

Studi Pengaruh Beban Dinamis pada Perencanaan Pondasi Turbin dengan Studi Kasus Pondasi Turbin di Duri, Riau

Achmad Luqman Hadi Wikarta, Ananta Sigit Sidharta
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: ananta@ce.its.ac.id

Abstrak— Untuk merencanakan pondasi mesin, pada umumnya membutuhkan data-data dari mesin tersebut, meliputi letak titik berat mesin tersebut dan frekuensi yang dihasilkan mesin tersebut. Dari letak titik berat mesin, kita bisa mengetahui pengaruh beban dinamis terhadap letak garis kerjanya. Dari frekuensi yang dihasilkan dan amplitudo yang terjadi dari mesin, kita bisa mengetahui ukuran kelayakan dari suatu pondasi mesin. Karena frekuensi dan amplitudo yang terjadi, seringkali menimbulkan efek yang bervariasi, mulai dari ketidaknyamanan yang dirasakan oleh manusia yang berada di dekat mesin sampai kerusakan struktural serta kerusakan pada mesin itu sendiri.

Tetapi ada permasalahan dalam perencanaan pondasi mesin di Duri, Riau ini. Karena data-data dari mesin generator dan turbin tersebut, kurang lengkap. Sehingga untuk merencanakan pondasi mesin tersebut, diperlukan studi pengaruh dari mesin generator dan turbin tersebut serta dari setiap parameter atau variabel yang ada di lapangan dengan eksisting yang sudah ada.

Studi pengaruh meliputi dari berat rotor, elevasi titik berat, tebal pondasi dan posisi generator dan turbin pada momen rocking arah panjang. Setelah dilakukan studi pengaruh ternyata elevasi titik beratlah yang paling mempengaruhi struktur pondasi tersebut.

Kata Kunci—pondasi, turbin, generator, studi pengaruh

PENDAHULUAN

Pada tahun 2011, di Duri, Riau akan didatangkan mesin generator dan mesin turbin dari Jawa dan Madura, guna mengisi pasokan daya listrik di sana. Karena selama ini, tegangan listrik di Duri sangat rendah, sedangkan pasokan listrik dikirim melalui Sumatera Utara dan Sumatera Selatan. Jika ada gangguan sistem di daerah itu, maka tegangan listrik di Duri dipastikan akan terganggu dan akan dilakukan pemadaman. Tambahan daya ini juga akan memperkuat sistem kelistrikan di wilayah Riau, lebih meningkatkan *security* (keamanan) suplai listrik dan memperbesar cadangan daya yang tersedia sehingga pertumbuhan beban di Provinsi Riau akan dapat terlayani dengan lebih baik lagi. Sekaligus mensukseskan pasokan listrik pada saat pelaksanaan PON di Riau, antisipasi datangnya musim kemarau, serta menyelesaikan daftar tunggu konsumen listrik dan menciptakan lapangan kerja baru.

Seperti diketahui bahwa mesin-mesin seperti generator dan turbin ini menimbulkan getaran sehingga mengakibatkan terjadinya beban statis dan dinamis yang harus mampu dipikul oleh tanah dan struktur pondasi mesin di bawahnya. Selain itu perilaku pondasi yang mengalami beban dinamis yang diakibatkan oleh mesin akan mengalami pergerakan ke arah vertikal, horisontal transversal, horisontal longitudinal, rotasi dalam sumbu vertikal, rotasi dalam sumbu longitudinal dan rotasi dalam sumbu transversal. Sehubungan dengan itu, maka

di Duri, Riau, juga direncanakan membangun pondasi mesin tersebut, agar tidak ada kerusakan struktur pada lokasi mesin ditempatkan maupun pada struktur yang berdekatan, tidak ada kerusakan pada mesin itu sendiri, tidak menimbulkan gangguan bagi pekerja dalam mengoperasikan maupun memeriksa mesin, tidak menimbulkan gangguan kesehatan maupun ketidaknyamanan bagi orang-orang dalam lingkungan sekitarnya.

