

ANALISIS PERENCANAAN PONDASI DINAMIS UNTUK MENDUKUNG MESIN TURBIN PADA PLTM WARNASI DI MANOKWARI, PROVINSI PAPUA BARAT

Tri Ananda Bangkit Kusuma Wardana¹, Chandra Afriade Siregar²
^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

²korespondensi : chandra.afriade@usbykpk.ac.id

ABSTRAK

Pondasi dinamis semakin banyak digunakan seiring dengan maraknya pembangunan pembangkit listrik di Indonesia, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Umumnya pondasi dinamis yang digunakan adalah pondasi dinamis tipe blok. Pondasi ini membutuhkan beberapa pertimbangan, karena pondasi ini memberikan beban dinamik dan beban statik. Pondasi tertanam di kedalam 2 m, pada tanah kohesif dengan nilai kohesi 110,665 kN/m² yang didapatkan dari hasil pengujian Cone Penetration Test (CPT) dan Modulus Geser dengan nilai 18000 KPa, didapatkan dari persamaan milik Menhard (1965). Analisis dilakukan pada 6 keadaan perbandingan berat pondasi terhadap berat mesin, peralatan pendukung dan air didalamnya. Pengambilan perbandingan didasarkan pada pernyataan literatur, bahwa (Wp/Wma) berada pada kisaran 3–5 kali. Dari hasil analisis didapatkan nilai-nilai yang masih termasuk pada angka nyaman terhadap pekerja dan lingkungan di sekitarnya, selain itu pada seluruh jenis pondasi tidak terjadi resonansi. Nilai penurunan terkecil terjadi pada kondisi (Wp/Wma = 3,50) yaitu pondasi blok tipe I yang memiliki berat 1847,279 kN.

Kata kunci: Pondasi Dinamis, Penurunan Segera, Displacement, Amplitudo

ABSTRACT

Dynamic foundations are increasingly being used in line with the development of power plants in Indonesia, especially Microhydro Power Plants. Generally the dynamic foundation used is a block type dynamic foundation. This foundation requires some consideration, as it provides dynamic loads and static loads. The foundation is embedded into 2 m, on cohesive soil with a cohesion value of 110,665 kN/m² obtained from the results of cone penetration test (CPT) and sliding modulus with a value of 18000 KPa, obtained from menhard equation (1965). Analysis was conducted on 6 conditions of comparison of the weight of the foundation against the weight of the machine, supporting equipment and water in it. Comparison retrieval is based on a literature statement, that (Wp/Wma) is in the range of 3 – 5 times. From the results of the analysis obtained values that are still included in the comfortable numbers of workers and the surrounding environment, in addition to all types of foundations there is no resonance. The smallest settlement value occurs in the condition (Wp/Wma = 3.50) which is the foundation of a type I block that weighs 1847,279 kN.

Keywords: Dynamic Foundation, Immediate Settlement, Displacement, Amplitudo

PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara yang memiliki potensi Sumber Daya Energi Primer yang sangat berlimpah. Indonesia juga memiliki potensi yang sangat berlimpah pada sumber energi air yang dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air dan atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang termasuk dalam kategori sumber energi terbarukan. Namun demikian, hingga saat ini

energi terbarukan yang menggunakan sumber energi air sebagai komponen utama untuk menghasilkan energi listrik tersebut baru 1% dalam memasok kebutuhan listrik masyarakat. Dengan diterbitkan keputusan dan peraturan diatas menjadikan semakin banyak studi dan pembangunan pembangkit listrik yang dilaksanakan.

Daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tersebut sangat beragam, sesuai dengan

sumber daya yang dimanfaatkan dan daya mesin yang digunakan. Umumnya pembangkit listrik menggunakan mesin-mesin dengan bobot yang sangat besar dan berat. Dalam hal ini dibutuhkan pondasi khusus yang mampu menopang berat mesin dalam keadaan aktif atau non aktif. Pada prinsipnya pondasi merupakan suatu elemen struktur yang berfungsi menahan beban dari atas terhadap terjadinya penurunan [1].

Getaran yang berlebihan dapat menyebabkan mesin rusak dan efek yang merugikan pada struktur pondasi sebagai penopang. Analisa geoteknik sangat dibutuhkan dalam perencanaan pondasi mesin ini, dikarenakan beban yang akan diterima tanah relative naik turun. Struktur tanah yang ada di daerah Warkapi, Manokwari, Papua Barat sendiri merupakan tanah yang memiliki kelekatan

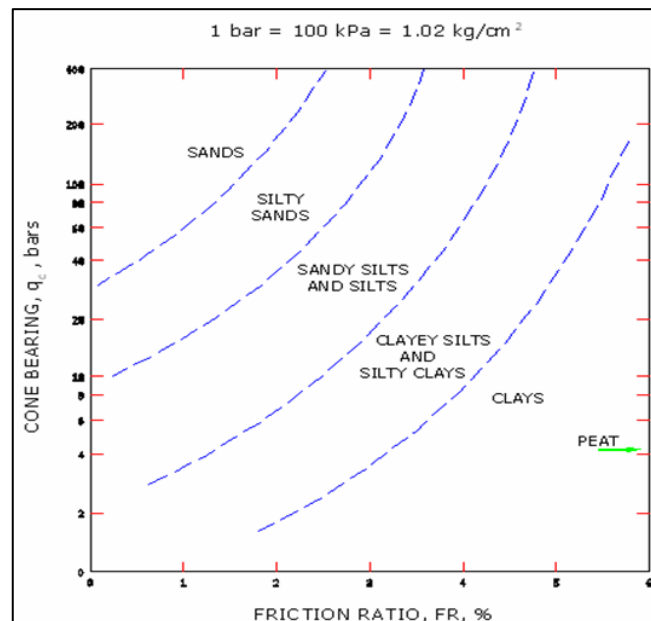
yang cukup baik atau dikenal sebagai tanah kohesif.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada dasarnya adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial jatuhnya air [2]. Disamping faktor geografis yang memungkinkan, tinggi jatuh air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Komponen sistem PLTMH tersebut terdiri dari bangunan penadap, saluran pembawa, bak pengendap dan penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pembuang [3]. Pada rumah pembangkit (*power house*) pondasi dinamis ditempatkan.



Gambar 1 : Parameter Tanah

Berat Jenis Tanah (γ)

Nilai *Cone Penetration Test* (CPT) dikorelasikan terhadap berat jenis tanah dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0,27(\log Rf) + 0,36 \log \left(\frac{q_c}{p_a} \right) + 1,236... \quad (1)$$

dimana :

q_c : Tahanan konus (kg/cm²)

Rf : Friction Ratio (%)

Pa : tekanan atmosfer ± 1 kg/cm²
 γ_w : berat jenis air 1000 kg/m³

$$Kohesi (c) = \frac{\sum fs}{Df} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

Σfs : jumlah hambatan lekat (kg/cm)

Df : kedalaman (m)

Kohesi (c)

Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) sebagai berikut:

Sudut Geser Dalam (φ)

Tabel 1 : Korelasi Nilai Sudut Geser Dalam (φ), Nilai Perlawanan Korus (qc) dan Kepadatan Relatif

Kepadatan	Relatif Density	Nilai N-SPT	Tekanan Korus q _c (kg/cm ²)	Sudut Geser (°)
Very Loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose (lepas)	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
Dense (kompak)	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45

