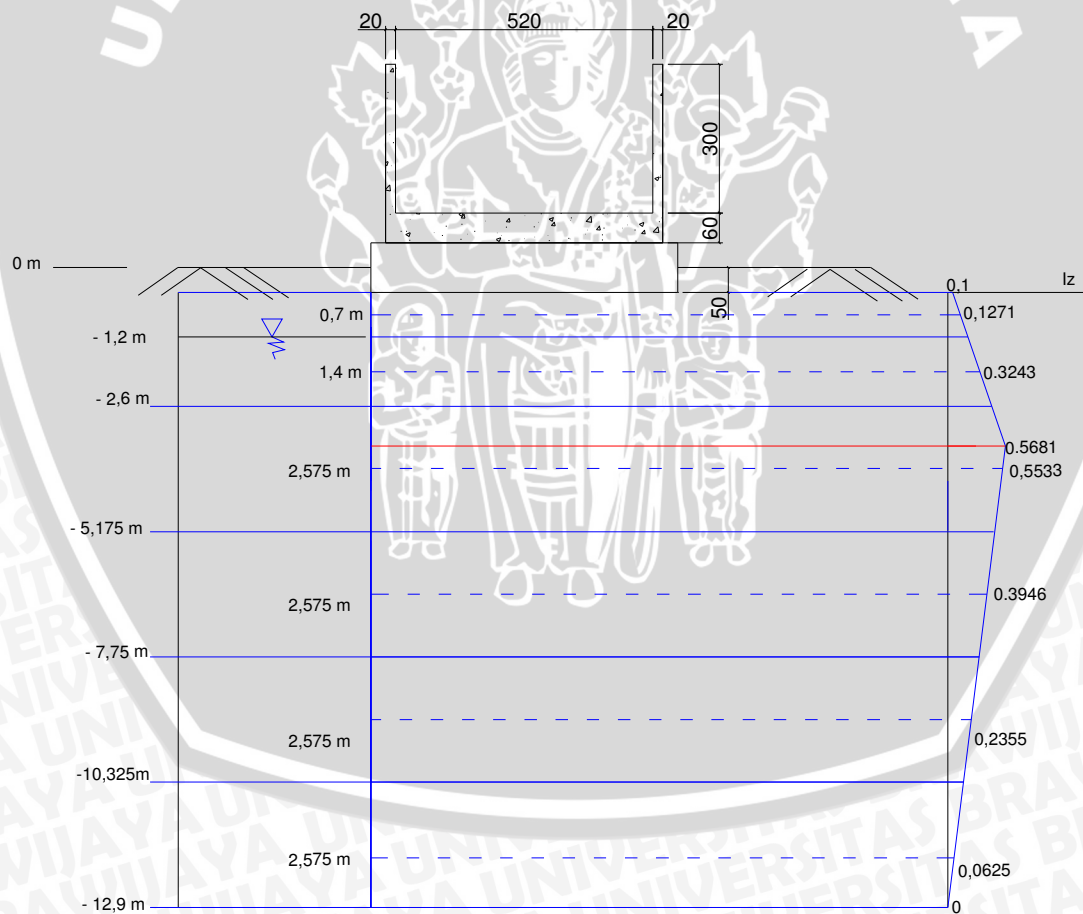
Untuk pondasi rigid, maka penurunan ini dikalikan faktor kekakuan pondasi sebesar 0,85 untuk pondasi yang kaku sempurna (*rigid*) sehingga:

$$S = 0,85 \times 0,05928$$

$$S = 0,0474 \text{ m} = 47,424 \text{ mm} < \text{penurunan ijin} = 65 \text{ mm}$$

- Penurunan dengan metoda Schmertmann :

Penurunan segera pada tanah pasir menggunakan cara Schmertmann (1970) dilakukan dengan memperhatikan tahanan kerucut  $q_c$  sampai kedalaman  $2B$  dari dasar pondasi. Lebar pondasi  $B = 6,2 \text{ m}$  sehingga penurunan di analisis sampai kedalaman  $12,4 \text{ m}$  dari dasar pondasi.



Total beban :

$$W_{total} = W_{tabung} + W_{produk} + W_{mesin} + W_{pondasi} + W_{statik\ ekivalen}$$

$$W_{total} = 8599 + 13679 + 500 + 92256 + 2,2798$$

$$W_{total} = 115036\text{ kgf}$$

Sehingga :

$$q = \frac{W}{A} - (\gamma_{lapis\ 1} \cdot D_f)$$

$$q = \frac{115036}{6,2,6,2} - (1857,1)$$

$$q = 2064\text{ kgf/m}^2$$

Tekanan overburden pada dasar pondasi :

$$\sigma'_{ZD} = \gamma \cdot D$$

$$\sigma'_{ZD} = 0,5 (958)$$

$$\sigma'_{ZD} = 479\text{ kgf/m}^2$$

Sehingga :

$$q' = q - \sigma'_{ZD} = \frac{W}{A} - (\gamma_{lapis\ 1} \cdot D_f)$$

$$q' = 2064 - 479 = 1585\text{ kgf/m}^2$$

$$\sigma'_{ZP} = D_f \cdot \gamma + 0,2 \gamma + 1,4 (\gamma_{sat} - \gamma_w) + 1,5 (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