Untuk merencanakan pondasi mesin, pada umumnya membutuhkan data-data dari mesin tersebut, meliputi letak titik berat mesin tersebut dan frekuensi yang dihasilkan mesin tersebut. Dari letak titik berat mesin, kita bisa mengetahui pengaruh beban dinamis terhadap letak garis kerjanya. Dari frekuensi yang dihasilkan dan amplitudo yang terjadi dari mesin, kita bisa mengetahui ukuran kelayakan dari suatu pondasi mesin. Karena frekuensi dan amplitudo yang terjadi, seringkali menimbulkan efek yang bervariasi, mulai dari ketidaknyamanan yang dirasakan oleh manusia yang berada di dekat mesin sampai kerusakan struktural serta kerusakan pada mesin itu sendiri.

Tetapi ada permasalahan dalam perencanaan pondasi mesin di Duri, Riau ini. Karena data-data dari mesin generator dan turbin tersebut, kurang lengkap. Sehingga untuk merencanakan pondasi mesin tersebut, diperlukan studi pengaruh dari mesin generator dan turbin tersebut serta dari setiap parameter atau variabel yang ada di lapangan dengan eksisting yang sudah ada.

Pada akhirnya, penulis mencoba untuk menentukan pengaruh dari beban dinamis yang ditimbulkan oleh mesin generator dan turbin pada perencanaan pondasi dengan studi kasus pondasi turbin di Duri, Riau tersebut. Penulis berharap tulisan ini dapat digunakan sebagai masukan atau referensi untuk perencanaan pondasi turbin.

Perumusan Masalah

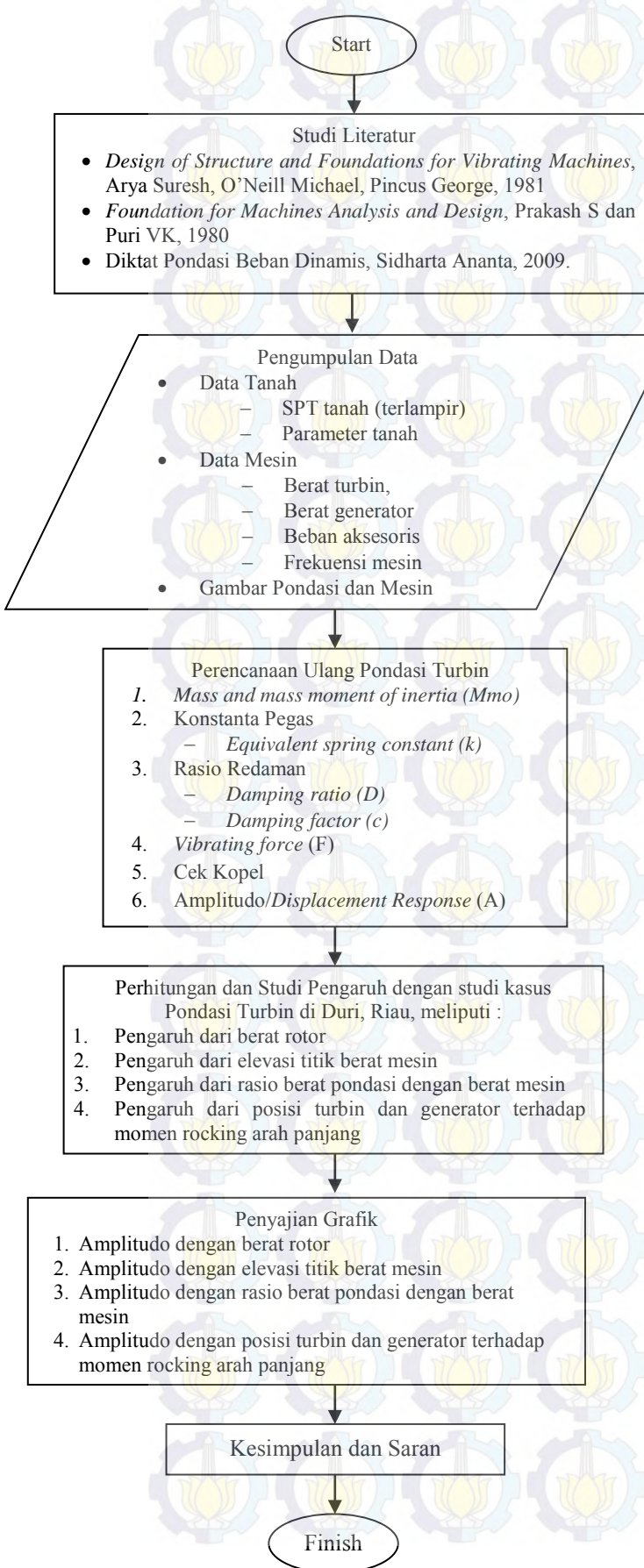
Hal-hal yang menjadi permasalahan utama dalam Tugas Akhir ini adalah :

Apakah yang paling berpengaruh dalam perencanaan pondasi turbin di Duri, Riau?

