

# PENGARUH LUAS PENAMPANG PONDASI MESIN JENIS BLOK DAN PARAMETER TANAH BERBUTIR HALUS TERHADAP AMPLITUDO

Shofa Syahidi <sup>1)</sup>, Raden Harya Dananjaya <sup>2)</sup>, Bambang Setiawan <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2) 3)</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069. Email : shofasyahidi@gmail.com

## Abstract

*In Indonesia, the electricity consumption gradually increases each year in line with the increasing of national economy growing. The increasing of electricity needed is predicted can increase more or less 6,5% per year and keep increasing up to 2020. This energy limitation makes us have to make use the micro hydro technology. Micro Hydro has three major components; water (the energy source), turbine, and generator. The mechanical energy of the turbine's shaft rotation will be transformed into an electrical energy by a generator. Dynamic foundation is designed to receive dynamic load posed by machine's motion such as; rotation, vertical motion, horizontal motion, dan torque. Those motions will be muted by the foundation, so that it won't cause vibration toward other machines and the human resources around the machine. This research analyzes blocks machine's foundation for turbine machine type HLA575C-WJ-62 with variation of length is 0,5 m and width 0,5 m and the variation soft granulated soil parameter  $\gamma = 0,5 \text{ kN/m}^3$ , shear modulus  $G = 2500 \text{ kN/m}^2$ , and poisson ratio  $\nu = 0,05$ . The method of this research is lump parameter system, this is usually used to firm the block's foundation using pulp, bit, and dashpot. This research's result shows that, the value of L (length) is inversely proportionate with vertical amplitude, horizontal, and rocking. The value of B (width) is inversely proportionate with vertical amplitude, horizontal, and rocking. Shear Modulus (G) is directly proportionate with vertical amplitude, and rocking amplitude. Poisson ratio ( $\nu$ ) is inversely proportionate with vertical amplitude and horizontal amplitude. The soil content weight ( $\gamma$ ) is inversely proportionate with vertical amplitude, horizontal amplitude, and rocking amplitude. The modification on the the unit weight doesn't show significant difference toward the amplitude.*

**Keywords :** machine foundations , foundation block type , amplitude , lump parameter system.

## Abstrak

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020. Dengan keterbatasan energi ini menuntut kita harus bisa memanfaatkan energi mikro hidro. Mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Pondasi dinamis dirancang mampu menerima beban yang bersifat dinamis yang ditimbulkan dari gerakan mesin seperti rotasi, gerakan vertikal, gerakan horizontal dan torsi. Gerakan-gerakan tersebut akan diredam oleh pondasi sehingga tidak menimbulkan getaran pada mesin di sekitarnya dan manusia yang bekerja disekeliling mesin. Penelitian ini menganalisis pondasi mesin jenis blok untuk mesin turbin tipe HLA575C-WJ-62 dengan variasi panjang 0,5 m dan lebar pondasi 0,5 m serta variasi parameter tanah berbutir halus yaitu berat isi ( $\gamma$ ) 0,5 kN/m<sup>3</sup>, modulus geser (G) 2500 kN/m<sup>2</sup>, dan poisson rasio ( $\nu$ ) 0,05. Metode analisa pada penelitian ini adalah *lump parameter system*, sistem yang digunakan untuk memperkaku blok pondasi dengan menggunakan massa, pegas dan dashpot. Hasil penelitian ini didapat bahwa, semakin besar panjang pondasi (L) maka semakin kecil amplitudo vertikal, horizontal, dan rocking. Semakin besar lebar pondasi (B) maka semakin kecil amplitudo vertikal, horizontal, dan rocking. Modulus geser (G) semakin besar maka semakin besar amplitudo vertikal dan amplitudo rocking. Poisson rasio ( $\nu$ ) semakin kecil maka semakin kecil amplitudo vertikal dan amplitudo horizontal. Berat isi tanah ( $\gamma$ ) semakin kecil maka semakin kecil amplitudo vertikal, amplitudo horizontal, dan amplitudo rocking. Perubahan berat isi tanah tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap amplitudo.

**Kata Kunci :** pondasi mesin, pondasi jenis blok, amplitudo, *lump parameter system*.

## PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia tiap tahun terus meningkat, diperkirakan akan tumbuh 6,5 % tiap tahunnya hingga tahun 2020. Konsumsi listrik Indonesia yang begitu besar akan menjadi suatu masalah bila dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan. Keterbatasan energi saat ini menuntut kita harus bisa memanfaatkan energi mikro hidro. Mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Pondasi dinamis dirancang mampu menerima beban yang bersifat dinamis yang ditimbulkan dari

gerakan mesin seperti rotasi, gerakan vertikal, gerakan horizontal dan torsi. Pembangkit listrik merupakan sumber utama listrik sehingga diharapkan pada perancangan pondasi yang menopang mesin tersebut tidak mengalami keruntuhan, baik pada tahap pelaksanaan maupun masa layan yang dapat mengganggu jalannya kegiatan manusia dan perekonomian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh luas penampang pondasi jenis blok terhadap amplitudo yang terjadi dan mengetahui pengaruh parameter tanah berbutir halus terhadap amplitudo yang terjadi. Variasi panjang dan lebar pondasi dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa besar pengaruh luas penampang terhadap amplitudo, serta sebagai acuan ukuran dimensi pondasi yang digunakan untuk amplitudo yang terjadi. Variasi parameter tanah berbutir halus dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tanah terhadap amplitudo, serta sebagai acuan untuk melakukan perbaikan tanah apabila mendapat amplitudo tidak sesuai syarat keamanan.

