

STUDI PENGARUH KEDALAMAN PENANAMAN DAN KETEBALAN PONDASI MESIN *STEAM TURBINE* PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) LOAN KOREA LOMBOK TIMUR

Tannia Kurnia Putri, Suwarno, dan Ananta Sigit Sidharta

Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: suwarno.surabaya@gmail.com, ananta@ce.its.ac.id

Besarnya permintaan daya listrik di daerah Lombok Timur, menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Loan Korea Lombok Timur (PLTU) harus menyediakan daya listrik sesuai permintaan masyarakat daerah Lombok Timur. Hal ini mendorong pembangunan pondasi mesin *Steam Turbine*.

Perencanaan pondasi mesin ini akan dikelompokkan menjadi dua macam pengelompokan mesin. Pengelompokan pertama menopang dua mesin dan pengelompokan ke dua menopang tiga mesin. Setiap pengelompokan mesin direncanakan menjadi dua yaitu ketebalan pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (empat perbedaan penanaman), dan ketebalan pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muka tanah yang sama (empat perbedaan ketebalan pondasi). Dari hasil pengelompokan tersebut mendapatkan nilai besaran rasio redaman.

Pengaruh kedalaman penanaman menghasilkan kurva kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) berbentuk kurva linier. Untuk ketinggian muka tanah 0,4m selisih amplitudo konstan sebesar 0,2% dan untuk ketinggian muka tanah 0,3m selisih amplitudo dengan interval 0,2% dan 0,3%. Sedangkan studi pengaruh ketebalan pondasi mesin menghasilkan kurva kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) berbentuk kurva linier. Dengan setiap penambahan kedalaman sebesar 0,1m nilai amplitudo berkurang secara konstan sebesar 1%. Selain kedalaman penanaman pondasi, nilai dimensi pondasi $B \times L$ juga mempengaruhi nilai amplitudo. Semakin besar nilai dimensi pondasi ($B \times L$) semakin kecil pula nilai amplitudo.

Adanya studi ini, maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap.

Kata kunci : pondasi mesin, ketebalan pondasi, kedalaman penanaman pondasi.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PEMERATAAN penyediaan listrik di Indonesia, tak luput pada daerah Lombok Timur. Besarnya permintaan daya listrik di daerah Lombok Timur, menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Loan Korea Lombok (PLTU Loan Korea

Lombok) harus menyediakan daya listrik sesuai permintaan masyarakat daerah Lombok Timur. Untuk memenuhi permintaan daya listrik ini, mendorong terciptanya mesin pembangkit listrik berskala besar (50 MW), salah satunya mesin *Steam Turbine*. Perencanaan pembangunan mesin *Steam Turbine* perlu adanya perencanaan struktur pendukung. Struktur pendukung yang harus direncanakan adalah pondasi mesin.

Fungsi dari pondasi adalah sebagai penerus dan penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah dibawahnya. Selain itu perencanaan pondasi mesin adalah untuk membatasi gerak amplitudo yang tidak membahayakan saat mesin beroperasi dan tidak membahayakan orang-orang yang bekerja disekitarnya. Untuk mesin *Steam Turbine* menggunakan pondasi tipe blok. Dikarenakan menggunakan tipe pondasi tersebut, beban stuktur atas hanya dari *Steam Turbine* yang memiliki karakteristik beban gerak statis dan dinamis berupa beban horizontal, vertikal, dan *rocking* yang membentuk rotasi sebagai gaya tambahan pada pondasi.

Perencanaan pondasi mesin *Steam Turbine* akan direncanakan dengan dua macam dimensi pengelompokan mesin, kelompok I menopang dua mesin *Steam Turbin* (setiap mesin berkapasitas 10 MW) dan kelompok II menopang tiga mesin *Steam Turbin* (setiap mesin berkapasitas 10 MW). setiap pengelompokan mesin direncanakan dengan dua tipe berbeda yaitu tebal pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (dengan empat perbedaan penanaman) dan tebal pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muka tanah sama (dengan empat perbedaan ketebalan pondasi). Dari hasil setiap pengelompokan tersebut didapatkan kurva rasio redaman. Kurva redaman tersebut digunakan untuk menentukan pondasi yang menghasilkan redaman terkecil.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

C. Tujuan

Dari permasalahan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* akibat pengaruh beban dinamis dan beban statis dengan dua macam pengelompokan mesin
2. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* dengan berbagai macam kedalaman penanaman pondasi mesin agar mengetahui hasil perbedaan penanaman kedalaman pondasi terhadap getaran yang ditimbulkan oleh mesin
3. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* dengan berbagai macam tebal pondasi mesin agar mengetahui hasil tebal pondasi terhadap getaran yang ditimbulkan oleh mesin

D. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai adalah setiap pengelompokan tersebut didapatkan kurva rasio redaman. Kurva redaman tersebut untuk menentukan pondasi yang menghasilkan redaman terkecil.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pembahasan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