Rincian permasalahan :

1. Bagaimanakah pengaruh dari posisi berat rotor?
2. Bagaimanakah pengaruh dari elevasi titik berat dari mesin generator dan turbin tersebut?
3. Bagaimanakah pengaruh dari rasio mesin dengan pondasi?
4. Bagaimanakah pengaruh dari posisi turbin dan generator terhadap momen rocking arah panjang?

METODOLOGI

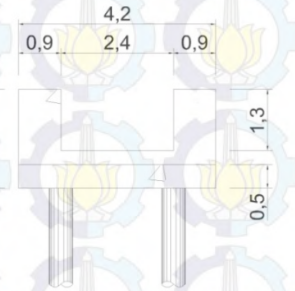


HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan potongan dari pondasi mesin yang akan dilakukan studi pengaruh. Dari potongan memanjang dan melintang ini, kita bisa menghitung besar volume, berat serta *mass moment of inertia* dari pondasi tersebut.



Gambar 1 Potongan Memanjang



Gambar 2 Potongan Melintang

Tabel 1. Nilai Volume, Berat, M_{max}, M_{moy}

| Nama | Volume (m ³) | Berat (kg) | M _{max} (kg.m.detik ²) | M _{moy} (kg.m.detik ²) |
|-------|--------------------------|------------|---|---|
| 1 | 197,568 | 474163,2 | 3455859,456 | 110163,917 |
| 2 | 15,708 | 37699,2 | 479973,522 | 5855,942 |
| 3 | 9,954 | 23889,6 | 374804,810 | 3710,851 |
| 4 | -15,912 | -38188,8 | -495588,787 | -5817,427 |
| 5 | -7,238 | -17372,16 | -280146 | -2646,359 |
| mesin | | 270000 | 243000 | 243000 |
| total | | 750191,04 | 3777903,001 | 354266,924 |

Keterangan:

- Pile cap 1* : *pile cap* secara keseluruhan
- Pile cap 2* : penebalan panjang
- Pile cap 3* : penebalan pendek
- Pile cap 4* : lubang kiri/panjang
- Pile cap 5* : lubang kanan/pendek

Diketahui data-data sebagai berikut:

- Modulus Elastisitas Pile (E_p) = 2000000000 kg/m²
- Jumlah Tiang = 22 tiang
- Modulus Geser soil (G_s) = 3000000 kg/m²
- Modulus Geser backfill (G_b) = 4000000 kg/m²
- Diameter pile (d) = 0,5 meter
- Jari-jari ekuivalen pile (r_o) = 0,25 meter
- Panjang pile (l) = 36 meter
- Berat jenis soil (γ_s) = 1600 kg/m³
- Berat jenis pile (γ_p) = 2400 kg/m³
- Poiton ratio (ν) = 0,4
- Percepatan gravitasi (g) = 10 m/detik²

Setelah diketahui besar mass momen of inertia, luas dan berat dari pondasi tersebut dilakukan perhitungan *Equivalent Spring Constant (k)*, *Damping factor (c)*, *Damping ratio (D)*