Modulus Geser (G) dan Poisson Ratio (μ)

Es : Modulus Young (KPa)(tabel 2.3)

Rumus untuk menghitung Modulus Geser (G) tanah adalah sebagai berikut [5]:

μ : Poisson Ratio (tabel 2.1)

$$G = \frac{E_s}{2(1 + \mu^2)} \dots\dots\dots (3)$$

Poisson ratio bisa dipilih berdasarkan jenis tanah utama yang digunakan.

dimana :

Tabel 2 : Nilai Poisson Ratio (μ) (Bowles)

Soil	Poisson Ratio (μ)
Clay, saturated	0,4 – 0,5
Clay, unsaturated	0,1 – 0,3
Sandy Clay	0,2 – 0,3
Silt	0,3 – 0,35
Sand (Dense)	0,2 – 0,4
Coarse	0,15
Fine Grained	0,25
Rock	0,1 – 0,4
Loess	0,1 – 0,3
Ice	0,36
Concrete	0,15

Immediate (Elastic) Settlement

Immediate Settlement merupakan penurunan seketika pada pondasi, atau setidaknya membutuhkan waktu kurang dari 7 hari setelah beban diberikan [6]. Berikut adalah persamaan teori elastisitas yang digunakan untuk analisis penurunan seketika pondasi [7]:

$$\Delta H = q \cdot B \frac{1-\mu^2}{E_s} I_w \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- ΔH : *settlement* (penurunan)
- q : beban
- B : dimensi lateral (lebar) pondasi
- I_w : faktor pengaruh yang bergantung pada bentuk dari pondasi dan kekakuan pondasi
- E_s : klasifikasi tanah elastis

Pondasi Mesin

Di dalam dunia teknik sipil, istilah pondasi didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi bangunan yang berfungsi menopang serta menyalurkan beban bangunan di atasnya [8]. Pondasi mesin merupakan pondasi yang digunakan untuk menopang beban dinamis berupa getaran yang dihasilkan oleh mesin yang berada di atas pondasi tersebut [9]. Untuk pondasi mesin yang menahan beban dinamis ini cara mendesainnya jelas berbeda dengan pondasi yang hanya menahan beban statis.

Kategori Mesin

Berdasarkan kriteria desain pondasinya, mesin dikategorikan sebagai berikut [10]:

- a. *Reproicating Machines*
- b. *Impact Machines*

c. *High Speed Rotary Machines*

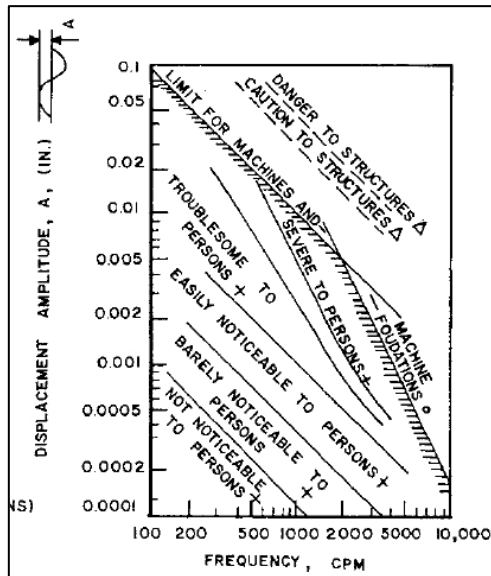
Berdasarkan frekuensi operasi, mesin dibagi 3 kategori :

- ✓ Frekuensi rendah sampai sedang : 0 – 500 RPM
- ✓ Frekuensi sedang sampai tinggi : 300 - 1000 RPM
- ✓ Frekuensi sangat tinggi : > 1000 RPM

Beban Pondasi Mesin

Pondasi mesin akan menemui kondisi seperti ini untuk dapat dinyatakan memenuhi syarat [9] :

1. Beban Statik
 - Harus aman terhadap geser
 - Tidak boleh mengalami penurunan yang berlebihan
2. Beban Dinamik
 - Akan ada resonansi
 - Amplitudo getar saat mesin beroperasi tidak boleh melebihi amplitudo batas.
 - Getaran yang dihasilkan tidak boleh mengganggu para pekerja di pabrik atau memungkinkan merusak kepresisian mesin lainnya.



Gambar 2 : Hubungan antara Frekuensi Mesin dan Getaran yang Dirasakan Manusia

Syarat Desain Pondasi Mesin

Berikut adalah beberapa batasan mengenai desain pondasi tipe blok yang telah ditentukan [11]:

1. Bagian dasar pondasi harus berada diatas muka air tanah. Tidak boleh terletak pada permukaan tanah timbunan maupun tanah yang sensitif terhadap getaran.
2. Beberapa hal yang biasa diaplikasikan pada pondasi blok :
 - a. Pondasi yang berada diatas tanah harus lebih berat 2 – 3 kali lipat beban mesin, dan dalam keadaan *reciprocate* berat harus 3 – 5 kali lipat beban mesin.
 - b. Puncak pondasi lebih dari 1 *feet* (\pm 26 cm) dari muka lantai.
 - c. Ketebalan pondasi tidak boleh kurang dari 2 *feet*, setidaknya ketebalan pondasi tidak kurang dari 1/5 kali atau 1/10 kali dimensi terbesarnya.
 - d. Pondasi harus lebar untuk menahan redaman pada mode getar rocking,

setidaknya lebih lebar 1 – 1,5 kali lebar dari jarak vertikal eksentrisitas mesin.

- e. Tentukan panjang dengan pertimbangan luas rencana yang tersedia ditambah dengan jarak 1 *feet* untuk pemeliharaan.
- f. Titik berat mesin dan pelengkap bertepatan dengan titik berat pondasi, dan harus bertepatan dengan titik berat resistensi tanah.
- g. Untuk mesin *reciprocating* besar, pondasi harus memiliki 50 – 80 % bagian dasar yg terkubur.
- h. Harus ada analisis dinamik, agar dapat diketahui resonansi, beban pondasi harus ditambah atau dikurang.

Bearing Capacity

Pada perhitungan *beaing capacity* pondasi mesin yang berbentuk persegi panjang tidak sama dengan perhitungan pondasi persegi, meskipun begitu persamaan yang ditulis tetap sebagai berikut :

$$q_u = cN_c \cdot \lambda_{cs} \cdot \lambda_{cd} + qN_q \cdot \lambda_{cs} \cdot \lambda_{cd} + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \lambda_{\gamma s} \cdot \lambda_{\gamma d} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- $\lambda_{cs}, \lambda_{cs}, \lambda_{\gamma s}$ = faktor bentuk
- $\lambda_{cd}, \lambda_{cd}, \lambda_{\gamma d}$ = faktor kedalaman
- N_c, N_q, N_γ = *Bearing Capacity Faktor*

Umumnya untuk faktor kedalaman dan bentuk digunakan persamaan dari Meyerhof, De Beer dan Hansen.

Analisis Dinamik

Analisis pemodelan yang biasa digunakan ketika struktur berhubungan dengan berbagai jenis penerapan geoteknik dan pembebanan dinamik yang kompleks [12]. Solusi yang diharapkan adalah dapat menopang semua mode getar yang diberikan oleh mesin. Berikut ini beberapa metoda yang umum digunakan.

- a) *The Lumping of Mass*
- b) *Elastic Spring Constant* (k).
- c) *Damping Ratio*.
- d) *Forcing Function*.

Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan terjauh dari titik keseimbangan pada getaran [13]. *Raush* menyarankan persamaan untuk batasan amplitudo, A dalam satuan inci = 9,54/f untuk frekuensi kuran dari 1800 RPM, dan A = 17600/f untuk frekuensi yang lebih besar. Nilai f adalah frekuensi dalam satu putaran per menit.

Natural Frequency

Frekuensi natural adalah frekuensi dimana sistem berosilasi ketika sistem terganggu. Fenomena yang berkaitan erat dengan frekuensi natural adalah peristiwa resonansi, yaitu ikut bergetarnya sebuah benda karena getaran benda lain di sekitarnya.

$$(f_n) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

- k : ekivalen konstanta pegas
- m : massa jenis pondasi

Singgle Degree Of Freedom

Derajat kebebasan tunggal adalah kondisi dua dimensi dimana simpangan suatu massa pada saat t (waktu) dapat dinyatakan dalam kordinat tunggal yaitu Y(t) [14].

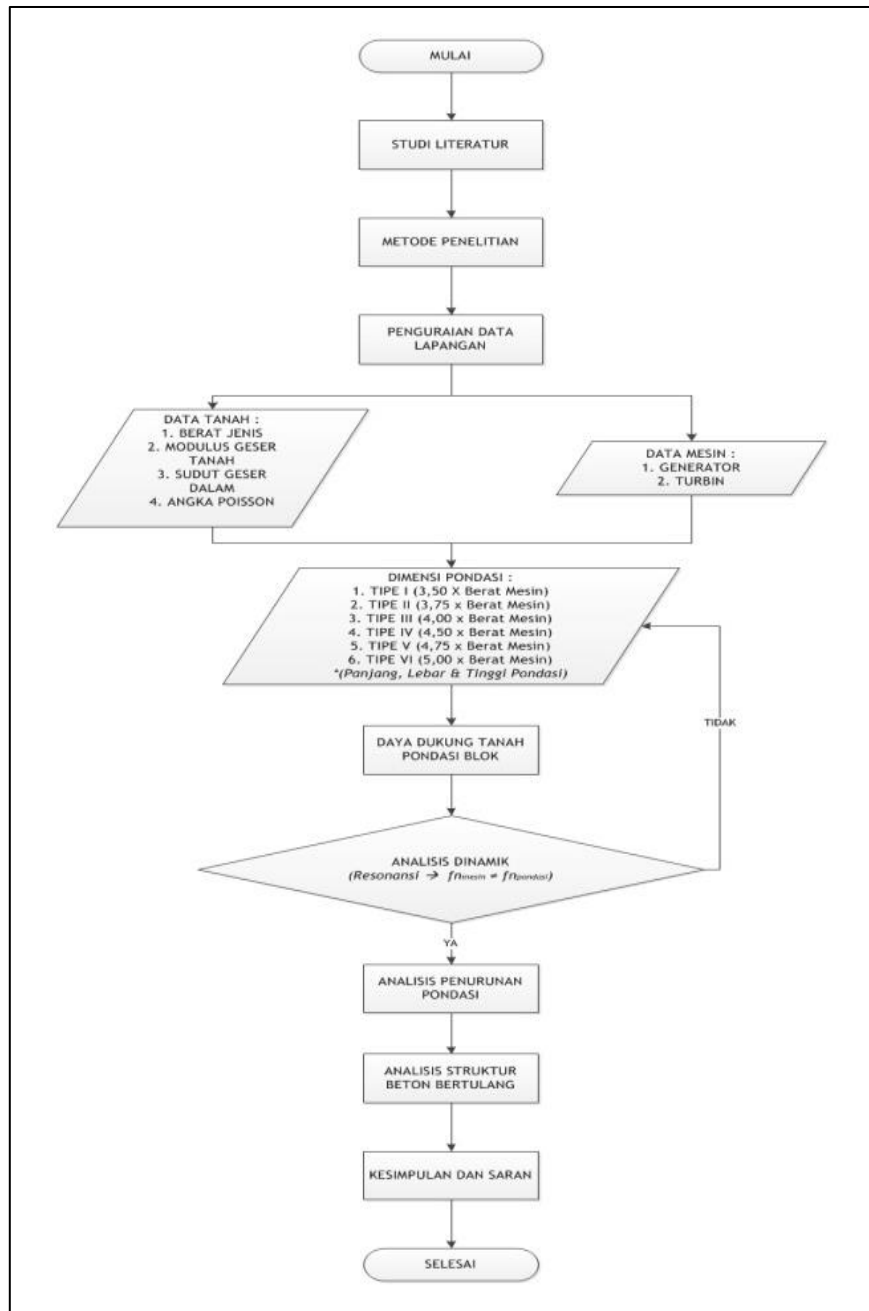
Damping Ratio

Digunakan dalam beberapa analisis dinamik untuk memberikan gerakan realistis. Kegunaan parameter redaman ini adalah berdasarkan kemampuan sistem dalam meredam gaya dinamik dan bagaimana efeknya terhadap mode getar.

Effect of Footing Embedment

Pondasi sebaiknya dipertimbangkan sebagai struktur yang tertanam. Keuntungan signifikan dari pondasi yang tertanam adalah pada total damping dan frekuensi resonansi dan pada mode getar *rocking* bertambah beberapa kali lipat karena tinggi penanaman pondasi lebih besar sama dengan jari-jari ekivalen pondasi.

METODE PENELITIAN



Gambar 3 : Bagan Alir Penelitian

Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini didapatkan dari daerah Desa Warkapi, Distrik Tanah Rubuh, Kabupaten Manokwari,

Parameter γ , ϕ , c , G dan μ dari hasil Sondir

Provinsi Papua Barat. Data yang diperoleh berupa hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) atau Sondir.

Tabel 3 : Parameter Tanah

Parameter Tanah	Nilai	Sumber
Jenis Tanah	<i>Silty Sands</i> (Pasir Berlanau)	
Berat Jenis (γ)	19,471 kN/m ³	Persamaan 2.1
Kohesi (c)	110,665 kN/m ²	
Sudut Geser Dalam (ϕ)	38,125°	Tabel 2.1
Possion Ratio (μ)	0,35	Tabel 2.2
Modulus Young (E_s)	18000 KPa	Tabel 2.4
Modulus Geser (G)	8017,817 KPa	Persamaan 2.3

Data Mesin



Gambar 4 : Francis Turbine

Tabel 4 : Komponen Mesin Turbin Francis

Komponen	Berat (kN)
Casing Spirall	56,78
Head Cover	9,25
Bottom Ring	9,49
Guide & Stay Vanes	0,20
Runner Blade	9,68
Regulating Apparatus	3,47
Draught Tube	48,43
Generator	147,10
Berat Total Mesin	284,39

Tabel 4 : Beban Statik

No.	Deskripsi	Dimensi						Sat
		Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5	Tipe 6	
1	Badan Pondasi							
	-Panjang (Lp)	6.50	6.75	6.50	6.75	6.50	6.75	m
	-Lebar (Bp)	5.75	6.00	5.75	6.00	5.75	6.00	m
	-Tinggi (Tp)	2.10	2.10	2.45	2.45	2.85	2.85	m
3	Berat Jenis Beton	2400.00						kg/m ³
4	Berat Pondasi (Wp)	188370	204120	219765	238140	255645	277020	kg
		1847.28	2001.73	2155.16	2335.36	2507.02	2716.64	kN
5	Berat Air (Wa)	245.17						kN
6	Kontrol Perbandingan	3.488	3.780	4.070	4.410	4.734	5.130	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Dinamik Pondasi