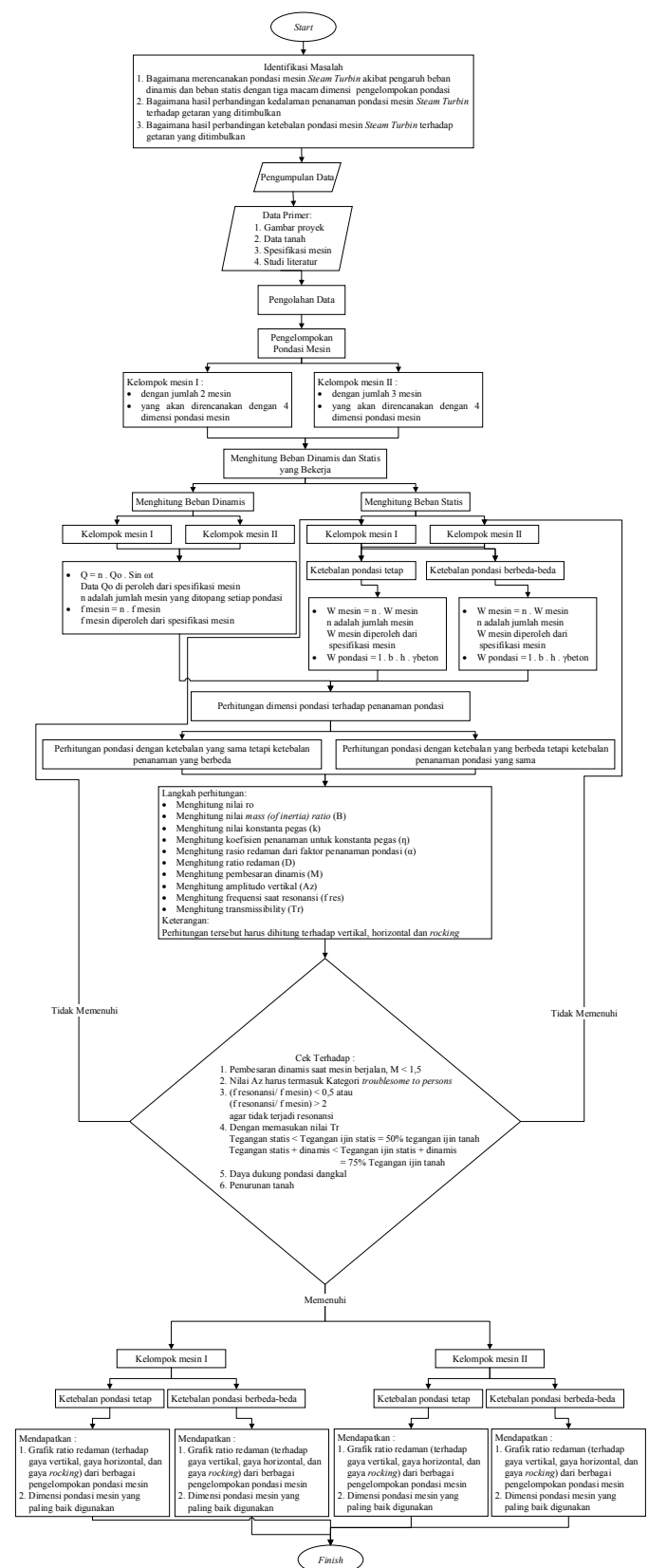
1. Pembahasan hanya pada kasus pembangunan pondasi mesin *Steam Turbine* yang berlokasi di PLTU Loan Korea Lombok Timur
2. Data tanah yang digunakan pada perhitungan daya dukung adalah data tanah asli dari lokasi pembangunan pondasi mesin ini dan tidak membahas permasalahan dari tanah
3. Perencanaan pondasi mesin ini, diasumsikan mesin bekerja secara serentak untuk masing-masing tiap pengelompokan pondasi mesin
4. Data mesin menggunakan data asli yang terlampir dalam lembar spesifikasi mesin *Steam Turbine*. Memakai dari produk SIEMENS, tipe SST 200 dengan kapasitas hingga 10 MW
5. Tidak meninjau aspek pelaksanaan pembangunan pondasi mesin di lapangan

F. Lokasi

Lokasi pembangunan pondasi mesin *Steam Turbine* ini terletak pada Padak Guar-Lombok Timur (PLTU Loan Korea Lombok Timur).

II. METODOLOGI

A. Diagram Alir Metodologi



Gambar 1. Diagram alir metodologi

III. ANALISA DATA

A. Data Mesin

Data mesin sebagai berikut:

Model mesin : Siemens Steam Turbin 200 (SST 200)
 Frekuensi mesin : 3000 rpm
 Dimensi mesin : $b = 3,6 \text{ m}$
 $l = 5,5 \text{ m}$
 $h = 3,6 \text{ m}$
 Pusat berat mesin : 0,75 m
 Berat mesin (W_{mesin}) : 58000 Kg
 Massa rotor : 7560 Kg

B. Data Tanah

Tabel 1.
Data tanah

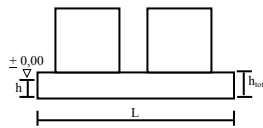
Depth (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm ²)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	No data	No data	No data

C. Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman Pondasi Mesin Terhadap Ketebalan Pondasi Mesin

C.1. Kelompok I

Direncanakan dimensi pondasi :

$B = 4,6 \text{ m}$ $L = 13 \text{ m}$



Gambar 2. Potongan melintang kelompok I

Tabel 2.

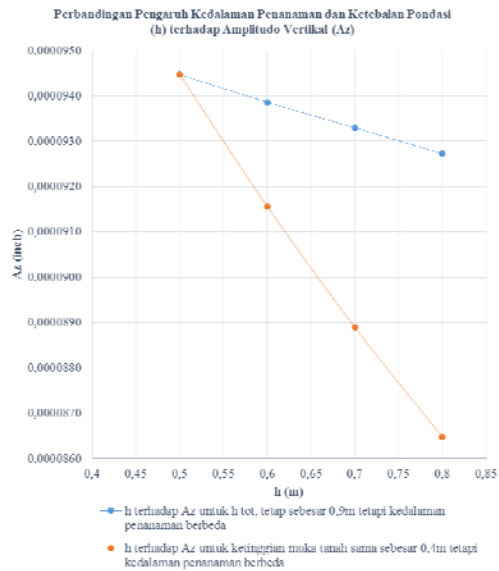
Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama				Ketebalan Pondasi Sama			
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch) (%)	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch) (%)
1	0,5	0,9	0,00009447		0,5	0,9	0,0000945	
2	0,6	1	0,00009156	0,00000291	0,6	0,9	0,0000939	0,0000006 1%
3	0,7	1,1	0,00008890	0,00000266	0,7	0,9	0,0000933	0,0000006 1%
4	0,8	1,2	0,00008648	0,00000242	0,8	0,9	0,0000927	0,0000006 1%

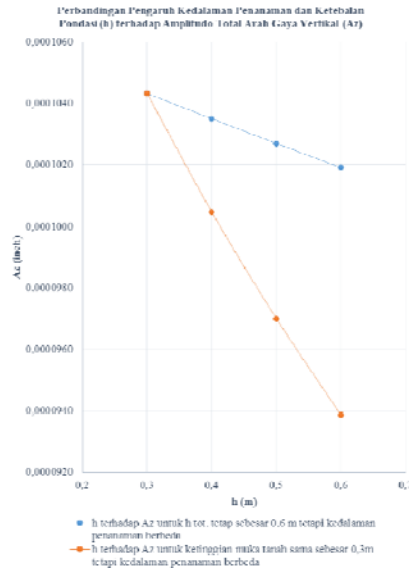
Tabel 3.

Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama				Ketebalan Pondasi Sama			
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch) (%)	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch) (%)
1	0,3	0,6	0,00010433		0,3	0,6	0,0001043	
2	0,4	0,7	0,00010047	0,00000386	0,4	0,6	0,0001035	0,0000008 1
3	0,5	0,8	0,00009700	0,00000347	0,5	0,6	0,0001027	0,0000008 1
4	0,6	0,9	0,00009386	0,00000314	0,6	0,6	0,0001019	0,0000008 1

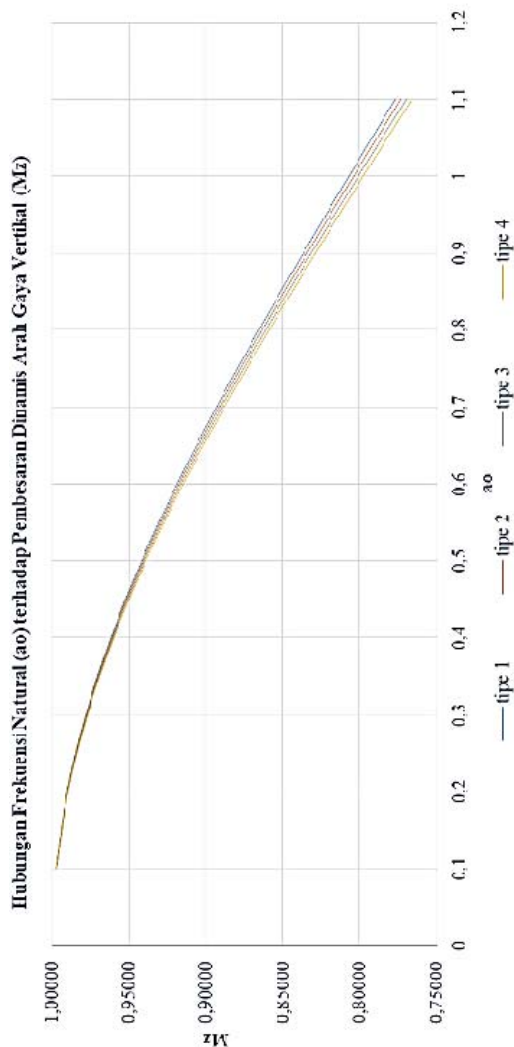


Gambar 3. Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (a_z) untuk kelompok I



Gambar 4. Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (a_z) untuk kelompok I

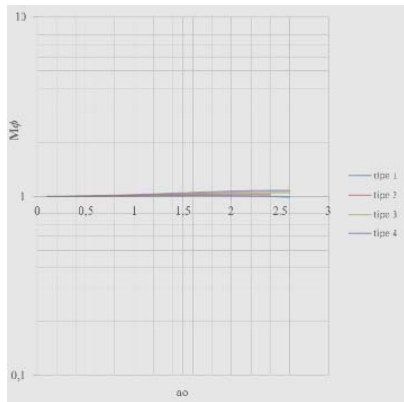
Maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap. Dibawah ini disajikan grafik untuk semua jenis mesin, dengan dimensi pondasi tetap $B=4,6 \text{ m}$, $L = 13 \text{ m}$ dan h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 2 dan 3. Dengan grafik pada gambar 5-10 cukup menghitung hingga a_o .



Gambar 5. Hubungan frekuensi natural (a_o) terhadap pembesaran dinamis arah gaya vertikal (M_z)

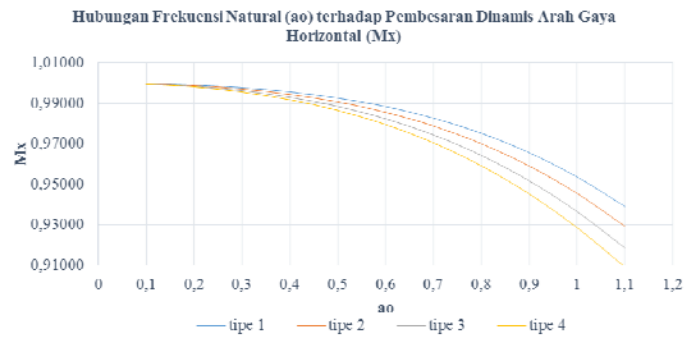
Ket: $B_z = 0,2$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 2.

Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)



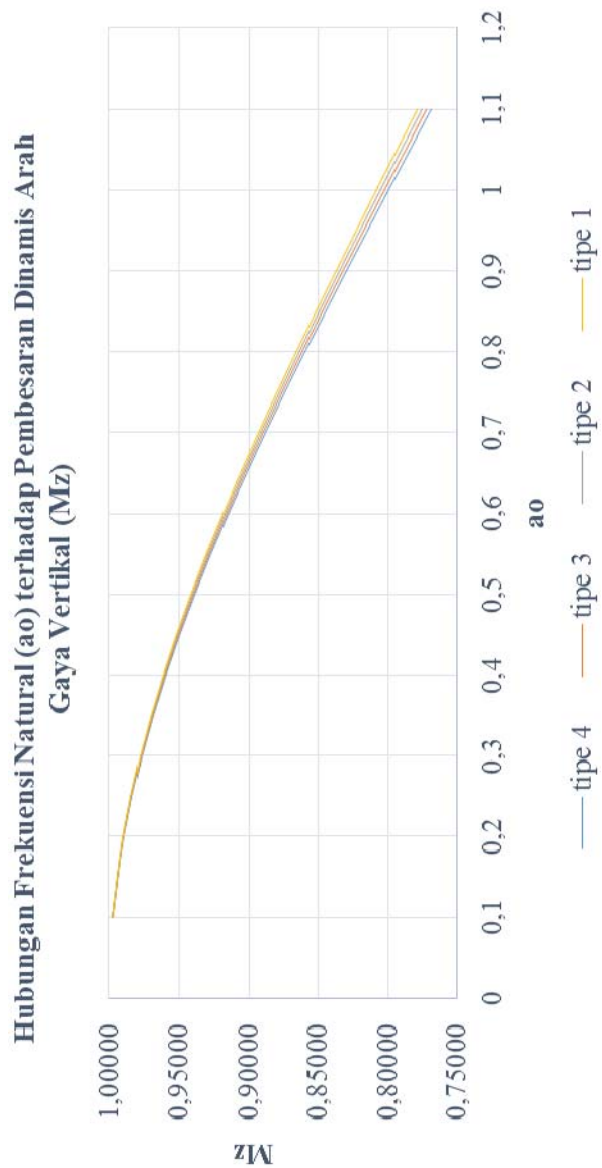
Gambar 6. Hubungan frekuensi natural (a_o) terhadap pembesaran dinamis arah gaya rocking (M_ϕ)

Ket: $B_\phi = 0,03$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 2.



Gambar 7. Hubungan frekuensi natural (a_o) terhadap pembesaran dinamis arah gaya horizontal (M_x)

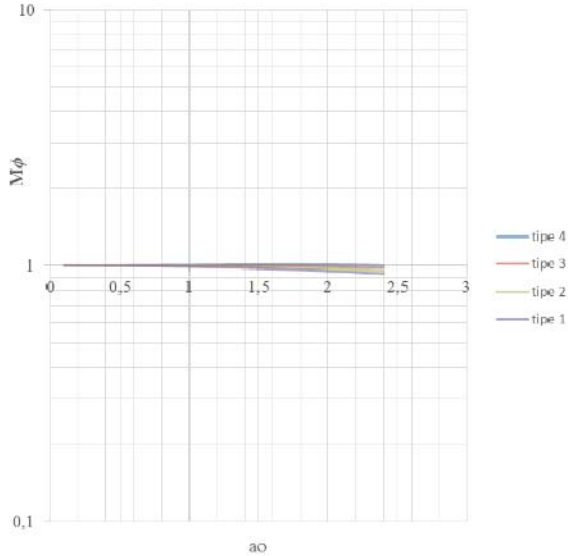
Ket: $B_x = 0,3$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 2.



Gambar 8. Hubungan frekuensi natural (a_o) terhadap pembesaran dinamis arah gaya vertikal (M_z)

Ket: $B_z = 0,2$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 3.

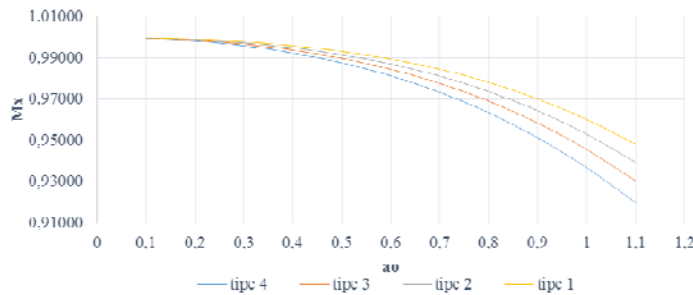
Hubungan Frekuensi Natural (a_0) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking ($M\phi$)



Gambar 9. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya rocking ($M\phi$)

Ket: $B\phi = 0,03$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 3.

Hubungan Frekuensi Natural (a_0) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx)



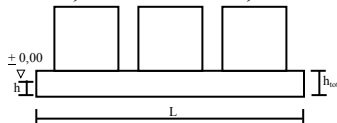
Gambar 10. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya horizontal (Mx)

Ket: $Bx = 0,3$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 3.

C.2. Kelompok II

Direncanakan pondasi:

$B = 4,6 \text{ m}$ $L = 19,5 \text{ m}$



Gambar 11. Potongan melintang kelompok II

Tabel 4.

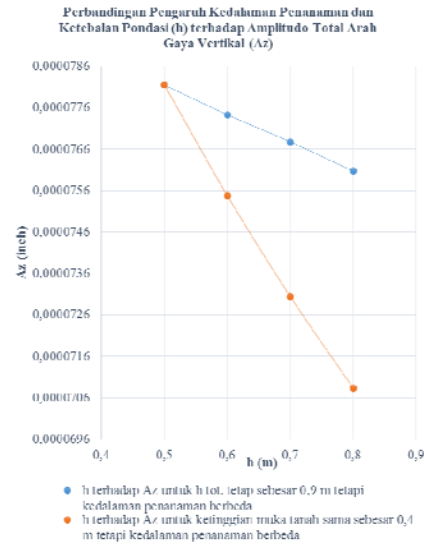
Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama				Ketebalan Pondasi Sama			
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az		h (m)	h tot (m)	Az (inch)
				(inch)	(%)			
1	0,5	0,9	0,0000781			0,5	0,9	0,0000781
2	0,6	1	0,0000755	0,0000027	3,54	0,6	0,9	0,0000774
3	0,7	1,1	0,0000730	0,0000024	3,33	0,7	0,9	0,0000768
4	0,8	1,2	0,0000708	0,0000022	3,12	0,8	0,9	0,0000761

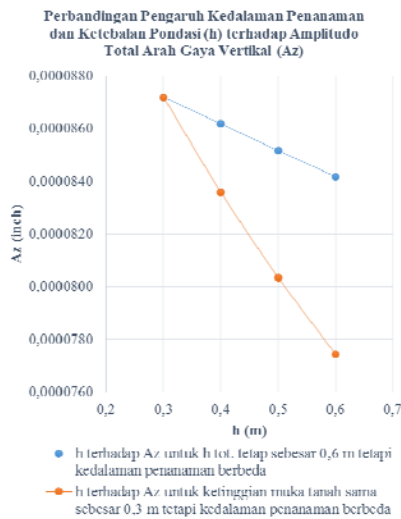
Tabel 5.

Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama				Ketebalan Pondasi Sama			
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az		h (m)	h tot (m)	Az (inch)
				(inch)	(%)			
1	0,3	0,6	0,0000872			0,3	0,6	0,0000872
2	0,4	0,7	0,0000836	0,0000036	4,33	0,4	0,6	0,0000862
3	0,5	0,8	0,0000803	0,0000032	4,02	0,5	0,6	0,0000852
4	0,6	0,9	0,0000774	0,0000029	3,77	0,6	0,6	0,0000842



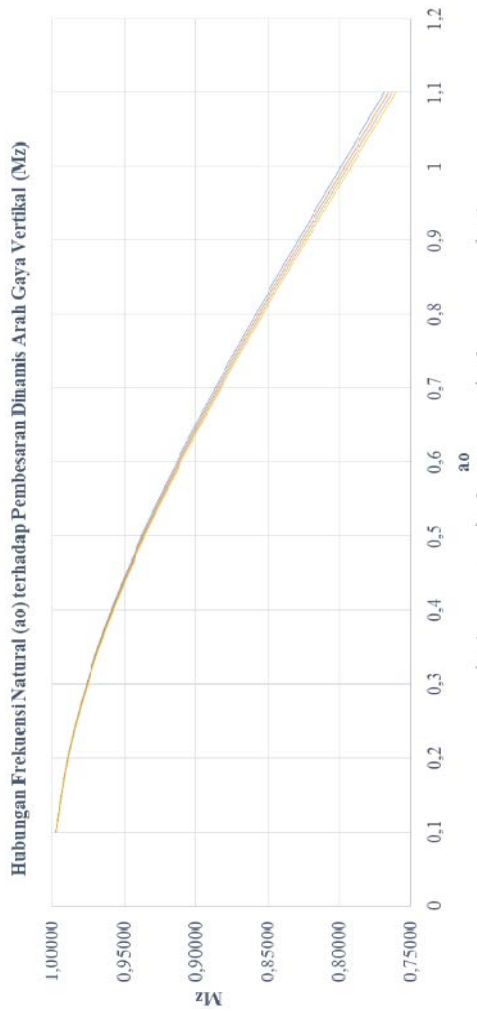
Gambar 12. Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (a_z) untuk kelompok II



Gambar 13. Perbandingan pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi terhadap amplitudo vertikal (a_z) untuk kelompok II

Hasil perbandingan ketebalan pondasi dan kedalaman penanaman pondasi pada kelompok II, sama hal nya dengan kelompok I yaitu merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap. Dibawah ini disajikan grafik untuk semua jenis mesin,

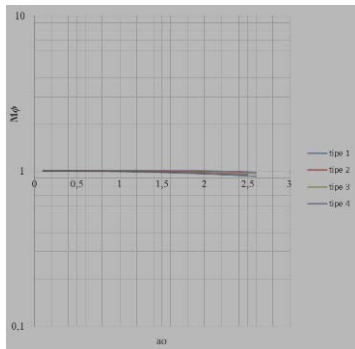
dengan dimensi pondasi tetap $B=4,6$ m, $L = 19,5$ m dan h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4 dan 5. Dengan grafik pada gambar 14-19 cukup menghitung hingga a_0 .



Gambar 14. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya vertikal (M_z)

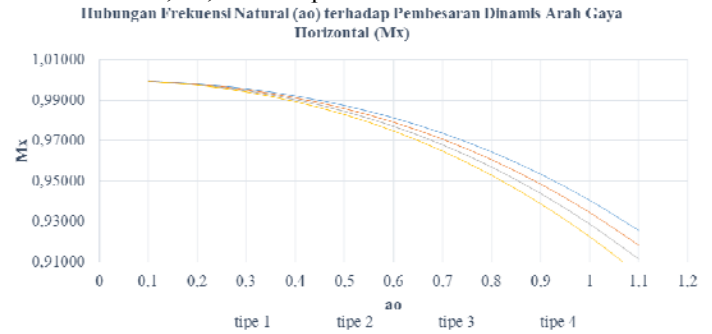
Ket: $B_z = 0,2$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 4.

Hubungan Frekuensi Natural (a_0) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)



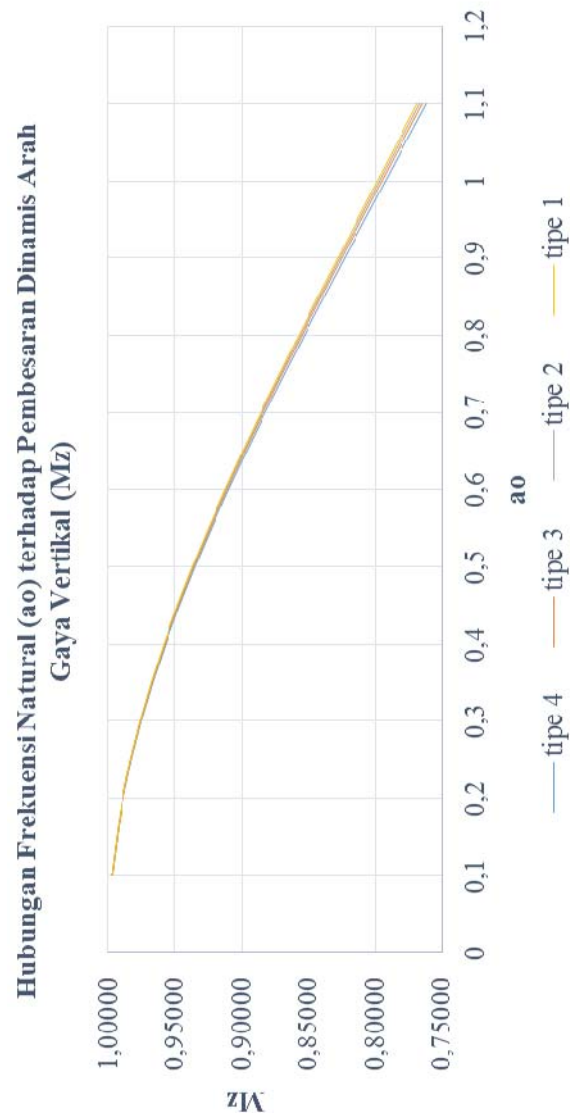
Gambar 15. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya rocking (M_ϕ)

Ket: $B_\phi = 0,02$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 4.



Gambar 16. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya horizontal (M_x)

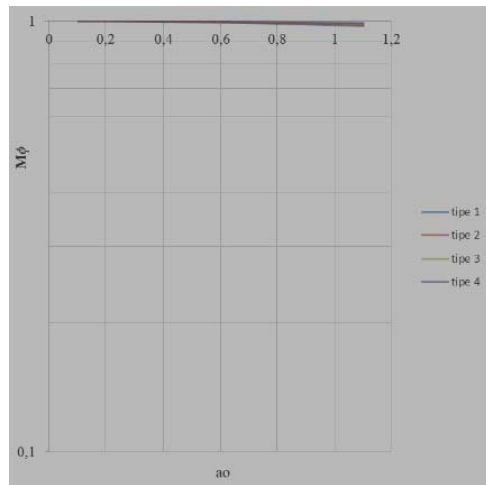
Ket: $B_x = 0,2$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 4.



Gambar 17. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya vertikal (M_z)

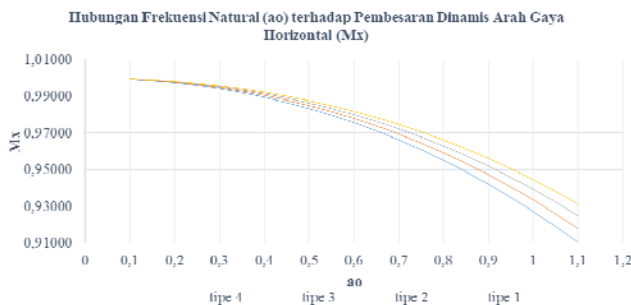
Ket: $B_z = 0,2$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 5.

Hubungan Frekuensi Natural (a_0) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)



Gambar 18. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya rocking (M_ϕ)

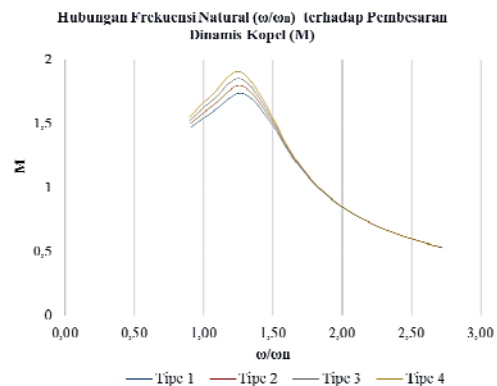
Ket: $B_\phi = 0,02$, untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 5.



Gambar 19. Hubungan frekuensi natural (a_0) terhadap pembesaran dinamis arah gaya horizontal (M_x)

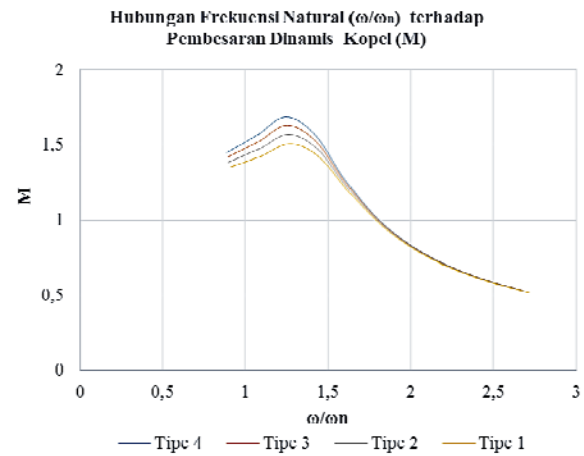
Ket: $B_x = 0,2$ untuk ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3m, dimensi pondasi sesuai no urut tabel 5.

Grafik 5-10 dan 14-19 hanya untuk mengetahui pembesaran dinamis terhadap masing-masing gaya vertikal, horizontal, dan rocking. Sedangkan gaya-gaya tersebut bekerja bersamaan. Dibawah ini grafik untuk pembesaran dinamis terhadap gaya kopel.



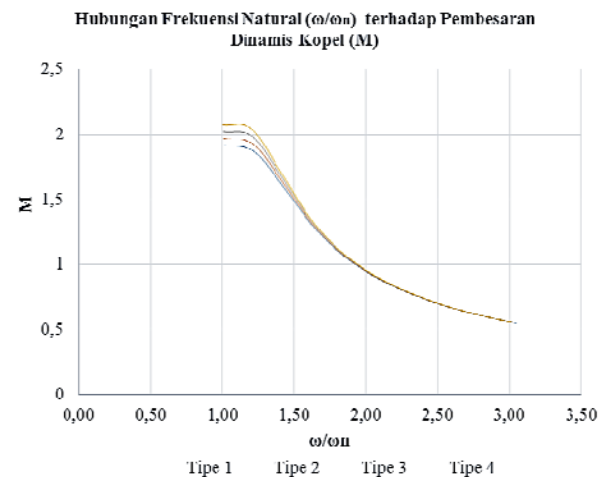
Gambar 20. Hubungan frekuensi natural (ω/ω_n) terhadap pembesaran dinamis kopel (M)

Ket: dimensi pondasi no urut pada tabel 2.



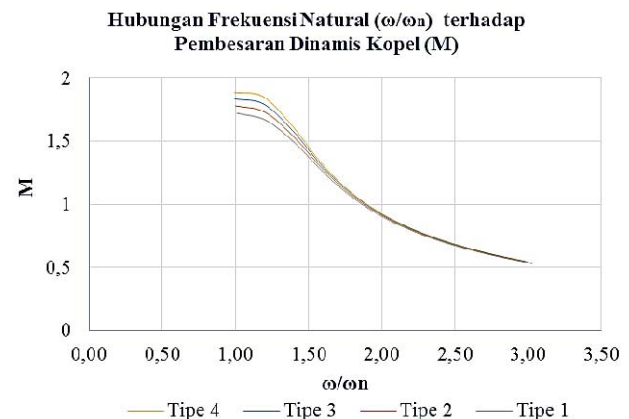
Gambar 21. Hubungan frekuensi natural (ω/ω_n) terhadap pembesaran dinamis kopel (M)

Ket: dimensi pondasi no urut pada tabel 3.



Gambar 22. Hubungan frekuensi natural (ω/ω_n) terhadap pembesaran dinamis kopel (M)

Ket: dimensi pondasi no urut pada tabel 4.



Gambar 23. Hubungan frekuensi natural (ω/ω_n) terhadap pembesaran dinamis kopel (M)

Ket: dimensi pondasi no urut pada tabel 5.

C.3. Kelompok I dan II

Sebenarnya kelompok I dan kelompok II tidak dapat dibandingkan. Dikarenakan jumlah mesin yang ditopang sudah berbeda. Tetapi hal ini tetap dibandingkan hanya untuk mengetahui ada pengaruh besar dimensi pondasi terhadap amplitudo arah gaya vertikal.

Tabel 6.

Perbandingan amplitudo kelompok I dengan II ketika ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,5	0,9	0,0000945	0,0000781
2.	0,6	0,9	0,0000939	0,0000774
3.	0,7	0,9	0,0000933	0,0000768
4.	0,8	0,9	0,0000927	0,0000761

Tabel 7.

Perbandingan amplitudo kelompok I dengan II ketika ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,3	0,6	0,0001043	0,0000872
2.	0,4	0,6	0,0001035	0,0000862
3.	0,5	0,6	0,0001027	0,0000852
4.	0,6	0,6	0,0001019	0,0000842

Tabel 8.

Perbandingan amplitudo kelompok I dengan II ketika ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,5	0,9	0,0000945	0,0000781
2.	0,6	1	0,0000916	0,0000755
3.	0,7	1,1	0,0000889	0,0000730
4.	0,8	1,2	0,0000865	0,0000708

Tabel 9.

Perbandingan amplitudo kelompok I dengan II ketika ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,3	0,6	0,0001043	0,0000872
2.	0,4	0,7	0,0001005	0,0000836
3.	0,5	0,8	0,0000970	0,0000803
4.	0,6	0,9	0,0000939	0,0000774

IV. KESIMPULAN

Hasil studi pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi mesin *steam turbin* pada proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Loan Korea Lombok Timur sebagai berikut:

1. Pondasi yang menopang tiga mesin (kelompok II) lebih kecil nilai amplitudo ketika ketebalan pondasi mesin tetap maupun ketebalan pondasi berbeda dibandingkan dengan pondasi yang menopang dua mesin (kelompok I). Hal ini dikarenakan dimensi pondasi (B x L) berbanding terbalik dengan amplitudo.
2. Pondasi dengan ketinggian tetap tetapi kedalaman penanaman berbeda, menghasilkan studi sebagai berikut:
 - a. Semakin dalam penanaman, semakin kecil nilai amplitudo kecepatan amplitudo, konstanta pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini dikarenakan kedalaman penanaman berbanding terbalik dengan nilai amplitudo.
 - b. Untuk ketinggian sebesar 0,4m, tetapi kedalaman penanaman berbeda selisih amplitudo konstan sebesar 0,2% sedangkan untuk ketinggian muka tanah 0,3m selisih amplitudo dengan interval 0,2% dan 0,3%.
3. Pondasi dengan ketebalan tetap tetapi kedalaman penanaman berbeda, menghasilkan studi sebagai berikut:
 - a. Perencanaan pondasi mesin dengan cara *trial error* dengan adanya studi ini, maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap.
 - b. Walaupun ketebalan pondasi 0,6m maupun 0,9m setiap penambahan kedalaman sebesar 0,1m nilai amplitudo berkurang secara konstan sebesar 1%.

V. SARAN

Dengan adanya studi ini dapat memberikan saran bagi perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:

1. Perencanaan pondasi mesin dengan cara *trial error* dengan adanya studi ini, maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap.
2. Studi ini selain untuk mengetahui pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi, juga dihasilkan grafik untuk segala jenis mesin dengan keadaan tanah yang sama dengan studi ini, untuk menghasilkan dimensi pondasi mesin yang lebih baik digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, J.E. & Hainim, J.K., 2004. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. (Edisi II). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2] Terzaghi, K. & B. Peck, R., 1993. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. (Jilid 1). Diterjemahkan oleh B. Witjaksono & B. Krisna R. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3] Prakash, S. & Chandrasekaran, V. 1997. *Free Vibration Characteristics of Piles*. (Vol. 2). Tokyo: Proc. Ninth. Int. Conf. Soil Mech.
- [4] Sidharta, A. Sigit. (2013). *Pondasi Beban Dinamis*. (Edisi VII). Surabaya: ITS.
- [5] Lysmer, J., Richart, F. ., & Jr. (1966). *Dynamic Response of Footing to Vertical Loading*. (Vol. 92) . ASCE: Div. J. Soil Mech and Found.
- [6] Arya, S. C., O'Neill, M. W., & Pincus, G. (1979). *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*. Texas: Gulf Publishing Company.
- [7] Das, B. M. (1985). *Mekanika Tanah*. (N. Endah & I. B. Mochtar, Eds.) (Jilid 2). Surabaya: Penerbit Erlangga.

- [8] Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah*. (N. Endah & I. B. Mochtar, Eds.) (Jilid 1). Surabaya: Penerbit Erlangga.
- [9] Kartikasari, M. D. (2012). Perencanaan Pondasi Gas Turbine Proyek Pembangunan Unit V PLTGU PT PLN Termal Muara Tawar Bekasi Jawa Barat. *Jurnal*, 3.