Tabel 2. Equivalent Spring Constant

| Equivalent Spring Constant (k) | | |
|--|---|---|
| Vertikal | Horizontal | Rocking |
| <p>Single pile</p> $k_z^1 = (E_p A / r_o) f_{11,z}$ <p>= 56548667,76 kg/m</p> <p>Pile group</p> $k_z^g = \sum \frac{k_z^1}{\alpha_A}$ <p>= 151222540 kg/m</p> <p>Pada pile cap</p> $k_z^2 = G_c h_s S_2$ <p>= 15120000 kg/m</p> <p>Total</p> <p>= 166342540 kg/m</p> | <p>Single pile</p> $k_x^1 = \left(\frac{E_p I}{r_o^3}\right) f_{11,x}$ <p>= 11935287,7 kg/m</p> <p>Pile group</p> $k_x^g = \sum \frac{k_x^1}{\alpha_L}$ <p>= 45713538 kg/m</p> <p>Pada pile cap</p> $k_x^2 = G_c h_s S_{21}$ <p>= 22960000 kg/m</p> <p>Total</p> <p>= 68673538 kg/m</p> | <p>Single pile</p> $k_\phi^1 = \left(\frac{E_p I}{r_o}\right) f_{1,z}$ <p>= 8882221,872 kg/m</p> <p>Pile group</p> $k_\phi^g = \sum \left[k_\phi^1 + k_z^1 r_o^2 + k_x^1 z_c^2 - 2z_c k_{z\phi}^1 \right]$ <p>= 3,063 . 10⁸ kg.m</p> <p>Pada pile cap</p> $k_\phi^2 = G_c h_s^3 \left[\frac{\delta^2}{3} + \left(\frac{z_c}{r_o}\right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o}\right) \right] S_{23}$ <p>= 1,058 . 10⁸ kg.m</p> <p>Total</p> <p>= 3169050263 kg.m</p> |

Tabel 3. Damping Factor (c)

| Damping factor (c) | | |
|--|--|---|
| Vertikal | Horizontal | Rocking |
| <p>Single pile</p> $c_z^1 = \left(\frac{E_p A}{V_s}\right) f_{18,z}$ <p>= 157732,773 kg.s/m</p> <p>Pile group</p> $c_z^g = \sum \frac{c_z^1}{\alpha_A}$ <p>= 421089,24 kg.s/m</p> <p>Pada pile cap</p> $c_z^2 = h_s r_o \sqrt{\frac{G_c \gamma_s}{g} S_2}$ <p>= 1487702,86 kg.s/m</p> <p>Total</p> <p>= 1909512,1 kg.s/m</p> | <p>Single pile</p> $c_x^1 = \left(\frac{E_p I}{V_s^2}\right) f_{11,x}$ <p>= 51696,357 kg.s/m</p> <p>Pile group</p> $c_x^g = \sum \frac{c_x^1}{\alpha_L}$ <p>= 198003,05 kg.s/m</p> <p>Pada pile cap</p> $c_x^2 = h_s r_o \sqrt{\frac{G_c \gamma_s}{g} S_{12}}$ <p>= 2353679,16 kg.s/m</p> <p>Total</p> <p>= 2551682,2 kg.s/m</p> | <p>Single pile</p> $c_\phi^1 = \left(\frac{E_p I}{V_s}\right) f_{1,z}$ <p>= 11312,68 kg.s/m</p> <p>Pile group</p> $c_\phi^g = \sum \left[c_\phi^1 + c_z^1 r_o^2 + c_x^1 z_c^2 - 2z_c c_{z\phi}^1 \right]$ <p>= 9086429,5 kg.s.m</p> <p>Pada pile cap</p> $c_\phi^2 = \delta r_o^3 \sqrt{G_c \gamma_s / g} \left[\frac{\delta^2}{3} + \left(\frac{z_c}{r_o}\right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o}\right) \right] S_{23}$ <p>= 15224324 kg.s.m</p> <p>Total</p> <p>= 24310753,93 kg.s.m</p> |

Tabel 4. Damping Ratio

| Damping Ratio (D) | | |
|--|---|---|
| Vertikal | Horizontal | Rocking |
| $D_z^g = \frac{\sum c_z^g}{2 \sqrt{\sum k_z^g \sum m_z \sum \alpha_A}}$ <p>= 0,27027</p> | $D_x^g = \frac{\sum c_x^g}{2 \sqrt{\sum k_x^g \sum m_x \sum \alpha_L}}$ <p>= 0,5621</p> | $D_\phi^g = \frac{\sum c_\phi^g}{2 \sqrt{\sum k_\phi^g \sum M_{moy}}}$ <p>= 0,5041</p> $D_\phi^g = \frac{\sum c_\phi^g}{2 \sqrt{\sum k_\phi^g \sum M_{max}}}$ <p>= 0,1137</p> |

Analisa berat rotor

- Berat Turbin (W_{turbin}) = 80000 kg
- Berat Generator (W_{generator}) = 90000 kg
- Berat Rotor Turbin = 20% x W_{turbin}
- = 20% x 80000 kg
- = 16000 kg

- Berat Rotor Generator = 16% x W_{generator}
- = 16% x 90000 kg
- = 14400 kg
- Massa Rotor Turbin = 16000 kg/10 m²
- = 1600 kg. s²/m
- Massa Rotor Generator = 14400 kg/10 m²
- = 1440 kg. s²/m
- Vibrating Force
- Eksentrisitas (e) = 0.05 mm
- Pz (gaya sentrifugal) = m_{rotor} . e . ω²
- = (1600 + 1440) .. (314,519)
- = 15001,80 kg
- Px = 15001,80 kg
- My = 15001,80 kg x 3 meter
- = 45005,396 kgm

Dari nilai equivalent spring constant kita dapat menghitung frekuensi natural yang terjadi.