**Metode Analisa Lump Parameter System**

Teori ini merupakan penelitian dan pengembangan dari metode Elastic Half Space, dimana untuk mendapatkan harga suatu parameter dengan menggunakan cara atau rumus dari teori Elastic Half Space. Teori Lump Parameter System adalah sistem yang digunakan untuk memperkaku blok pondasi dengan menggunakan massa, pegas dan dashpot. Sistem ini menerapkan semua komponen massa, pegas dan redaman. Teori ini dikembangkan oleh Lysmer dan Richart (1996) yang dikembangkan untuk pondasi lingkaran weightless dengan radius  $r_0$  dimana pondasi berada diatas tanah (tidak tertanam). Model yang digunakan dalam menyelesaikan masalah beban dinamis masih dikembangkan. Model yang digunakan untuk meyelesaikan masalah beban dinamis salah satunya dengan mengumpamakan beban dinamis yang bekerja diterima oleh sebuah balok kaku tetapi dalam perhitungan seringkali diabaikan. Solusi dari permasalahan tersebut adalah menentukan reaksi dari gaya dinamis yang berupa getaran pada suatu pondasi.

**Analisa Akibat Beban Statis**

Pada perhitungan analisis statis, pondasi mesin diidealisasikan sebagai pondasi dangkal. Perhitungan daya dukung menggunakan teori Meyerhoff (Bowles, 1991).

$$q_u = c N_c S_c d_c + q N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma N_\gamma S_\gamma d_\gamma \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $q_u$  = Daya Dukung Ultimit Pondasi (kN/m<sup>2</sup>)
- $c$  = Kohesi Tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $\gamma$  = Berat Volume Tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- $q$  = Df.  $\gamma$  (kN/m<sup>2</sup>)
- $D_f$  = Kedalaman Pondasi (m)
- $B$  = Lebar Pondasi (m)
- $S_\phi, S_\alpha, S_\gamma$  = Faktor Bentuk Pondasi
- $d_\phi, d_\alpha, d_\gamma$  = Faktor Kedalaman Pondasi
- $N_\alpha, N_\phi, N_\gamma$  = Faktor daya dukung Meyerhoff ditentukan oleh besar sudut geser dalam (dapat dilihat pada Tabel 1)

**Tabel 1.** Faktor daya dukung Meyerhoff (Bowles, 1991)

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,1	1,0	0,0
5	6,49	1,57	0,07
10	8,34	2,47	0,37
15	10,98	3,94	1,13
20	14,83	6,40	2,87
30	30,14	18,40	15,67

**Analisa Akibat Beban Dinamis**

Gaya luar didapat dari bentuk gerakan dinamis yang dihasilkan mesin. untuk tipe *rotating machine* yang menghasilkan gerakan rotasi maka gaya luar dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.

$$Q_o = m e \omega^2 \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- $Q_o$  = Gaya luar (kN)
- $m$  = Massa mesin (kN.det<sup>2</sup>/m)

- $e$  = Eksentrisitas (m)
- $\omega$  = Frekuensi mesin (rpm)

**Analisa Dinamis Getaran**

Perhitungan analisis dinamis menggunakan metode yang dikembangkan untuk pondasi lingkaran dengan jari-jari ( $r_o$ ) yang tergantung pada jenis getaran (*Ananta, 2003*).

Perhitungan  $r_o$  untuk amplitudo vertikal dan horizontal dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$r_o = \sqrt{\frac{BL}{\pi}} \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

- $B$  = lebar pondasi (m)
- $L$  = panjang pondasi (m)
- $r_o$  = radius ekivalen (m)

Perhitungan  $r_o$  untuk amplitudo rocking dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$r_o = \sqrt[4]{\frac{B^3 L}{3 \pi}} \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

- $B$  = lebar pondasi (m)
- $L$  = panjang pondasi (m)
- $r_o$  = radius ekivalen (m)

Amplitudo diperhitungkan setelah mengetahui resonansi yang terjadi, yaitu peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar karena keduanya memiliki frekuensi yang sama atau memiliki frekuensi yang merupakan bilangan bulat dari frekuensi salah satu benda bergetar.

Cek getaran apakah menyebabkan ikut bergetarnya benda sekitar ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$D_z > \frac{1}{2}\sqrt{2} \quad \text{resonansi tidak terjadi} \dots\dots\dots(5)$$

Resonansi terjadi maka rumusnya ditunjukkan pada Persamaan 6.

$$\omega_{res} = \omega_{nz} \sqrt{(1 - 2D_z^2)} \quad (6)$$

Resonansi terjadi selanjutnya menghitung persyaratan frekuensi resonansi, rumus menghitung frekuensi resonansi ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\frac{\omega_{res}}{f_{mesin}} > 2 \quad \text{atau} \quad \frac{\omega_{res}}{f_{mesin}} < 0,5 \quad \dots\dots\dots(7)$$

dengan :

- $\omega_{res}$  = resonansi (rad/det)
- $f_{mesin}$  = frekuensi mesin (rad/det)

**Analisis Getaran Vertikal**

Rumus untuk menghitung amplitudo setelah mengetahui resonansi ditunjukkan pada Persamaan 8 untuk amplitudo vertikal, Persamaan 9 untuk amplitudo horizontal, dan Persamaan 10 untuk amplitudo rocking.