Mass of Foundation (m)

$$m = W/g \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

- m : massa pondasi
- W : beban total (berat pondasi + berat mesin) (kg)
- g : kecepatan gravitasi (m/s²)

Dynamic Force (F_o)

$$F_o = m_r e \omega^2 \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

- F_o : gaya dinamis (kN)
- m_r : massa mesin (kN.sec²/m)
- e : eksentrisitas (m)
- ω : frekuensi mesin (rad/sec)

Spring Constant (K)

a) Jari-jari ekuivalen (r_o)

✓ Mode Getar Vertikal dan Horizontal

$$r_{oz} = r_{ox} = \sqrt{\frac{(BL)}{\pi}} \dots\dots\dots (11)$$

✓ Mode Getar Rocking

$$r_{o\psi} = \sqrt[4]{\frac{(LB^3)}{3\pi}} \dots\dots\dots (12)$$

dimana :

- r_{o_z, x, ψ} : jari-jari ekuivalen
- B : lebar pondasi (m)
- L : panjang pondasi (m)

b) Embedment Faktor of Spring Constant (η)

✓ Mode Getar Vertikal

$$\eta_z = 1 + 0,60 x (1 - \mu) \left(\frac{h}{r_{oz}}\right) \dots\dots\dots (13)$$

✓ Mode Getar Horizontal

$$\eta_x = 1 + 0,55 x (2 - \mu) \left(\frac{h}{r_{ox}}\right) \dots\dots\dots (14)$$

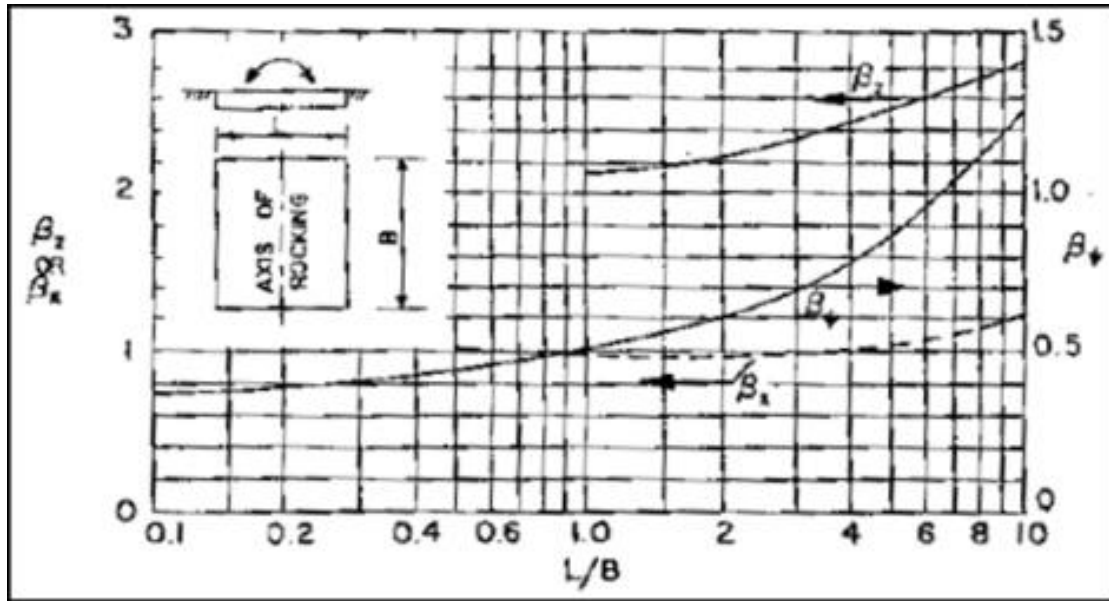
✓ Mode Getar Rocking

$$\eta_\psi = 1 + 2,50 x (1 - \mu) \left(\frac{h}{r_{o\psi}}\right) + 0,2 x (2 - \mu) \left(\frac{h}{r_{o\psi}}\right)^3 \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

- η_{z, x, ψ} : faktor kedalaman konstanta pegas
- μ : poisson ratio
- h : kedalaman penanaman (m)

c) *Spring Constant Coefficient* (β)



Gambar 5 : Koefisien β_z , β_x dan β_ψ

d) *Equivalent Spring Constant* (K)

✓ Mode Getar Vertikal

$$K_z = \left(\frac{G}{1-\mu}\right) \times \beta_z \times \sqrt{\frac{BL}{\eta_z}} \dots \dots \dots (16)$$

✓ Mode Getar Horizontal

$$K_x = 2(1 + \mu) \times G \times \beta_x \times \sqrt{\frac{BL}{\eta_x}} \dots \dots \dots (17)$$

✓ Mode Getar Rocking

$$K_\psi = \left(\frac{G}{1-\mu}\right) \times \beta_\psi \times (BL^2 \times \eta_\psi) \dots \dots \dots (18)$$

dimana :

K : konstanta pegas (kN/m)

G : Modulus Geser (KPa)

$\beta_z, \beta_x, \beta_\psi$: koefisien

Damping Ratio (D)

a) *Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio* (α)

✓ Mode Getar Vertikal

$$\alpha_z = \frac{1+1,9(1-\mu)\frac{h}{r_{oz}}}{\sqrt{\eta_z}} \dots \dots \dots (19)$$

✓ Mode Getar Horizontal

$$\alpha_x = \frac{1+1,9(2-\mu)\frac{h}{r_{ox}}}{\sqrt{\eta_x}} \dots \dots \dots (20)$$

✓ Mode Getar Rocking

$$\alpha_\psi = \frac{1+0,7(1-\mu)\left(\frac{h}{r_{o\psi}}\right)+0,6(2-\mu)\left(\frac{h}{r_{o\psi}}\right)^3}{\sqrt{\eta_\psi}} \dots \dots \dots (21)$$

dimana :

$\alpha_z, \alpha_x, \alpha_\psi$: faktor kedalaman damping ratio

b) *Equivalent Damping Ratio and Mass Ratio*

✓ Mode Getar Vertikal

• *Mass (or Inertia) Ratio*

$$B_z = \frac{(1-\mu) W}{4 \gamma r_{oz}^3} \dots \dots \dots (22)$$

• *Damping Ratio*

$$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z \dots \dots \dots (23)$$

✓ Mode Getar Horizontal

f_n : frekuensi natural

• *Mass (or Inertia) Ratio*

D : damping ratio

$$B_x = \frac{(7-8\mu) W}{32(1-\mu) \gamma r_{ox}^3} \dots\dots\dots (24)$$

• *Damping Ratio*

Magnification Force (M)

$$D_x = \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x \dots\dots\dots (25)$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{\{(1-r_0^2)^2 + (2D-r_0)^2\}}} \dots\dots\dots (29)$$

dimana :

✓ Mode Getar Rocking

M : *Magnification Faktor*

• *Mass (or Inertia) Ratio*

Transmissibility Faktor (Tr)

$$B_\psi = \frac{3(1-\mu) I_\psi}{8 \rho r_{o\psi}^5} \dots\dots\dots (26)$$

$$Tr = M \sqrt{1 + (2Dr_0^2)} \dots\dots\dots (30)$$

dimana :