Tabel 5. Natural Frekuensi

| Parameters | Vertikal | Horizontal | Rocking |
|-------------------|---|---|--|
| Natural Frekuensi | $f_{nz} = \frac{\sqrt{k_z / M_z}}{2\pi}$ <p>= 7,49 cps</p> $\omega_{nz} = 2\pi f_{nz}$ <p>= 47,089 rad/dt</p> | $f_{nx} = \frac{\sqrt{k_x / M_x}}{2\pi}$ <p>= 4,82 cps</p> $\omega_{nx} = 2\pi f_{nx}$ <p>= 30,826 rad/dt</p> | $f_{n\phi} = \frac{\sqrt{k_\phi / M_\phi}}{2\pi}$ <p>= 15,1 cps</p> $\omega_{n\phi} = 2\pi f_{n\phi}$ <p>= 94,580 rad/dt</p> |

Nilai frekuensi natural ini, menentukan apakah perlu dilakukan analisa kopel. Berikut syarat cek kopel

Syarat Cek Kopel:

$$\frac{\sqrt{f_{nx}^2 + f_{n\phi}^2}}{f_{nz} + f_{n\phi}} \leq \frac{2}{3 \cdot f_{mesin}}$$

$$\frac{\sqrt{4,82^2 + 15,1^2}}{4,82 + 15,1} \leq \frac{2}{3 \cdot 3000/60}$$

0,218 ≤ 0,0133 (Not OK)
Maka, perlu dilakukan analisa Kopel

Dari syarat cek kopel di atas, didapatkan bahwa perlu dilakukan analisa kopel. Berikut perhitungan analisa kopel.

$$M_m = M_{moy} - L^2 \times M_{total}$$

$$= 354266,924 - (1,494)^2 \times 750191,04/10$$

$$= 186712,493 \text{ kg.m.s}^2$$

$$\gamma = \frac{M_m}{M_{moy}} = \frac{186712,493}{354266,924} = 0,527$$

$$\Delta(\omega^2) = \left\{ \omega^4 - \omega^2 \left(\frac{\omega_{nz}^2 + \omega_{nx}^2}{\gamma} - \frac{4D_x D_\phi \omega_{nz} \omega_{nx}}{\gamma} + \frac{\omega_{nz}^2 \omega_{nx}^2}{\gamma} \right) + 4 \left(\frac{D_x \omega_{nz} \omega}{\gamma} (\omega_{nz}^2 - \omega^2) + \frac{D_\phi \omega_{nx} \omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta(\omega^2) = 8,711 \cdot 10^9$$

$$A_x = \frac{M_y L \{ (\omega_{nx}^2) + (2D_x \omega_{nx})^2 \}^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega^2)}$$

$$= 0,00000007 \text{ inch} = 0,00000019 \text{ cm}$$

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

$$= 0,00000272 \text{ radial}$$

$$A_x = \frac{P_x}{mM_m} \frac{\{(-M_m \omega^2 + k_{\phi} + L^2 k_x)^2 + 4\omega^2 (D_{\phi} \sqrt{k_{\phi} M_{m0}} + L^2 D_x \sqrt{k_x m})^2\}^{\frac{1}{2}}}{\Delta(\omega^2)}$$

$$= 0,00009461 \text{ inch} = 0,00024030 \text{ cm}$$

$$A_x = \frac{P_x L \omega_{nx} (\omega_{nx}^2 + 4D_x \omega^2)^{\frac{1}{2}}}{M_m \Delta(\omega^2)}$$

$$= 0,00000020 \text{ radial}$$

- Total Amplitudo Vertikal

$$A_v = Z_o + \frac{1}{2} L \cdot \phi_o$$

$$= 0,00032265 \text{ inch} = 0,008195345 \text{ mm (OK)}$$

Batasan amplitudo vertikal :