$$\sigma'_{ZP} = 0,5 \times 958 + 0,7 \times 958 + 1,4 (1908 - 980) + 1 \times (1943 - 980)$$

$$\sigma'_{ZP} = 3411,8\text{ kgf/m}^2$$

$$I_{zp} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{q - \sigma'_{ZD}}{\sigma'_{ZP}}}$$

$$I_{zp} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{2064 - 958}{3411,8}}$$

$$I_{zp} = 0,5681$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \left( \frac{\sigma'_{ZD}}{q - \sigma'_{ZD}} \right)$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \left( \frac{479}{1585} \right)$$

$$C_1 = 0,85$$

Ditinjau penurunan untuk  $t = 50$  tahun maka faktor rangkai adalah sebesar :

$$C_2 = 1 + 0,2 \log\left(\frac{50}{0,1}\right) = 1,5380$$

Sedangkan faktor bentuk pondasi :

$$C_3 = 1,03 - 0,03 \frac{L}{B}$$

$$C_3 = 1$$

Modulus elastisitas dihitung dengan cara pendekatan empiris yang diusulkan Schmertmann (1978) , yakni  $E = 2,5 \cdot q_c$  untuk pondasi persegi. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh besar penurunan untuk masing-masing lapisan tanah sebagai berikut :

**Tabel 4. 22** Hasil perhitungan penurunan dengan cara Schmertmann

Kedalaman (m)	$I_z$	$\Delta z$ (m)	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$q_c$	$E$	$\frac{I_z \cdot H}{E}$
0,7 - 1,2	0,1271	0,7	0,85	1,538	1	60000	150000	5,93133E-07
1,2 - 2,6	0,3243	1,4	0,85	1,538	1	295000	737500	6,1562E-07
2,6 - 5,175	0,5533	2,575	0,85	1,538	1	912500	2281250	6,24547E-07
5,175 - 7,75	0,3946	2,575	0,85	1,538	1	912500	2281250	4,45412E-07
7,75 - 10,325	0,2355	2,575	0,85	1,538	1	912500	2281250	2,65825E-07
10,325 - 12,9	0,0625	2,575	0,85	1,538	1	912500	2281250	7,05479E-08
$\sum \frac{I_z \cdot H}{E} =$								2,6151. 10 <sup>-06</sup>

$$\delta = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot q' \cdot \sum \frac{I_z \cdot H}{E}$$

$$\delta = 0,85 \cdot 1,5380 \cdot 1 \cdot 2064 \cdot 2,6151 \cdot 10^{-06}$$

$$\delta = 0,07052 \text{ m} = 7,052 \text{ mm}$$

Hasil analisa perhitungan penurunan yang dipilih adalah dengan menggunakan metoda Schmertmann yakni sebesar 7,052 mm < 65 mm. Pertimbangan yang dijadikan dasar pemilihan metoda ini adalah dikarenakan pada metoda sebelumnya seharusnya dianalisa terlebih dahulu apakah konsolidasi lapisan lempung merupakan lempung terkonsolidasi normal atau terkonsolidasi berlebihan. Oleh karena itu, penggunaan metoda Schmertmann dirasa lebih akurat dan mewakili data yang sebenarnya.

#### 4.9. Pelaksanaan pondasi di lapangan

Pondasi blok merupakan suatu struktur beton massa. Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaan besar, misalnya untuk pondasi, jembatan, pilar, bendungan dan sebagainya. Biasanya dianggap beton massa jika dimensinya lebih dari 60 cm (Kusuma : 2012). Penulangan pada pondasi blok tidak diperlukan penulangan seperti pada pelat, atau balok. Pada pondasi blok yang merupakan beton massa, hanya diberikan penulangan minimum untuk mengatasi tegangan susut dan temperatur.

Berdasarkan ACI 318 – 08, “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*” rasio tulangan untuk penulangan minimum adalah sebesar 0,0018. Sehingga :

$$A_{\text{minimum}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{\text{minimum}} = 0,0018 \cdot 6,2 \cdot 1$$

$$A_{\text{minimum}} = 0,01116 \text{ m}^2 = 111,6 \text{ cm}^2$$

Dalam Srinivasulu : 1990 penulangan minimum untuk pondasi blok selalu memiliki diameter antara 16 – 25 mm dengan jarak 20 – 30 cm. Bila digunakan tulangan dengan diameter 16 mm maka jumlah tulangan terpasang minimum adalah :

$$n \text{ terpasang} = \frac{111,6}{\frac{1}{4} \pi \times 1,6^2} = 56 \text{ tulangan}$$

Jika digunakan :  $\text{Ø}16 - 300 = 6,61 \text{ cm}^2$  maka jumlah tulangan terpasang minimum:

$$n \text{ terpasang} = \frac{111,6}{6,61} = 16,88 = 17 \text{ tulangan}$$

Berdasarkan hasil analisa, dapat diketahui bahwa getaran yang diakibatkan oleh vibrasi mesin dapat dikatakan hampir mendekati beban statis. Frekuensi mesin sebesar 1 rpm memberikan beban statik ekuivalen yang relatif kecil. Oleh karena itu, dapat dikatakan pondasi blok untuk mesin *clarifier* mendekati jenis pondasi statis. Berdasarkan hasil analisa tersebut, penambahan peredam dirasa tidak diperlukan.