• *Damping Ratio*

Tr : faktor transmisi

$$D_\psi = \frac{0,15\alpha_\psi}{(1+\eta_\psi B_\psi) \sqrt{\eta_\psi B_\psi}} \dots\dots\dots (27)$$

dimana :

Vibrtaion Amplitude (A)

$B_{z, x, \psi}$: rasio massa

$$A = \frac{(M \times F_o)}{K} \dots\dots\dots (31)$$

$D_{z, x, \psi}$: damping rasio

dimana :

W : berat total (berat pondasi + berat mesin) (kN)

A : amplitudo

Resonancy Frequency

Hasil dan pembahasan dari analisis dinamik pondasi telah dirangkum dalam tabel sebagai berikut:

$$f_r = f_n \frac{1}{\sqrt{1-2D^2}} \dots\dots\dots (28)$$

dimana :

Tabel 5 : Hasil Analisis Dinamik Pondasi (1)

TIPE PONDASI	STEP	PARAMETER	VERTICAL	HORIZONTAL	ROCKING
			(Z-DIRECTION)	(X-DIRECTION)	(ψ-DIRECTION)
I	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	242.287		
	2	Dynamic Force, Fo (kN)	24.295	24.295	51.798
	3	Equivalent Radius, ro	3.449	3.449	3.384
	4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.226	1.526	2.029
	5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510
	6	Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	149144.535	107128.014	3100269.016
	7	Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.647	2.471	1.034
	8	Mass (or Inertia) Ratio, B	0.483	0.601	7.496
	9	Damping Ratio, D	1.007	0.918	0.037

Tri Ananda Bangkit Kusuma Wardana, Chandra Afriade Siregar
 Analisis Perencanaan Pondasi Dinamis untuk Mendukung Mesin Turbin pada Pltm Warnasi
 di Manokwari, Provinsi Papua Barat

TIPE PONDASI	STEP	PARAMETER	VERTICAL	HORIZONTAL	ROCKING
			(Z-DIRECTION)	(X-DIRECTION)	(ψ -DIRECTION)
(3,488 x Berat Mesin)	10	Natural Frequency, fn (RPM)	236.924	200.797	1080.204
	11	Resonancy Frequency, fr (RPM)	233.856	242.290	1081.713
	12	Magnification Force, M (< 1.500)	0.096	0.095	0.577
	13	Transmissibility Faktor, Tr	0.244	0.332	0.595
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000156	0.0000009	0.0000216
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001210	0.0007564	
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0475275	
	17	Transmissibility Force, P (kN)	5.923	8.071	30.845
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	116.358		
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	20.469		
II (3,780 x Berat Mesin)	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	258.032		
	2	Dynamic Force, Fo (kN)	25.874	25.874	55.164
	3	Equivalent Radius, ro	3.590	3.590	3.527
	4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.217	1.506	1.982
	5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510
	6	Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	155821.049	112281.077	3408113.583
	7	Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.624	2.423	1.022
	8	Mass (or Inertia) Ratio, B	0.456	0.567	6.195
	9	Damping Ratio, D	1.021	0.927	0.040
	10	Natural Frequency, fn (RPM)	234.665	199.199	1097.468
	11	Resonancy Frequency, fr (RPM)	225.149	235.151	1099.268
	12	Magnification Force, M (< 1.500)	0.088	0.087	0.577
	13	Transmissibility Faktor, Tr	0.222	0.300	0.600
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000146	0.0000008	0.0000210
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001200	0.0007316	
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0459666	

Tri Ananda Bangkit Kusuma Wardana, Chandra Afriade Siregar
 Analisis Perencanaan Pondasi Dinamis untuk Mendukung Mesin Turbin pada Pltm Warnasi
 di Manokwari, Provinsi Papua Barat

TIPE PONDASI	STEP	PARAMETER	VERTICAL	HORIZONTAL	ROCKING
			(Z-DIRECTION)	(X-DIRECTION)	(ψ -DIRECTION)
	17	Transmissibility Force, P (kN)	5.735	7.753	33.120
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	116.975		
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	20.978		
III (4,070 x Berat Mesin)	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	273.672		
	2	Dynamic Force, Fo (kN)	27.442	27.442	58.507
	3	Equivalent Radius, ro	3.449	3.449	3.384
	4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.226	1.526	2.029
	5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510
	6	Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	149144.535	107128.014	3100269.016
	7	Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.647	2.471	1.034
	8	Mass (or Inertia) Ratio, B	0.546	0.678	7.739
	9	Damping Ratio, D	0.947	0.864	0.037
	10	Natural Frequency, fn (RPM)	222.926	188.933	1016.380
	11	Resonancy Frequency, fr (RPM)	250.175	268.979	1017.761
	12	Magnification Force, M (< 1.500)	0.095	0.095	0.577
	13	Transmissibility Faktor, Tr	0.236	0.321	0.595
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000175	0.0000008	0.0000240
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001350	0.0009736	
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0611736	
	17	Transmissibility Force, P (kN)	6.480	8.821	34.812
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	131.392		
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	23.121		
IV	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	292.040		
	2	Dynamic Force, Fo (kN)	29.284	29.284	62.434
	3	Equivalent Radius, ro	3.590	3.590	3.527
	4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.217	1.506	1.982
	5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510

Tri Ananda Bangkit Kusuma Wardana, Chandra Afriade Siregar
 Analisis Perencanaan Pondasi Dinamis untuk Mendukung Mesin Turbin pada Pltm Warnasi
 di Manokwari, Provinsi Papua Barat

TIPE PONDASI	STEP	PARAMETER	VERTICAL	HORIZONTAL	ROCKING	
			(Z-DIRECTION)	(X-DIRECTION)	(ψ -DIRECTION)	
(4,410 x Berat Mesin)	6	Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	155821.049	112281.077	3408113.583	
	7	Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.624	2.423	1.022	
	8	Mass (or Inertia) Ratio, B	0.517	0.642	6.409	
	9	Damping Ratio, D	0.960	0.871	0.040	
	10	Natural Frequency, fn (RPM)	220.578	187.242	1031.590	
	11	Resonancy Frequency, fr (RPM)	240.191	260.263	1033.234	
	12	Magnification Force, M (< 1.500)	0.087	0.087	0.577	
	13	Transmissibility Faktor, Tr	0.215	0.290	0.600	
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000164	0.0000007	0.0000232	
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001337	0.0009393		
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0590210		
	17	Transmissibility Force, P (kN)	6.286	8.489	37.445	
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	132.278			
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	23.743			
	V (4,734 x Berat Mesin)	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	309.539		
		2	Dynamic Force, Fo (kN)	31.039	31.039	66.175
		3	Equivalent Radius, ro	3.449	3.449	3.384
		4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.226	1.526	2.029
		5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510
6		Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	149144.535	107128.014	3100269.016	
7		Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.647	2.471	1.034	
8		Mass (or Inertia) Ratio, B	0.618	0.767	8.017	
9		Damping Ratio, D	0.891	0.813	0.036	
10		Natural Frequency, fn (RPM)	209.613	177.650	955.682	
11		Resonancy Frequency, fr (RPM)	273.789	313.880	956.940	
12		Magnification Force, M (< 1.500)	0.095	0.094	0.577	
13		Transmissibility Faktor, Tr	0.229	0.311	0.594	

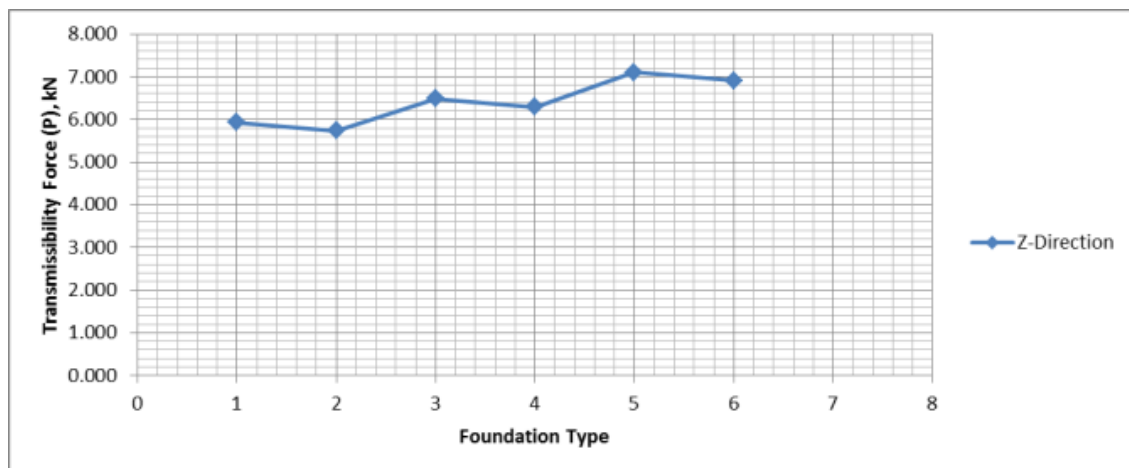
Tri Ananda Bangkit Kusuma Wardana, Chandra Afriade Siregar
 Analisis Perencanaan Pondasi Dinamis untuk Mendukung Mesin Turbin pada Pltm Warnasi
 di Manokwari, Provinsi Papua Barat

TIPE PONDASI	STEP	PARAMETER	VERTICAL	HORIZONTAL	ROCKING
			(Z-DIRECTION)	(X-DIRECTION)	(ψ -DIRECTION)
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000197	0.0000008	0.0000280
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001551	0.0013128	
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0824871	
	17	Transmissibility Force, P (kN)	7.104	9.656	39.339
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	148.994		
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	26.151		
VI (5,130 x Berat Mesin)	1	Mass of Foundation, m (kN.det ² /m)	330.907		
	2	Dynamic Force, Fo (kN)	33.182	33.182	70.744
	3	Equivalent Radius, ro	3.590	3.590	3.527
	4	Embedment Faktor of Spring Constant, η	1.217	1.506	1.982
	5	Spring Constant Coefficient, β	2.190	1.000	0.510
	6	Equivalent Spring Constant, K (kN/m)	155821.049	112281.077	3408113.583
	7	Effect of Depth of Embedment on Damping Ratio, α	1.624	2.423	1.022
	8	Mass (or Inertia) Ratio, B	0.585	0.727	6.654
	9	Damping Ratio, D	0.902	0.818	0.039
	10	Natural Frequency, fn (RPM)	207.220	175.902	969.115
	11	Resonancy Frequency, fr (RPM)	261.728	301.964	970.611
	12	Magnification Force, M (< 1.500)	0.087	0.086	0.577
	13	Transmissibility Faktor, Tr	0.208	0.281	0.599
	14	Vibration Amplitude, A (inch)	0.0000185	0.0000007	0.0000269
	15	Vibration Amplitude Check, Atotal (inch)	0.0001533	0.0012602	
	16	Maximum Velocity, v (z = inch ; x = inch/sec)	0.0017545	0.0791815	
	17	Transmissibility Force, P (kN)	6.904	9.310	42.379
	18	Total Transmissibility, Ptotal (kN.m)	150.168		
	19	Immediate Sttlement, ΔH (mm)	26.903		

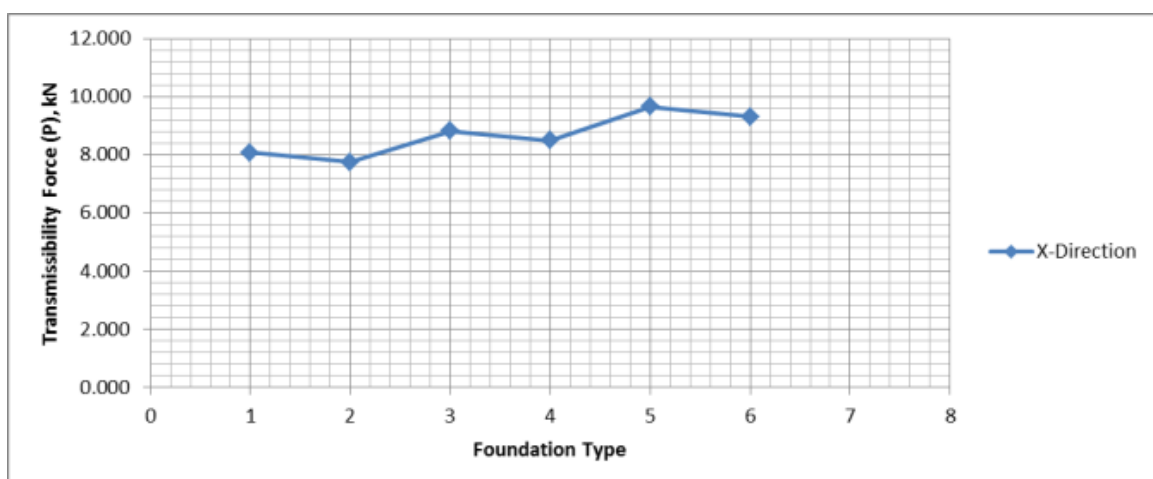
Setelah dilakukan analisis dinamik pada disalurkan mesin (P) untuk arah vertikal, pondasi blok, didapatkan nilai beban yang horizontal dan rocking.

Tabel 6 : Transmissibility Force (P)

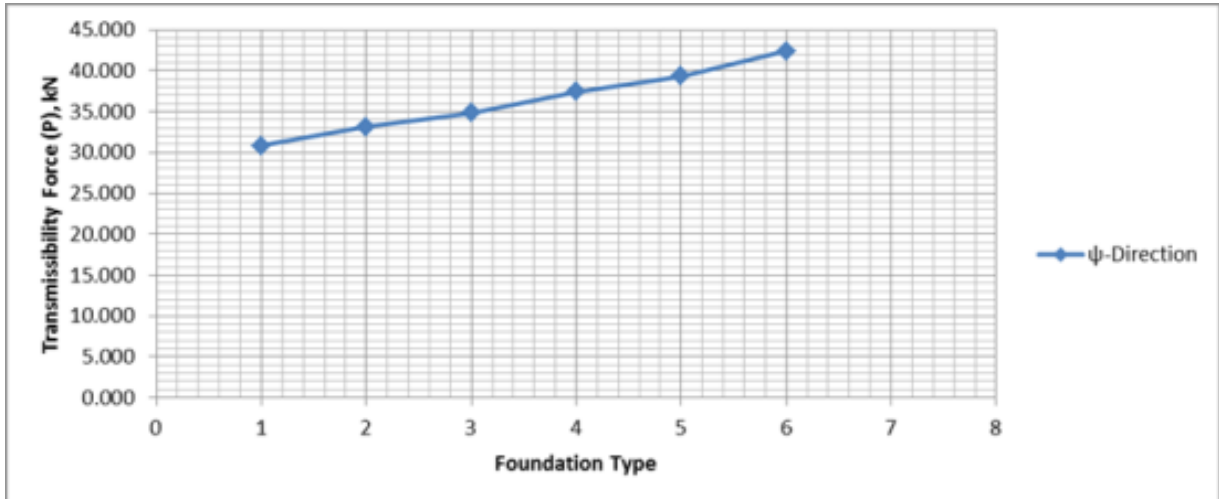
FOUNDATION TYPE	Z-DIRECTION (kN)	X-DIRECTION (kN)	ψ -DIRECTION (kN)
Tipe I	5.923	8.071	30.845
Tipe II	5.735	7.753	33.120
Tipe III	6.480	8.821	34.812
Tipe IV	6.286	8.489	37.445
Tipe V	7.104	9.656	39.339
Tipe VI	6.904	9.310	42.379



Gambar 6 : Grafik Transmissibility Force (P) Vertikal



Gambar 7 : Grafik Transmissibility Force (P) Horizontal

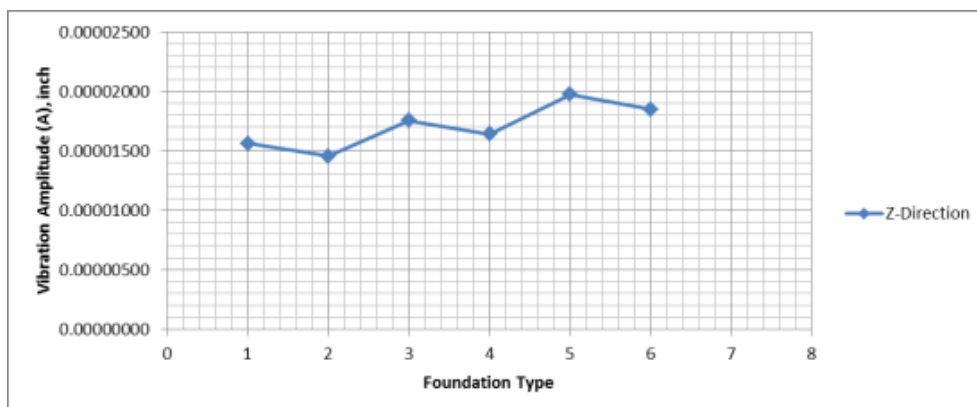


Gambar 8 : Grafik Transmissibility Force (P) Rocking

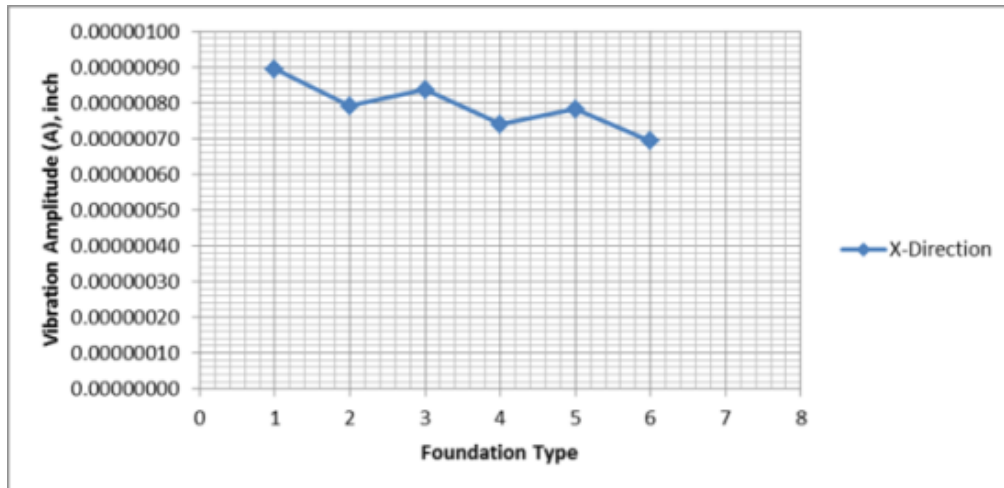
Berikutnya, dari hasil analisis dinamik pondasi blok didapatkan getaran amplitudo (A) untuk arah vertikal, horizontal dan rocking.

Tabel 7 : Vibration Amplitude (A) or Displacement

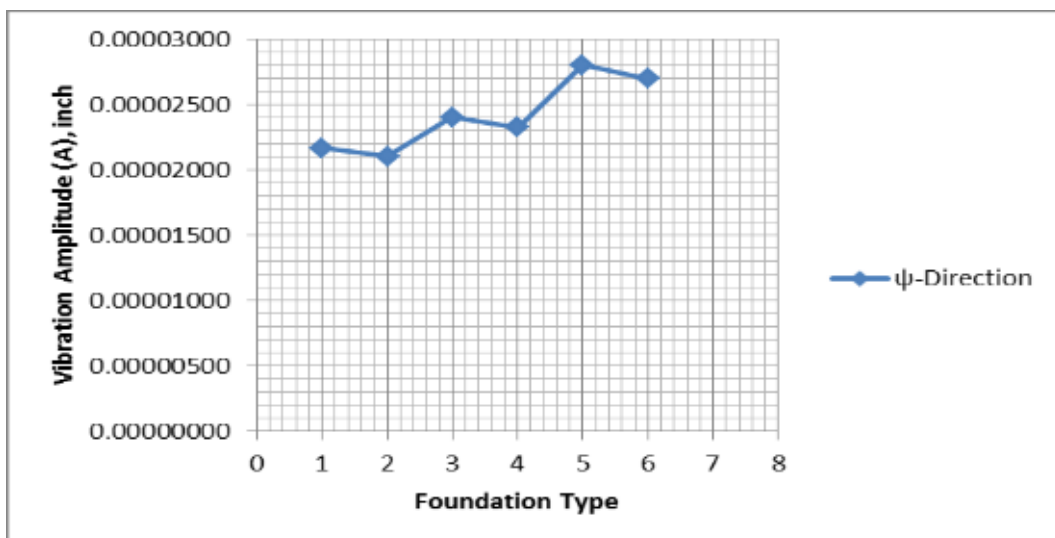
FOUNDATION TYPE	Z-DIRECTION (inch)	X-DIRECTION (inch)	ψ-DIRECTION (inch)
Type I	0.00001563	0.00000089	0.00002162
Type II	0.00001457	0.00000079	0.00002098
Type III	0.00001754	0.00000084	0.00002400
Type IV	0.00001639	0.00000074	0.00002322
Type V	0.00001973	0.00000078	0.00002801
Type VI	0.00001847	0.00000069	0.00002694



Gambar 9 : Grafik Vibration Amplitude (A) Vertikal



Gambar 10 : Grafik Vibration Amplitude (A) Horizontal



Gambar 11 : Grafik Vibration Amplitude (A) Rocking

Nilai keamanan sangat mempengaruhi kelayakan dari perencanaan pondasi dinamis.

Dapat dilihat pada tabel berikut.

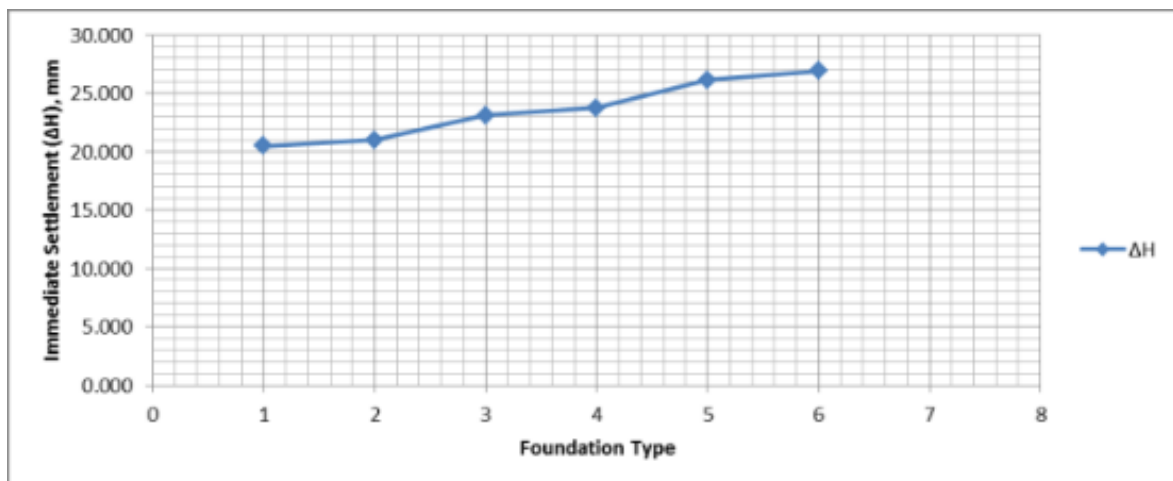
Tabel 8 : Maximum Velocity (v)

FOUNDATION TYPE	Z-DIRECTION (inch)	SAFETY FAKTOR	X-DIRECTION (inch/sec)	SAFETY FAKTOR
Tipe I	0.0001210	"NOT NOTICEABLE TO PERSONS"	0.0475275	"GOOD"
Tipe II	0.0001200		0.0459666	
Tipe III	0.0001350		0.0611736	
Tipe IV	0.0001337		0.0590210	
Tipe V	0.0001551		0.0824871	"FAIR"
Tipe VI	0.0001533		0.0791815	"GOOD"

Hasil analisis dari teori Immediate (Elastic) Settlement dapat dilihat tabel 4.16, yang nantinya akan diplot pada grafik Foundation Type vs Settlement (gambar 4.25).

Tabel 9 : Immediate Settlement (ΔH)

FOUNDATION TYPE	ΔH (mm)
Tipe I	20.469
Tipe II	20.978
Tipe III	23.121
Tipe IV	23.743
Tipe V	26.151
Tipe VI	26.903



Gambar 12 : Grafik Immediate Settlement (ΔH)

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan diatas maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian Tugas Akhir ini digunakan pondasi blok dengan variasi perbandingan dimensi. Untuk pondasi blok tipe I, III dan V digunakan luas penampang yang sama sebesar 37,375 m². Sedangkan untuk pondasi blok tipe II, IV dan VI digunakan luas penampang 40,500 m². Dengan ketebalan yang berbeda yaitu tipe I & II (2,100 m), tipe III & IV (2,450

m) dan tipe V & VI (2,850 m). Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan variasi perbandingan berat pondasi terhadap mesin dan peralatan pendukung diatasnya.

2. Displacement/amplitudo terkecil terjadi pada pondasi blok tipe II, kondisi ini sesuai dengan pernyataan yang ada di berbagai literature, yaitu berat pondasi harus berada pada perbandingan 3 – 5 kali lipat daripada berat mesin dan peralatan pendukung diatasnya.

3. Sesuai dengan persyaratan pada sub bab 2.5.1 mengenai beban dinamik, pondasi dinyatakan aman dari adanya resonansi. Karena pada seluruh varian pondasi tidak terjadi resonansi, dikarenakan nilai frekuensi natural pondasi \neq frekuensi dari mesin.
4. Immediate Settlement (penurunan segera) terkecil terjadi pada pondasi blok tipe I dengan nilai penurunan yang terjadi adalah 0,020469 m, sedangkan nilai penurunan terbesar yaitu senilai 0,026903 m terjadi pada pondasi blok tipe VI.
5. Dari indikator kenyamanan dan keamanan yang diakibatkan oleh getaran mesin dapat dilihat bahwa seluruh jenis pondasi berada pada zona “Not Noticeable To Persons” untuk mode getar vertikal dan zona “Good” untuk mode getar horizontal, kecuali pada pondasi blok tipe V yang berada pada zona “Fair” untuk mode getar horizontal.
6. Dari hasil analisis struktur beton bertulang yang dilakukan untuk pondasi dinamis digunakan tulangan D19 – 100 untuk Tulangan Longitudinal dan D16 – 100 untuk Tulangan Memanjang.
- [3] M. D. Tobi and V. N. VAN HARLING, “Studi Perencanaan Pembangunan Pltmh di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat,” *Electro Luceat*, vol. 3, no. 1, pp. 32–43, 2017.
- [4] M. D. Tanjung, H. Soetjianto, and J. I. Suwono, “Korelasi Nilai Mackintosh Probe dengan N-SPT dan CPT pada Tanah Lempung,” *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [5] E. Purwanto, “Nilai Modulus Geser Tanah Berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich (1972) dan Menard (1965),” *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 3, pp. 279–290, 2008.
- [6] P. M. PERBANGSA, “PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUSUNAWA JEPARA MENGGUNAKAN BETON PRACETAK (Structure Design Of RUSUNAWA Jepara Using Precast Concrete).” F. TEKNIK UNDIP, 2011.
- [7] Timoshenko, Stephen, and J. N. Goodier, *Theory of Elasticity*, 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., 1951. Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://dokumen.tips/documents/theory-of-elasticity-by-s-timoshenko-and-jn-goodier-1951.html?page=1>
- [8] S. Nurhamidin, “APLIKASI PENENTU MUTU KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG MENGGUNAKAN FRAMEWORK BOOTSTRAP.” Politeknik Negeri Manado, 2016.
- [9] S. Balamba, “Pengaruh Dimensi dan Kedalaman Tertanam terhadap Respons Dinamis Pondasi Mesin Tipe Blok pada Getaran Rocking dan Torsi,” *TEKNO*, vol. 11, no. 59, 2013.
- [10] R. A. Arisandhi, “Analisa Getaran

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lumy, “TINJAUAN PONDASI RAKIT DAN METODE PELAKSANAAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG SEKOLAH DIAN HARAPAN MANADO.” Politeknik Negeri Manado, 2016.
- [2] A. Subandono, “Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh),” *J.*

- Pada Kapal Sar (Search And Rescue) Dengan Material HDPE (High Density Polyethylene).” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [11] R. I. Kurniawan, A. Ridwan, S. Winarto, and A. I. Candra, “Perencanaan Pondasi Tiang (Studi Kasus Hotel Merdeka Tulungagung),” *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 144–153, 2019.
- [12] E. Purnomo, “Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel Di Semarang),” 2014.
- [13] A. Yanto, “Analisa Unjuk Kerja Pengayak Getar Sebagai Sistem Getaran Dua Derajat Kebebasan Terhadap Pengayakan Abu Sekam Padi,” *J. Momentum ISSN 1693-752X*, vol. 15, no. 2, 2013.
- [14] D. Ariadi, “OPTIMASI TUNEDMASS DAMPER PADA BANGUNAN DI DAERAH GEMPA MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA.” UAJY, 2014.