$$0,00118110 \text{ inch} = 30 \mu\text{m}$$

- Total Amplitudo Horizontal

$$A_v = X_o + L_m \cdot \phi_o$$

$$= 0,00043939 \text{ inch} = 0,011160406 \text{ mm (OK)}$$

Batasan amplitudo horisontal :

$$0,00196850 \text{ inch} = 50 \mu\text{m}$$

Berikut ini hasil dari perencanaan ulang pondasi

Tabel 6. Hasil dari Perencanaan Ulang Pondasi

| No | Parameter | Vertikal | Horisontal | Rocking |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Equivalent Spring Constant (k) kg/m | 166342540 kg/m | 68673538 kg/m | 316905026 3 kgm |
| 2 | Damping Ratio (D) | 0,27027 | 0,5621 | 0,5041 (pendek) 0,1137 (panjang) |
| 3 | Unbalance d Force | 15001,80 kg | 15001,80 kg | 45005,396 kgm |
| 4 | Displacement response (A) | 0,00032265 inch = 0,00819534 5 mm | 0,0004399 inch = 0,01116040 6 mm | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

Setelah didapatkan perencanaan ulang pondasi, dilakukan studi pengaruh yang meliputi :

1. Pengaruh dari berat rotor
2. Pengaruh dari elevasi titik berat mesin terhadap pondasi
3. Pengaruh dari penebalan pondasi
4. Pengaruh dari posisi turbin dan generator terhadap momen rocking arah panjang.

Setiap parameter pengaruh di atas dilakukan perhitungan dengan perhitungan yang sama seperti perencanaan ulang pondasi, hanya mengubah besar variabel dari setiap parameter yang ada. Dan berikut ini hasil dari perhitungan besar amplitudo terhadap setiap studi pengaruh di atas.

Tabel 7. Besar Amplitudo dari Pengaruh Berat Rotor

| berat rotor | | Vibrating Force | | amplitudo (inch) | |
|-------------------|----------------|-----------------|-----------|------------------|------------|
| generator | turbin | Pz = Px (kg) | My (kg.m) | vertikal | lateral |
| 12% . W generator | 16% . W turbin | 11646.133 | 34938.400 | 0.00025045 | 0.00034110 |
| 14% . W generator | 18% . W turbin | 13323.966 | 39971.898 | 0.00028657 | 0.00039024 |
| 16% . W generator | 20% . W turbin | 15001.80 | 45005.396 | 0.00032252 | 0.00043909 |
| 18% . W generator | 22% . W turbin | 16679.631 | 50038.894 | 0.00035874 | 0.00048853 |
| 20% . W generator | 24% . W turbin | 18357.464 | 55072.393 | 0.00039482 | 0.00053767 |

Tabel 8. Besar Amplitudo dari Pengaruh Elevasi Titik Berat

| elevasi titik berat | amplitudo (inch) | |
|---------------------|------------------|------------|
| | vertikal | lateral |
| 1 meter | 0.00033494 | 0.00041306 |
| 1.2 meter | 0.00032931 | 0.00042739 |
| 1.4 meter | 0.00032252 | 0.00043909 |
| 1.6 meter | 0.00031535 | 0.00044938 |
| 1.8 meter | 0.00030772 | 0.00045767 |

Tabel 9. Besar Amplitudo dari Pengaruh Penebalan Pondasi

| penebalan | amplitudo (inch) | |
|-----------|------------------|------------|
| | vertikal | lateral |
| 1.4 meter | 0.00035782 | 0.00046418 |
| 1.5 meter | 0.00033921 | 0.00045082 |
| 1.6 meter | 0.00032252 | 0.00043909 |
| 1.7 meter | 0.00030806 | 0.00042938 |
| 1.8 meter | 0.00029480 | 0.00042057 |