$$A_z = \frac{Q_o}{k_z \sqrt{(1-r^2)^2 + (2 D_z r)^2}} \dots\dots\dots(8)$$

dengan :

- $A_x$  = amplitudo vertikal (m)
- $Q_o$  = beban hidup yang terjadi (kN)
- $k_x$  = konstanta pegas (kN/m)
- $r$  = frekuensi rasio
- $D_x$  = rasio damping

$$A_x = \frac{Q_o}{K_x \sqrt{(1-r^2)^2 + (2 D_x r)^2}} \dots\dots\dots(9)$$

dengan :

- $A_x$  = amplitudo horizontal (m)
- $Q_o$  = beban hidup yang terjadi (kN)
- $K_x$  = konstanta pegas (kNm)
- $r$  = frekuensi rasio
- $D_x$  = rasio damping

$$A_\phi = \frac{Q_o(TB_{mesin} + t)M}{K_\phi} \dots\dots\dots (10)$$

dengan :

- $A_\phi$  = amplitudo vertikal (m)
- $Q_o$  = beban hidup yang terjadi (kN)
- $TB_{mesin}$  = titik tengah mesin (m)
- $t$  = tinggi pondasi (m)
- $K_\phi$  = konstanta pegas (kN/m)
- $M$  = pembesaran dinamis

**Analisis Getaran Kopel**

Kopel terjadi karena adanya getaran bersama – sama antara getaran vertikal, horizontal dan rocking secara terus menerus. Definisi umum kopel adalah pasangan dua buah gaya yang sama besar, sejajar dan berlawanan arah. Rumus untuk menghitung pertambahan amplitudo akibat getaran kopel pada amplitudo horizontal ditunjukkan pada Persamaan 11 dan Persamaan 12.

$$A_{x1} = \frac{P_x}{M_{total} \times M_m} \frac{[(-M_m \omega^2 + K_\phi + Z^2 K_x)^2 + 4 \omega^2 (D_\phi \sqrt{K_\phi M_{mo}} + Z^2 D_x \sqrt{K_x M_{total}})^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{x2} = \frac{M_y z}{M_m} \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2 D_x \omega_{nx} \omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \dots\dots\dots (12)$$

Rumus untuk menghitung pertambahan amplitudo akibat getaran kopel pada amplitudo vertikal ditunjukkan pada Persamaan 13 dan Persamaan 14.

$$A_{\phi 1} = \frac{M_y}{M_m} \frac{[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2 D_x \omega_{nx} \omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \dots\dots\dots (13)$$

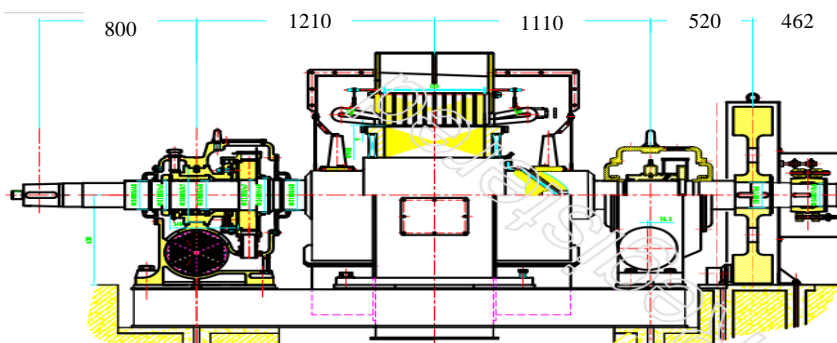
$$A_{\phi 2} = \frac{P_x Z}{M_m} \times \frac{\omega_{nx}(\omega_{nx}^2 + 4 \omega^2)^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \dots\dots\dots (14)$$

Persamaan 13 dan Persamaan 14 kemudian dijumlahkan, dan hasil dari penjumlahan tersebut kemudian dihitung dengan Persamaan 16.

$$A_{\phi z} = 0,5 B A_{\phi total} \dots\dots\dots (16)$$

**METODE PENELITIAN**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa gambar (dapat dilihat pada Gambar 1) dan informasi mesin turbin yang didapat dari proyek PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Untuk mempermudah dalam analisis data maka peneliti menggunakan software Microsoft Office Excel, digunakan dalam analisis statis dan analisis dinamis guna mengetahui nilai amplitudo, dan membantu dalam pembuatan grafik pengaruh luas penampang pondasi mesin jenis blok dan parameter tanah terhadap amplitudo.



**Gambar 1** Mesin Turbin Tipe HLA575C-WJ-62 (PLTMH Gorontalo, 2016)

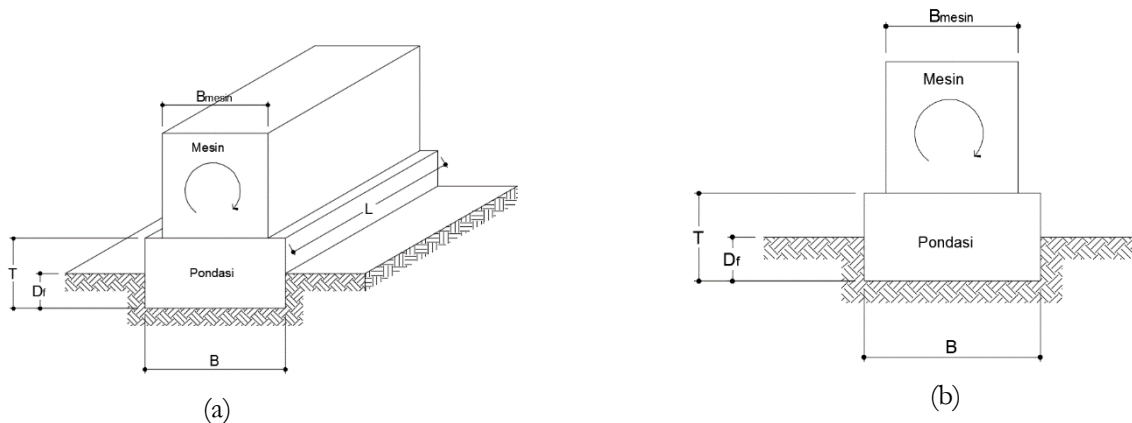
Parameter tanah berupa  $\gamma$  (berat isi),  $\nu$  (poisson rasio), dan  $G$  (modulus geser) akan disimulasikan dengan variasi perubahan 0,5 kN/m<sup>3</sup> untuk berat isi, 0,05 untuk poisson rasio, dan 2500 kN/m<sup>2</sup> untuk modulus geser. Untuk nilai sudut geser sebesar 0°, dan untuk nilai kohesi adalah 15 kN/m<sup>2</sup>. Data tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Data Tanah (Muni, 2010 ; Suresh dkk, 1979)

Jenis Tanah	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	$G$ (kN/m <sup>2</sup> )
Clay	14	0,4	20000
	14,5	0,45	22500
	15	0,5	25000
	15,5	0,55	27500
	16	0,6	30000

Data pondasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi percobaan dengan mengubah lebar pondasi dari nilai awal 3 m sampai 4 m dengan variasi perubahan 0,5 m, dan panjang pondasi dari nilai awal 4,2 m sampai 8,5 m dengan variasi perubahan 0,5 m, sedangkan tinggi pondasi tetap 1 m.

Gambar pondasi mesin pada penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 2 sebagai berikut dengan  $B$  (lebar),  $L$  (panjang), dan  $T$  (tinggi) pondasi mesin:



**Gambar 2** Dimensi pondasi persegi, (a) tampak 3 dimensi, (b) tampak potongan melintang.

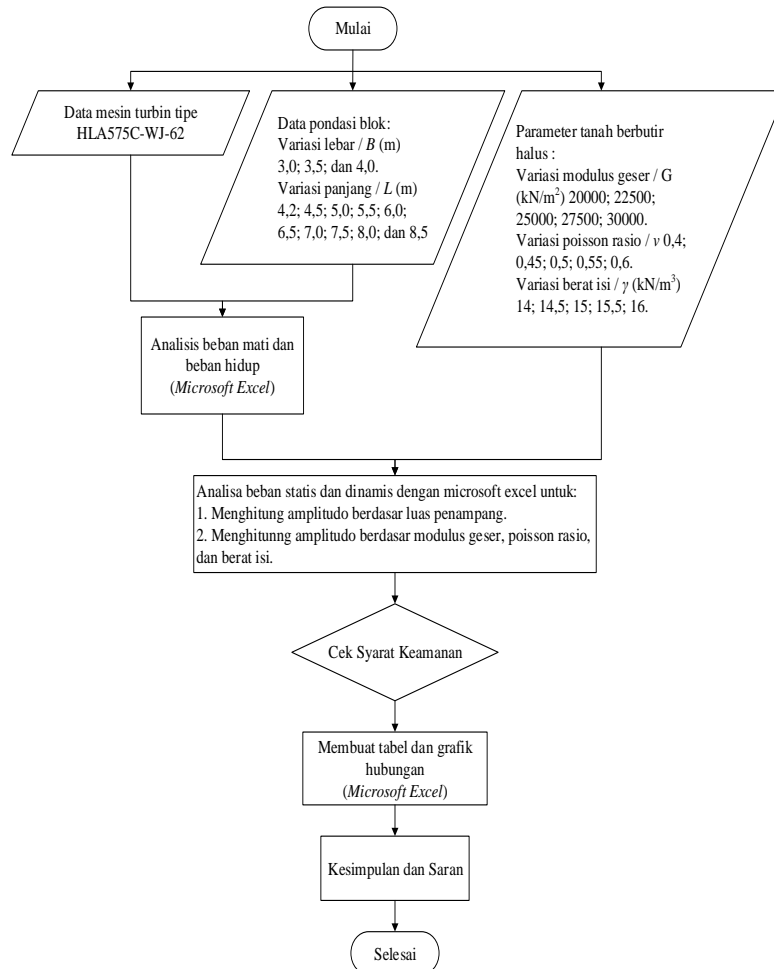
Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh luas penampang dengan variasi 0,5 m untuk lebar ( $B$ ) dimulai dari 3,0 m sampai 4,0 m dan panjang ( $L$ ) pondasi dimulai dari 4,2 m sampai 8,5 m, serta untuk mengetahui pengaruh parameter jenis tanah berbutir halus dengan variasi 0,5 kN/m<sup>3</sup> untuk berat isi tanah ( $\gamma$ ) dimulai dari 14 kN/m<sup>3</sup> sampai 16 kN/m<sup>3</sup>, variasi 0,05 untuk poisson rasio ( $\nu$ ) dimulai dari 0,4 sampai 0,6, dan variasi 2500 kN/m<sup>2</sup> untuk modulus geser ( $G$ ) dimulai dari 20000 kN/m<sup>2</sup> sampai 30000 kN/m<sup>2</sup>. Hasil perhitungan kemudian dibuat tabel dan grafik untuk mengetahui pengaruh terbesar terhadap amplitudo dengan bantuan membuat tabel dan grafik.

### Syarat Keamanan

Tujuan utama dalam merencanakan pondasi mesin adalah membatasi amplitudo sehingga tidak akan membahayakan mesin yang bekerja di atasnya dan tidak mengganggu orang dan bangunan yang ada disekitar mesin tersebut. Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan pondasi mesin yaitu:

1. Tegangan statis < 50%  $\bar{\sigma}$
2. Tegangan statis + dinamis < 75%  $\bar{\sigma}$
3. Getaran Horizontal dan vertikal dikontrol dengan nilai  $K$  rumus Dieckmann dengan ketentuan setidaknya memenuhi kategori “Affected but Still Possible”
4. Magnification factor ( $M$ ) < 1,5
5. Kecepatan rambat (velocity) =  $\omega \times A_x$  total sekurang-kurangnya harus masuk dalam katagori keadaan mesin “good”.
6. Amplitudo yang terjadi sekurang-kurangnya harus masuk dalam “Easily Noticeble To Person”.
7. Amplitudo pada saat mesin berjalan harus masuk dalam Zona A (No Faults) atau Zona B (Minor Faults).

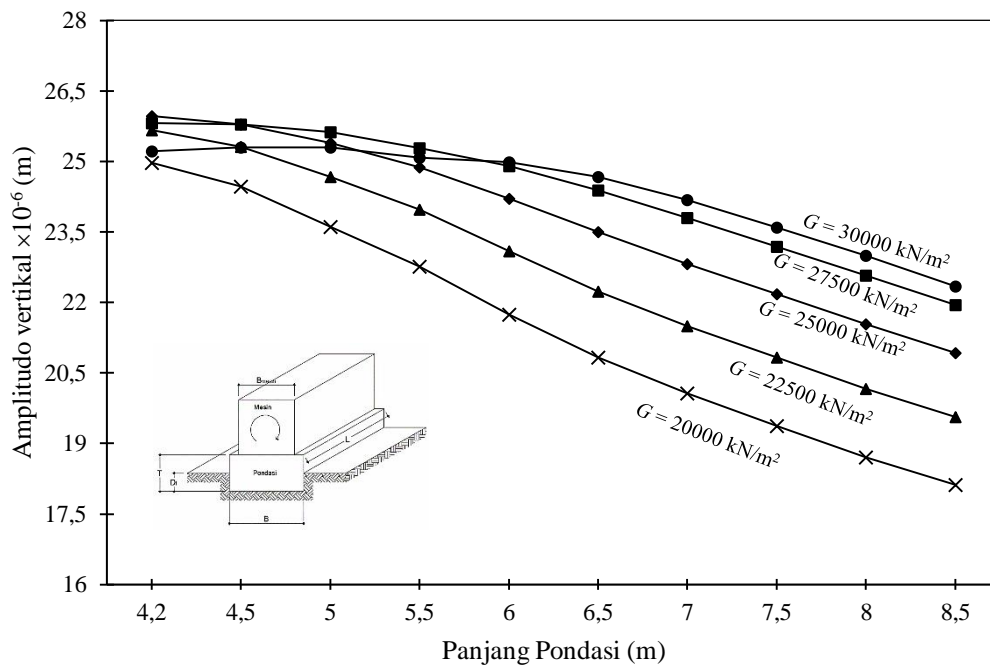
Alur penelitian dan langkah pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir

## HASIL PERHITUNGAN

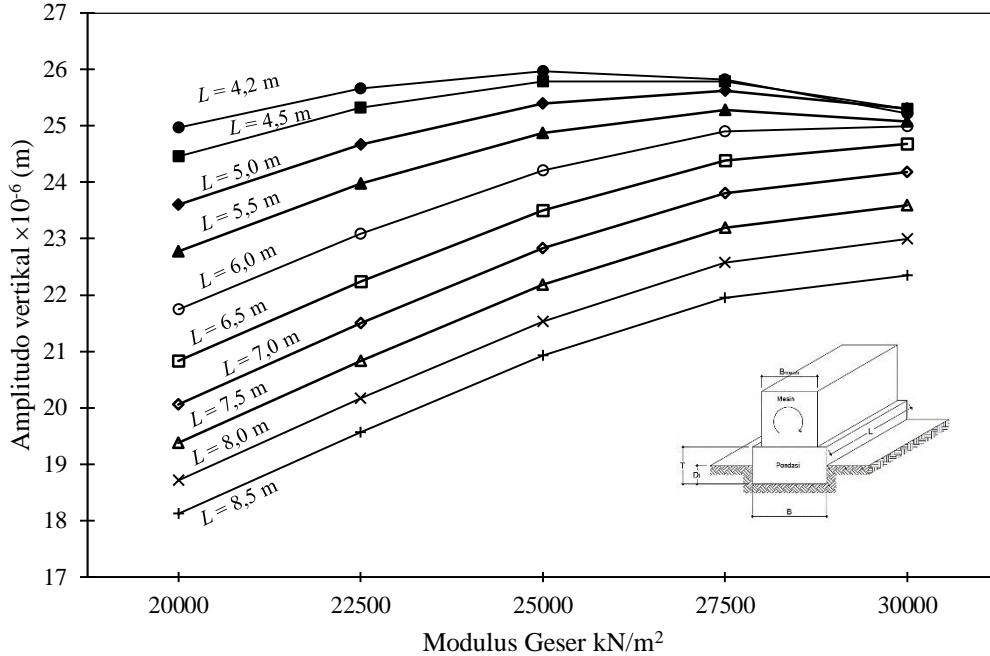
Perbandingan pengaruh panjang pondasi dan parameter tanah terhadap amplitudo vertikal dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Pengaruh panjang pondasi terhadap amplitudo vertikal dengan nilai  $B = 3,00 \text{ m}$ ,  $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$  dan  $\nu = 0,4$

Berdasarkan Gambar 4 didapat kesimpulan bahwa semakin besar nilai  $L$  (panjang) pondasi, maka semakin kecil nilai amplitudo vertikal, dan nilai  $G$  (modulus geser) semakin besar maka amplitudo relatif semakin besar.

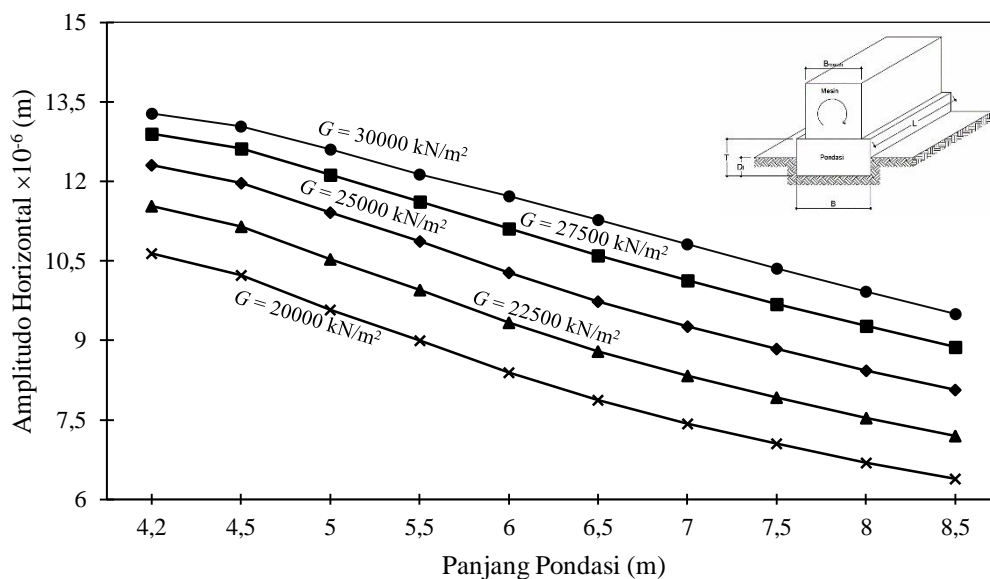
Perbandingan pengaruh modulus geser dan panjang pondasi terhadap amplitudo vertikal dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5** Pengaruh modulus geser terhadap amplitudo vertikal dengan nilai  $B = 3,00 \text{ m}$ ,  $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$  dan  $\nu = 0,4$

Berdasarkan Gambar 5 didapat kesimpulan bahwa semakin besar nilai modulus geser, rata – rata nilai amplitudo semakin besar. Amplitudo pada modulus geser 20000  $\text{kN/m}^2$ , paling besar perubahannya. Amplitudo pada modulus geser 30000  $\text{kN/m}^2$ , paling kecil perubahannya

Perbandingan pengaruh panjang pondasi dan parameter tanah terhadap amplitudo horizontal dapat dilihat pada Gambar 6.

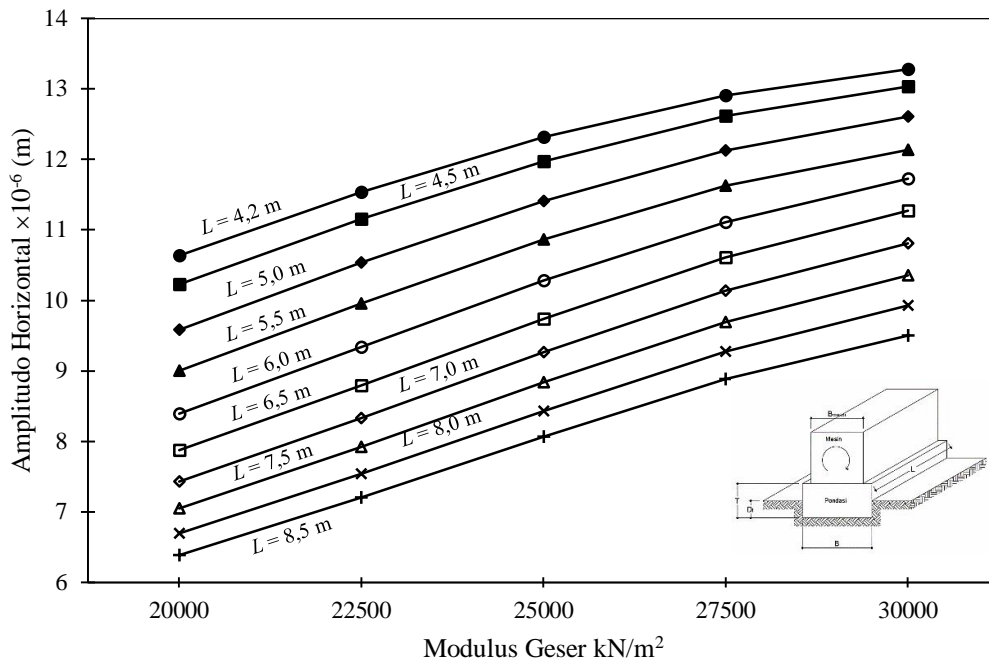


**Gambar 6** Pengaruh panjang pondasi terhadap amplitudo horizontal dengan nilai  $B = 3,00 \text{ m}$ ,  $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$  dan  $\nu = 0,4$



Berdasarkan Gambar 6 didapat kesimpulan bahwa semakin besar nilai  $L$  (panjang) pondasi, maka semakin kecil nilai amplitudo horizontal. Semakin besar nilai  $G$  (modulus geser), maka semakin besar nilai amplitudo horizontal.

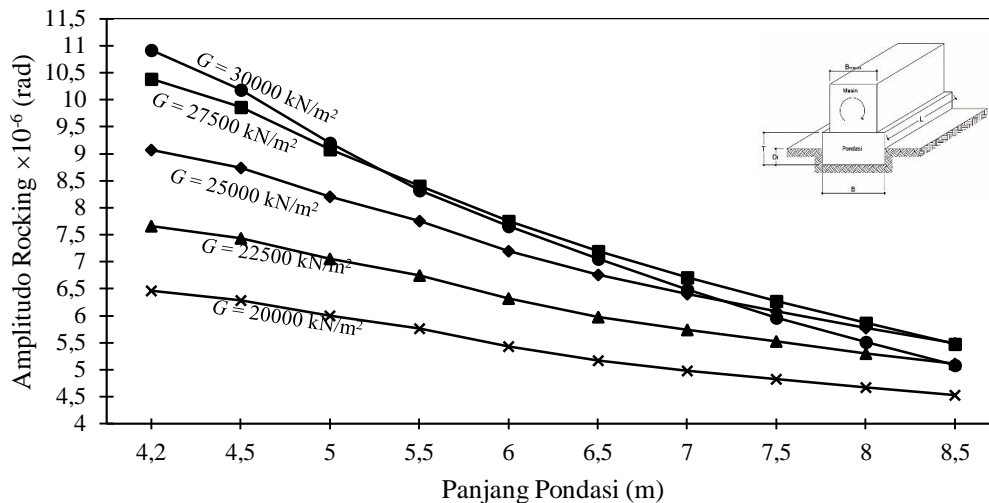
Perbandingan pengaruh modulus geser dan panjang pondasi terhadap amplitudo horizontal dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7** Pengaruh modulus geser terhadap amplitudo vertikal dengan nilai  $B = 3,00$  m,  $\gamma = 14$  kN/m<sup>3</sup> dan  $\nu = 0,4$

Berdasarkan Gambar 7 didapat kesimpulan bahwa semakin besar nilai  $G$  (modulus geser) pondasi, maka semakin besar nilai amplitudo horizontal. Perbedaan amplitudo pada masing – masing panjang pondasi dominan sama.

Perbandingan pengaruh panjang pondasi dan parameter tanah terhadap amplitudo *rocking* dapat dilihat pada Gambar 8.

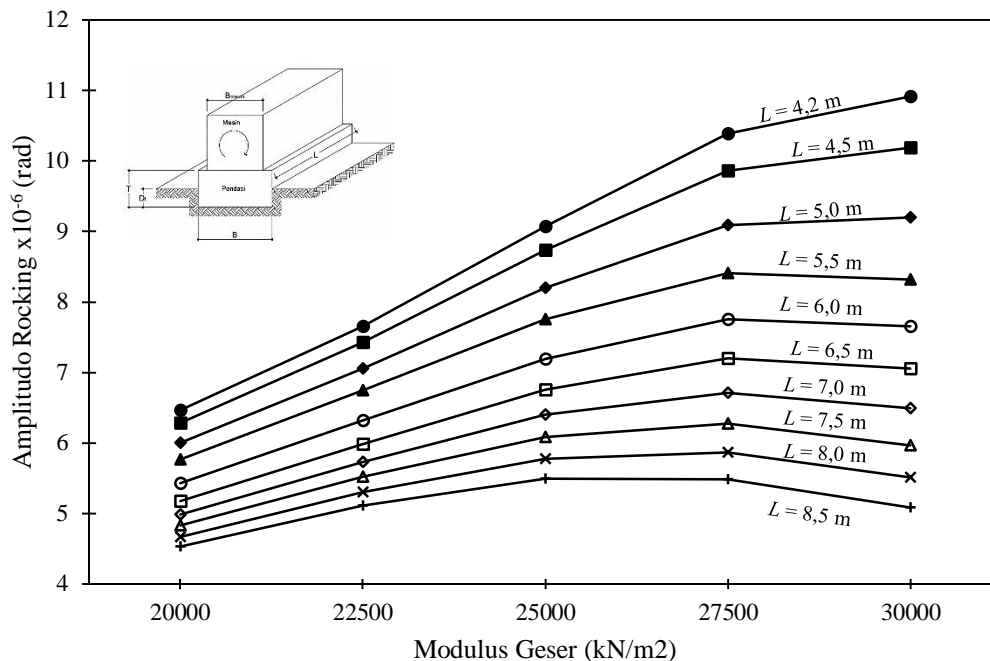


**Gambar 8** Pengaruh panjang pondasi terhadap amplitudo rocking dengan nilai  $B = 3,00$  m,  $\gamma = 14$  kN/m<sup>3</sup> dan  $\nu = 0,4$

Berdasarkan Gambar 8 didapat kesimpulan bahwa semakin besar nilai  $L$  (panjang) pondasi, maka semakin kecil nilai amplitudo horizontal. Semakin besar nilai  $G$  (modulus geser), maka besar nilai amplitudo horizontal dominan naik.

Perbandingan pengaruh modulus geser dan panjang pondasi terhadap amplitudo *rocking* dapat dilihat pada Gambar 9.





**Gambar 9** Pengaruh modulus geser terhadap amplitudo *rocking* dengan nilai  $B = 3$  m,  $\gamma = 14$  kN/m<sup>3</sup> dan  $\nu = 0,4$

Berdasarkan Gambar 9 didapat kesimpulan bahwa terdapat nilai puncak mulai pada panjang pondasi 5,5m. Semakin besar nilai modulus geser, rata – rata nilai amplitudo semakin besar. Amplitudo pada modulus geser 20000 kN/m<sup>2</sup>, paling kecil perubahannya. Amplitudo pada modulus geser 30000 kN/m<sup>2</sup>, paling besar perubahannya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai pengaruh luas penampang pondasi jenis blok dan parameter tanah berbutir halus terhadap amplitudo berdasarkan metode lump parameter system adalah sebagai berikut :

1. Nilai  $L$  (panjang) dengan variasi perubahan 0,5 m dari 4,2 m sampai dengan 8,5 m berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, horizontal, dan rocking.
2. Nilai  $B$  (lebar) dengan variasi perubahan 0,5 m dari 3,0 m sampai dengan 4,0 m berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, horizontal, dan rocking.
3. Modulus geser ( $G$ ) dengan variasi perubahan 2500 kN/m<sup>2</sup> dari 20000 kN/m<sup>2</sup> sampai dengan 30000 kN/m<sup>2</sup> berbanding lurus dengan amplitudo vertikal dan amplitudo rocking.
4. Poisson rasio ( $\nu$ ) dengan variasi perubahan 0,05 dari 0,4 sampai dengan 0,6 berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal dan amplitudo horizontal.
5. Berat isi tanah ( $\gamma$ ) dengan variasi 0,5 kN/m<sup>3</sup> dari 14 kN/m<sup>3</sup> sampai dengan 16 kN/m<sup>3</sup> berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, amplitudo horizontal, dan amplitudo rocking.
6. Perhitungan pada perubahan variasi berat isi tanah ( $\gamma$ ) 14 kN/m<sup>3</sup>; 14,5 kN/m<sup>3</sup>; 15 kN/m<sup>3</sup>; 15,5 kN/m<sup>3</sup>; dan 16 kN/m<sup>3</sup>, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap amplitudo.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afdian E. Wibowo. 2015. *Perencanaan Pondasi Mesin Generator Set Pada Pabrik NPK Super PT. Pupuk Kaltim Bontang Dengan Perhatian Khusus Pada Pengaruh Karet Peredam Getaran*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Almey Lolo. 2013. *Pengaruh Modulus Geser Tanah Terhadap Kestabilan Pondasi Mesin Jenis Blok*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Anantha S. Sidharta. 2013. *Pondasi Beban Dinamis*. Edisi ke-tujuh. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Bowles E Josep. 1989. *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi ke-dua. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Ernawan Setyono. 2015. *Analisis Perencanaan Pondasi Dinamis Untuk Mendukung Mesin Turbin Pada Pabrik Gula Cukir Jombang*. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

- Hary Christady Hardiyatmo. 2010. *Mekanika Tanah II*. Edisi Kelima. Bulaksumur, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Maudy Hermitha. 2013. *Makalah Getaran dan Gelombang*. <http://maudyr10pgsd.blogspot.co.id/2013/04/getaran-dangelombang.html>. (17 Agustus 2016)
- Mevieta D. Kartikasari. 2010. *Perancangan Pondasi Gas Turbine Proyek Pembangunan Unit V PLTGU PT. PLN Termal Muara Tamar Bekasi-Jawa Barat*. Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Miftah Arifin. 2015. *Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*. [http://miftah18arifin.blogspot.co.id/2015/12/makalah-pembangkit-listrik-tenaga-mikro\\_14.html](http://miftah18arifin.blogspot.co.id/2015/12/makalah-pembangkit-listrik-tenaga-mikro_14.html). (17 Agustus 2016)
- Moch. Muchlis, dan Adhi D. Permana, 2003. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 S.D 2020*. Makalah Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang.
- Muni Budhu. 2010. *Soil Mechanics and Foundations*. Edisi Ketiga. John Wiley & Sons, INC. University of Arizona. United States
- Shamser Prakash. and Vijay K. Puri. 2006. *Foundations for Vibrating Machines*, Special Issue, April-May 2006, Of the journal of Structural Engineering, SERC, Madras.
- Suresh C. Arya, dkk. 1979. *Design of Structure Analysis Foundation for Vibrating Machines*, Gulf Publishing Company, Houston, London, Paris, Tokyo.