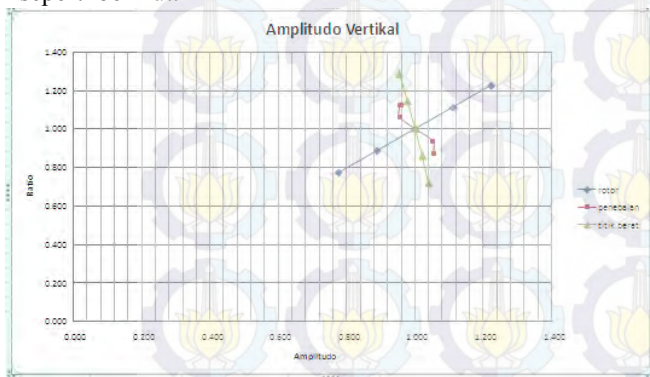
Tabel 10. Besar Amplitudo dari Pengaruh Posisi Generator

| generator (m) | amplitudo (inch) | |
|---------------|------------------|------------|
| | vertikal | lateral |
| 3 | 0.00004869 | 0.00005225 |
| 4 | 0.00004968 | 0.00005370 |
| 5 | 0.00005046 | 0.00005481 |

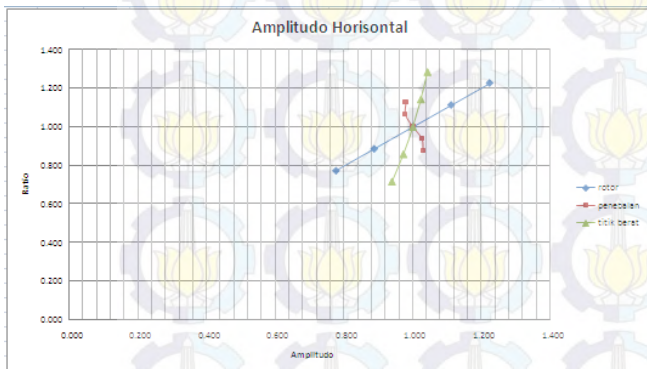
Tabel 11. Besar Amplitudo dari Pengaruh Posisi Turbin

| turbin (m) | amplitudo (inch) | |
|------------|------------------|------------|
| | vertikal | lateral |
| 4.5 | 0.00005515 | 0.00005957 |
| 5.5 | 0.00005588 | 0.00006066 |
| 6.5 | 0.00005640 | 0.00006140 |

Dari tabel 7, 8, dan 9 jika disajikan dalam grafik, maka seperti berikut.

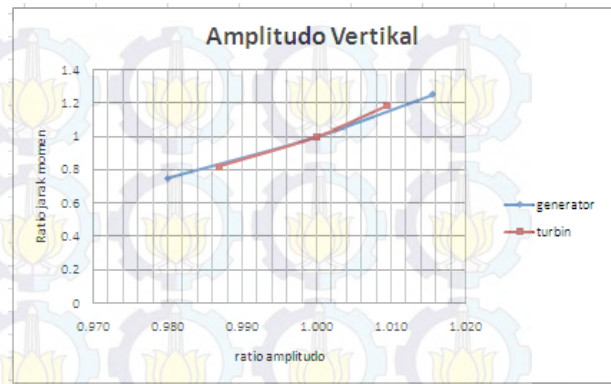


Gambar 3. Amplitudo Vertikal dari Ratio Amplitudo VS Ratio Berat Rotor, Elevasi Titik Berat dan Penebalan Pondasi

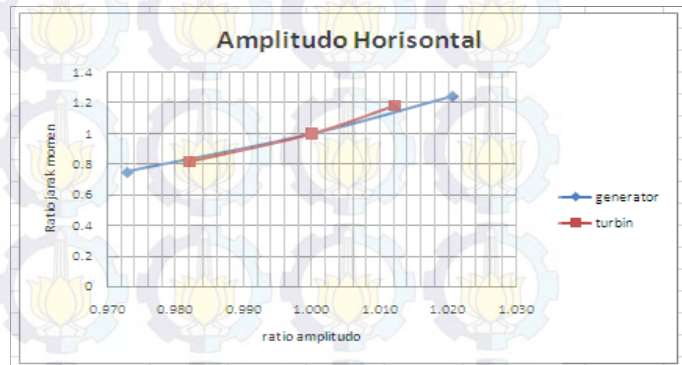


Gambar 4. Amplitudo Horizontal dari Ratio Amplitudo VS Ratio Berat Rotor, Elevasi Titik Berat dan Penebalan Pondasi

Selanjutnya dari tabel 10 dan 11, jika disajikan dalam grafik, maka hasilnya seperti berikut.



Gambar 4. Amplitudo Vertikal dari Ratio Amplitudo VS Ratio Jarak Momen



Gambar 5. Amplitudo Horizontal dari Ratio Amplitudo VS Ratio Jarak Momen

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan studi pengaruh pondasi turbin, maka dapat disimpulkan bahwa, sebagai berikut :

1. Dari hasil perencanaan ulang pondasi turbin, dengan berat rotor turbin 20% dari W_{turbin} , berat rotor generator 16% dari $W_{generator}$, elevasi titik berat mesin 1,4 meter, serta tebal pondasi 1,6 meter, didapatkan amplitudo yang terjadi sebesar 0,00032265 inch untuk vertikal ($30\mu m$) dan 0,0004399 inch untuk horizontal ($50\mu m$)
2. Berdasarkan hasil studi pengaruh dari berat rotor turbin dan generator, amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal dan horizontal semakin besar jika berat rotor juga diperbesar dari perencanaan ulang sudah ada , yaitu 0.00035874 inch dan 0.00039482 inch untuk arah vertikal sedangkan untuk arah horizontal yaitu 0.00048853 inch dan 0.00053767 inch. Lalu jika berat rotor diturunkan, maka amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal dan horizontal juga mengalami penurunan, yaitu 0.00025045 inch dan 0.00028657 untuk arah vertical sedangkan untuk arah horizontal 0.00034110 inch dan 0.00039024 inch.
3. Hasil studi pengaruh dari elevasi titik berat mesin, amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal berbanding terbalik dengan terbalik dengan besar elevasi titik berat mesin.

Dimana ketika elevasi titik berat mesin dikecilkan maka besar amplitudo arah vertikal semakin besar yaitu 0.00032931 inch dan 0.00033494 inch. Untuk amplitudo arah horizontal, ketika elevasi titik berat mesin dikecilkan maka besar amplitudonya berbanding lurus, juga mengalami penurunan yaitu 0.00041306 inch dan 0.00042739 inch.

4. Untuk hasil studi pengaruh dari penebalan pondasi, amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal dan horisontal semakin besar jika tebal pondasi ditipiskan dari perencanaan ulang sudah ada, yaitu 0.00033921 inch dan 0.00035782 inch untuk arah vertikal sedangkan untuk arah horizontal yaitu 0.00045082 inch dan 0.00046418 inch. Lalu jika tebal pondasi ditebalkan, maka amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal dan horisontal mengalami penurunan, yaitu 0.00029480 inch dan 0.00030806 inch untuk arah vertical sedangkan untuk arah horizontal 0.00042057 inch dan 0.00042938 inch.
5. Hasil studi pengaruh dari posisi turbin dan generator terhadap momen rocking arah panjang, amplitudo yang terjadi akibat dari generator yang posisinya 3 meter, 4 meter dan 5 meter dari acuan, yaitu 0.00004869 inch, 0.00004968 inch dan 0.00005046 inch untuk arah vertical. Untuk amplitudo arah horizontal akibat generator yaitu 0.00005225 inch, 0.00005370 inch dan 0.00005481 inch. Sedangkan akibat dari turbin yang posisinya 4,5 meter, 5,5 meter dan 6,5 meter dari acuan, yaitu 0.00005515 inch, 0.00005588 inch dan 0.00005640 inch untuk arah vertikal. Untuk amplitudo arah horizontal akibat generator yaitu 0.00005957 inch, 0.00006066 inch dan 0.00006140 inch.
6. Dari penyajian grafik pada gambar 5.2 dan 5.3 didapatkan bahwa hal yang paling berpengaruh dalam perencanaan pondasi turbin di Duri, Riau adalah berat rotor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arya, Suresh. 1981. **Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines**. Texas: Gulf Publishing Company
- [2] Bowles, J.E. 1977. **Foundation Analysis and Design**. McGraw-Hill Book Company, chapter 20
- [3] Mitsubishi Heavy Industries. **Gas Turbine Foundation Structural Calculation Sheet**. Gresik. 1990
- [4] Prakash, S dan Puri, VK. 1980. **Foundation for Machines Analysis and Design**. John Wiley & Son Inc, chapter 10, 11, dan 14

[5] Richart F.E dan Wood R.D. 1970. **Vibration of Soils and Foundations**. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, chapter 7, 8, dan 9

[6] Sidharta, Ananta. 2009. **Diktat Kuliah Pondasi Beban Dinamis Edisi 6**. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

[7] Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS