

## PERENCANAAN PONDASI DINAMIS MESIN PRODUKSI TEMBAGA PT. BATUTUA KHARISMA PERMAI

Julen Jessica Ahab<sup>1</sup>, Nur Ayu Diana<sup>2\*</sup>, Teguh Widodo<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jogjakarta

Jl. Tentara Rakyat Mataram No.55-57, Bumijo, Kec.Jetis, Kota Yogyakarta 55231

E-mail: [lenorajuly@gmail.com](mailto:lenorajuly@gmail.com)<sup>1</sup> [nurayu@janabadra.ac.id](mailto:nurayu@janabadra.ac.id)<sup>2\*</sup> [teguh\\_widodo@janabadra.ac.id](mailto:teguh_widodo@janabadra.ac.id)<sup>3</sup>.

(\*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 19 Juni 2025, Direvisi: 08 Juli 2025, Diterima: 19 Agustus 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i2.4572>

**ABSTRAK:** Pondasi merupakan elemen struktural yang memiliki peran penting dalam menopang dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah dasar secara aman dan stabil. Dalam konteks mesin produksi, terutama mesin yang bekerja secara kontinu seperti *generator set*, perencanaan pondasi tidak hanya memperhatikan beban statis, tetapi juga beban dinamis yang ditimbulkan selama proses operasional. Beban dinamis dapat menimbulkan getaran yang berpotensi mengganggu kenyamanan, merusak struktur, atau menurunkan kinerja mesin jika tidak ditangani dengan tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang pondasi dinamis yang mampu meredam getaran dan menjaga stabilitas sistem. Metode yang digunakan mencakup perhitungan gaya dinamis mesin, analisis respons dinamis pondasi, serta evaluasi amplitudo getaran baik secara vertikal maupun horizontal. Studi kasus dilakukan pada mesin *generator set* dengan frekuensi operasi 450 rpm. Hasil perancangan menunjukkan bahwa pondasi dengan dimensi 1,5 m × 1 m × 1 m mampu meredam getaran dengan baik. Amplitudo vertikal yang dihasilkan sebesar 0,00000157 in, tergolong dalam kategori “*not noticable to persons*”, sedangkan amplitudo horizontal sebesar 0,00000083 in berada dalam zona “*extremely smooth*”. Kedua nilai tersebut masih dalam batas aman sesuai standar perencanaan pondasi dinamis, sehingga desain yang diusulkan dinyatakan layak secara teknis dan efektif untuk mendukung mesin produksi.

**KATA KUNCI :** *getaran mesin, pondasi dinamis*

### 1. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan elemen penting dalam struktur teknik yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari bangunan atas ke tanah pendukung secara aman dan stabil. Berbeda dengan pondasi untuk struktur bangunan statis, pondasi untuk mesin produksi harus dirancang secara khusus untuk menahan dan meredam gaya-gaya dinamis yang dihasilkan selama operasi mesin (Yuliani & Hidayat 2021). Getaran yang ditimbulkan oleh mesin produksi dapat berdampak negatif terhadap stabilitas struktur, performa mesin, serta kenyamanan lingkungan kerja apabila tidak ditangani dengan benar (Hayati et al. 2022). Pondasi dinamis dirancang untuk meminimalkan getaran yang ditransmisikan ke struktur di sekitarnya dan ke tanah serta untuk melindungi mesin dari kerusakan akibat resonansi atau gaya balik (Wijaya & Dewi 2020)(Hayati et al. 2022). Dalam industri manufaktur modern, penggunaan mesin-mesin berkecepatan tinggi dan berdimensi besar semakin meningkat yang berdampak pada kebutuhan pondasi dinamis yang tidak hanya kuat secara struktural tetapi juga efektif dalam mengontrol getaran (Yuliani & Hidayat 2021). Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan desain pondasi dinamis menjadi

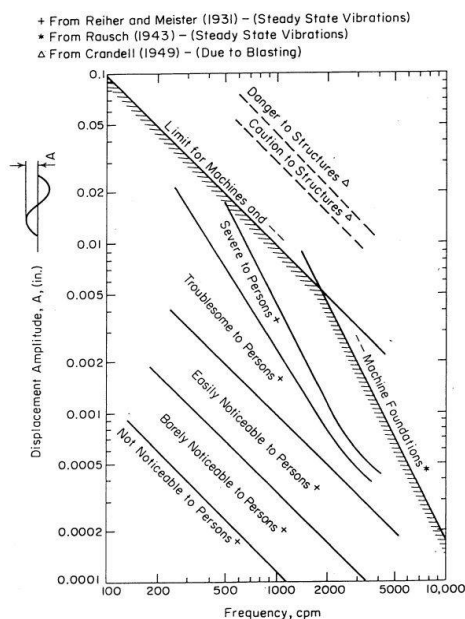
sangat penting untuk menjamin kelancaran operasi mesin serta mengurangi potensi kerusakan jangka panjang. Evaluasi pondasi secara dinamis umumnya dilakukan dengan mempertimbangkan respons aktual sistem terhadap beban dinamis, termasuk melalui pendekatan berbasis data lapangan seperti kalendering dan pengujian PDA sebagaimana ditunjukkan dalam studi (Fadilla & Pradiptiya 2022), meskipun penelitian tersebut berfokus pada pondasi *spun pile*. Pendekatan serupa dalam perencanaan pondasi dinamis juga telah diterapkan pada proyek pembangkit listrik tenaga *mikrohidro* oleh Wardana & Siregar (2023) dengan penekanan pada stabilitas dan efisiensi transmisi gaya. Salah satu aspek krusial dalam perancangan pondasi dinamis adalah menjaga agar frekuensi alami sistem tidak terlalu dekat dengan frekuensi operasi mesin untuk menghindari kondisi resonansi. Selisih frekuensi ini idealnya berkisar antara 20% hingga 50 % untuk menghindari terjadinya resonansi yang dapat memperbesar getaran secara signifikan (Jayarajan et al 2016) (Gulo & Tarigan 2023) (Satiawan & Rahayu 2023).

Kegagalan pondasi sering terjadi ketika getaran operasional mesin melampaui batas desain

# PERENCANAAN PONDASI DINAMIS MESIN PRODUKSI TEMBAGA PT. BATUTUA KHARISMA PERMAI

(Julen Jessica Ahab, Nur Ayu Diana, Teguh Widodo)

struktur. Oleh karena itu berbagai acuan teknis digunakan untuk memastikan sistem tetap aman dan nyaman dalam beroperasi. Dalam perencanaan pondasi mesin, perlu dipastikan bahwa tegangan statis tidak melebihi 50% dari daya dukung izin, tegangan dinamis berada dibawah 75% daya dukung izin, dan selisih frekuensi sistem dengan mesin minimal  $\pm 20\%$ . Selain batas tegangan, besar amplitudo getaran juga menjadi pertimbangan utama (Hayati et al. 2022) pentingnya menjaga amplitudo vertikal dibawah nilai ambang (Jayarajan et al. 2016) yang ditentukan oleh standar kenyamanan. Getaran yang dihasilkan mesin selama proses operasional dapat mempengaruhi kestabilan pondasi maupun elemen struktural di sekitarnya, khususnya bila amplitudo getaran melampaui ambang batas yang diizinkan secara teknis. Untuk itu, penilaian terhadap amplitudo getaran perlu merujuk pada standar yang telah ditetapkan dalam literatur teknis. Pada Gambar 1 menunjukkan batasan amplitudo getaran yang merupakan salah satu referensi yang umum digunakan dalam penilaian respon dinamis pondasi terhadap getaran mesin menurut ISO 10816-3 (Suhartono & Rafi 2020). Klasifikasi ini menggambarkan hubungan antara besarnya amplitudo perpindahan dengan frekuensi kerja mesin, serta mengelompokkan tingkat getaran ke dalam beberapa zona mulai dari kondisi aman hingga kategori yang berpotensi membahayakan struktur (Hastono & Garside 2021).



**Gambar 1.** Batasan Amplitudo Operasional Pondasi Mesin

(Sumber: Standar ISO 10816-3)

Evaluasi tingkat getaran horizontal mesin mengacu pada kriteria kecepatan amplitudo getaran berdasarkan standar ISO 10816-3. Tabel 1 menyajikan klasifikasi zona getaran yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan tingkat kenyamanan dan keamanan operasi mesin terhadap getaran horizontal.

**Tabel 1.** Kriteria Kecepatan Amplitudo Horizontal

| Kecepatan Horizontal<br>(inc/det) | Keadaan Mesin           |
|-----------------------------------|-------------------------|
| <0,005                            | <i>Extremely smooth</i> |
| 0,005 - 0,01                      | <i>Very smooth</i>      |
| 0,01 - 0,02                       | <i>Smooth</i>           |
| 0,02 - 0,04                       | <i>Very good</i>        |
| 0,4 - 0,08                        | <i>Good</i>             |
| 0,08 - 0,16                       | <i>Fair</i>             |
| 0,016 - 0,315                     | <i>Slightly rough</i>   |
| 0,315 - 0,630                     | <i>Rough</i>            |
| >0,63                             | <i>Very rough</i>       |

(Sumber: Standar ISO 10816-3)

Dalam artikel ini, ruang lingkup perencanaan difokuskan pada proyek pembangunan pondasi mesin produksi tembaga milik PT. Batutua Kharisma Permai yang berlokasi di Pulau Wetar, Kabupaten Maluku Barat Daya. Perencanaan dan analisis pondasi dilakukan secara spesifik untuk proyek ini, tanpa membahas aspek permasalahan tanah secara menyeluruh. Data tanah yang digunakan berasal dari hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) yang dilaksanakan di lokasi pembangunan. Parameter tanah diperoleh melalui kegiatan investigasi tanah (*soil investigation*) di lapangan sedangkan data mesin diambil dari spesifikasi teknis asli mesin yang digunakan. Perhitungan beban pondasi dilakukan oleh penulis berdasarkan karakteristik mesin dan kondisi tanah yang tersedia.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan mengacu pada data aktual dari proyek pembangunan fasilitas produksi tembaga di PT. Batutua Kharisma Permai. Studi difokuskan pada perencanaan pondasi dinamis untuk mesin *Boyd Crusher* MK3, yang menghasilkan beban berulang selama operasional akibat komponen mesin yang berputar. Data teknis yang digunakan diperoleh dari spesifikasi resmi mesin dan parameter tanah dilokasi proyek serta karakteristik operasional

mesin seperti kecepatan putar dan massa rotor. Seluruh analisis dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi aktual sistem untuk memperoleh evaluasi yang *representative* terhadap respon.

### 2.1. Data Tanah

Data tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diperoleh dari penyelidikan tanah *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Soil Investigation* oleh PT. Diagram Triproporsi. Pekerjaan pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi daya dukung tanah di lokasi proyek, sebagai dasar pendukung pembangunan dimana akan didapatkan data-data real tanah di lapangan saat ini. Lokasi pengujian tanah berlokasi di PT. Batutua Kharisma Permai di Pulau Wetar Kabupaten Maluku Barat Daya. Mesin berada pada posisi titik BH-06 (F). (Diana 2021) (Nazara et al 2018) (Hayati et al 2022) (Hasibuan et al 2021) (Maha Agung et al 2022).

### 2.2. Data Mesin

Untuk mendukung proses perencanaan pondasi dinamis, diperlukan informasi teknis mengenai karakteristik mesin yang digunakan. Data spesifikasi mencakup dimensi, berat, serta parameter dinamis mesin yang menjadi dasar dalam perhitungan gaya dinamis dan respon pondasi. Spesifikasi teknis dari mesin *Boyd Crusher* MK3 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Mesin

| Aspek         | Data                    |
|---------------|-------------------------|
| Tipe produk   | <i>Boyd Crusher</i> MK3 |
| Berat mesin   | 610 kg                  |
| Massa rotor   | 50 kg                   |
| h rotasi      | 1 m                     |
| Motor speed   | 450 rpm                 |
| Panjang mesin | 1m                      |
| Tinggi mesin  | 1,3 m                   |
| Lebar mesin   | 0,7 m                   |

(Sumber: ROCKLABS, n.d)

### 2.3. Data Perencanaan

Selain data mesin dan data tanah yang didapatkan dari hasil penyelidikan tanah di lapangan, parameter tanah perlu dianalisis untuk digunakan dalam perencanaan. Data tanah disajikan sebagai berikut:

$$\text{Berat isi tanah } (\gamma_d) = 17,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Gravitasi } (g) = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Kepadatan tanah } (\rho) = \frac{\gamma_d}{g} = \frac{17,5}{9,81} = 1,783 \text{ kN/m}^4$$

$$V_s = 350 \text{ m/s}$$

$$\text{Modulus Geser } (G) = \rho \times V_s^2 = 1,783 \times 350^2$$

$$= 218417,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poisson ratio } (\mu) = 0,19$$

Konstruksi pondasi mesin direncanakan menggunakan konstruksi beton bertulang, rencana kekuatan konstruksi beton yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan Beton Karakteristik } (f'_c) : 20,75 \text{ MPa}$$

$$\text{Kekuatan Leleh Baja} : 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat Isi Beton } (\gamma_{\text{beton}}) : 24 \text{ kN/m}^3$$

### 2.4. Perhitungan Perencanaan Pondasi Mesin

Langkah-langkah analisis yang dilakukan meliputi:

- Menentukan parameter tanah (Berat isi tanah ( $\gamma$ ); Kepadatan tanah ( $\rho$ ); Cepat geser gelombang tanah ( $V_s$ ); Modulus geser tanah ( $G$ ); Poisson ratio ( $\mu$ ))
- Analisis Dimensi Pondasi Mesin Tipe yang digunakan (Blok) (Satiawan & Rahayu, 2023)
- Menghitung beban statis dan daya dukung tanah
- Menghitung Beban Pondasi akibat beban dinamis mesin. Gaya dinamis ( $F_0$ ) dianalisis dalam arah gerak vertikal, arah gerak horizontal, dan arah gerak *rocking*.
- Analisis amplitudo yang terjadi akibat mesin.
- Menghitung/mengecek analisa keamanan pondasi mesin.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan hasil analisis teknis yang dilakukan menggunakan data tanah dan spesifikasi mesin pada proyek perencanaan pondasi untuk *Boyd Crusher* MK3 di area produksi PT. Batutua Kharisma Permai. Perhitungan dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip mekanika tanah dan teori pondasi dinamis, dengan mempertimbangkan kondisi aktual lokasi. Kajian yang dilakukan mencakup evaluasi terhadap beban kerja pondasi, penurunan elastis dan konsolidasi, serta gaya dinamis yang ditimbulkan oleh ketidakseimbangan massa rotor. Selain itu, dianalisis pula respons dinamis pondasi terhadap getaran, termasuk frekuensi alami sistem, momen akibat gaya dinamis, dan amplitudo perpindahan. Pembahasan disusun secara terstruktur untuk menilai apakah desain pondasi yang direncanakan telah memenuhi persyaratan keamanan terhadap beban statis dan dinamis, serta tetap berada dalam batas toleransi getaran sesuai standar operasional mesin.

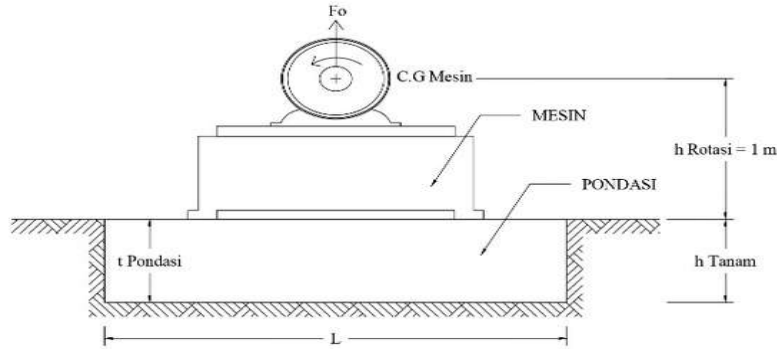
## PERENCANAAN PONDASI DINAMIS MESIN PRODUKSI TEMBAGA PT. BATUTUA KHARISMA PERMAI

(Julen Jessica Ahab, Nur Ayu Diana, Teguh Widodo)

### 3.1. Perencanaan Dimensi Pondasi Mesin

Studi oleh (Ramadhan et al 2023) menunjukkan bahwa variasi dimensi pondasi memiliki pengaruh signifikan terhadap performa struktural, hal ini juga relevan dalam konteks evaluasi sistem pondasi mesin.

Ilustrasi pada Gambar 2 menunjukkan desain awal pondasi tipe blok yang direncanakan sebagai struktur penopang utama bagi unit mesin generator set.



**Gambar 2.** Sketsa rencana pondasi  
(Sumber: Hasil perencanaan)

#### Berat dan Massa Pondasi Mesin

- Panjang Pondasi (B) = 1,5 m
- Lebar Pondasi (L) = 1 m
- Tebal Pondasi (t) = 1 m
- h tanam = 1 m
- Berat Pondasi (Wc)  
 $B \times L \times h \times \gamma_{beton} = 1,5 \times 1 \times 1 \times 24 = 36 \text{ kN}$   
 $= 3668 \text{ kg}$
- Berat Mesin (Wm) = Berat Mesin  
 $= 610 \text{ kg} = 5,98 \text{ kN}$
- Berat Total  
 Berat Pondasi + Berat Mesin  
 $= 36 + 5,98 = 41,98 \text{ kN} = 4278 \text{ kg}$
- Massa Total (m)  
 Berat Total / 9,81  
 $= 41,98 / 9,81 = 4,279 \text{ kN}$
- Luas Dasar Pondasi  
 $= B \times L = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ m}^2$
- Rasio Berat Pondasi  
 $R = \frac{Wc}{Wm} > 3$  (1)  
 $R = \frac{36}{5,98} = 6,2 (> 3)$

Perbandingan berat pondasi memenuhi persyaratan. Persyaratan ini mengacu pada penelitian (Hayati et al 2022) yang menyatakan bahwa pondasi dinamis harus memiliki berat paling sedikit tiga kali berat mesin untuk meredam getaran secara efektif.

### 3.2. Analisis Daya Dukung Tanah

Data-data tanah

Berat jenis tanah ( $\gamma$ ) = 17,5 kN/m<sup>3</sup>

Sudut geser tanah ( $\phi$ ) = 5,2°

Kohesi (c) = 87,5 kPa

Kontrol daya dukung tanah

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (Qult)

Besar  $\phi = 5,2^\circ$  maka harga  $N_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$  berdasarkan interpolasi nilai pada tabel *Mayerhoff's Bearing Capacity Factors* (Diana 2021) adalah:

$N_c = 6,544$

$N_\gamma = 0,47$

$N_q = 1,6$

Faktor kemiringan, kedalaman dan bentuk metode *Mayerhoff* untuk sembarang  $\phi$

$$F_{cs} = 1 + 0,2 (B/L) \tan^2 (45 + \phi/2) = 1,004 \quad (2)$$

$$F_{qs} = F_{ys} = 1 + 0,2 (B/L) \tan (45 + \phi/2) = 1,002 \quad (3)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,2 (Df/L) \tan (45 + \phi/2) = 1,002 \quad (4)$$

$$F_{qd} = F_{yd} = 1 + 0,2 (Df/L) \tan (45 + \phi/2) = 1,001 \quad (5)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = F_{yi} = 1$$

Sehingga,

$$Q_{ult} = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{ys} F_{yd} F_{yi} \quad (6)$$

Dimana,  $q = Df \times \gamma = 1 \times 17,5 = 17,5$

$$Q_{ult} = (87,5 \times 6,544 \times 1,004 \times 1,002 \times 1) + (17,5 \times 0,47 \times 1,002 \times 1,001 \times 1) + (0,5 \times 17,5 \times$$

$$1 \times 1,6 \times 1,002 \times 1,001 \times 1) \\ = 598,317 \text{ kPa}$$

Besar daya dukung tanah yang diijinkan ( $Q_{all}$ ) dengan SF yang diambil = 3

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{598,317}{3} = 199,439 \text{ kN/m}^2 \\ 50 \% . Q_{all} = 99,719 \text{ kN/m}^2 \\ 75 \% . Q_{all} = 149,579 \text{ kN/m}^2$$

Besar tegangan tanah yang terjadi akibat beban statis

$$\sigma_{Statis} = \frac{W_{total}}{B \times L} - \gamma \times h \text{ tanah} \quad (7) \\ = \frac{41,98}{1,5 \times 1} - 17,5 \times 1$$

$$\sigma_{Statis} = 10,48 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan kriteria tegangan izin, persyaratan keamanan terhadap keruntuhan geser akibat beban statis mensyaratkan bahwa tekanan pondasi tidak melebihi 50% dari daya dukung izin tanah. Untuk kondisi kombinasi beban statis dan dinamis, batas yang diperkenankan adalah maksimal 75% dari daya dukung izin. Oleh karena itu, evaluasi terhadap daya dukung tanah dilakukan dengan membandingkan tekanan kerja aktual terhadap nilai batas tersebut (Diana 2021) (Hastono & Garside 2021).

$$\sigma_{Statis} < 50\% Q_{all} \\ 10,48 \text{ kN/m}^2 < 99,719 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK})$$

### 3.3. Analisis Penurunan Tanah

Perhitungan penurunan segera dilakukan dengan rumus berikut (Diana 2021) (Fadilla & Pradiptiya 2022) (Aribudiman 2022):

$$S_e = \frac{q_o \cdot B(1-\mu^2)}{E_s} I_s \quad (8)$$

$$S_e = \frac{27,99 \cdot 1,5(1-0,19^2)}{16000} \cdot 0,82 = 0,00252 \text{ m} \\ = 2,52 \text{ mm}$$

$$S_e(\text{rigid}) = 0,93 S_e = 0,93 \times 2,52 = 2,3 \text{ mm}$$

Perhitungan penurunan konsolidasi dihitung dengan rumus berikut:

$$S_c = \frac{CcH}{1+e_o} \log \left( \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right) \quad (9) \\ S_c = \frac{0,38 \times 1}{1+0,9} \log \left( \frac{119,827+27,99}{119,827} \right) \\ = 0,0182 \text{ m} = 18,2 \text{ mm}$$

Dengan demikian, penurunan gabungan akibat penurunan segera dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada pondasi ini bernilai 20,5 mm atau 2,05 cm, masih berada jauh di bawah batas toleransi menurut SNI 8460:2017 pasal 9.2.4.3 yaitu 15 cm ditambah koreksi lebar pondasi ( $b/600$ ). Dengan demikian, pondasi yang dirancang telah memenuhi kriteria stabilitas vertikal sesuai standar nasional.

### 3.4. Analisis Gaya Dinamis

Perhitungan gaya dinamis vertikal dilakukan untuk mengevaluasi eksitasi akibat ketidakseimbangan rotor mesin. Analisis ini menggunakan pendekatan *linear lumped parameter system*, dengan model satu derajat kebebasan (SDOF). Gaya eksitasi dihitung menggunakan rumus berikut.

$$F_o = m e \omega^2 \quad (10)$$

$m$  = massa rotor = 50 kg

$e$  = eksentrisitas mesin motor = 0,0000254 m

$f$  = 450 rpm

$\omega$  = 47,12 rad/s

$$F_o = 50 \times 0,0000254 (47,12)^2 = 0,00282 \text{ kN}$$

Gaya Dinamis Vertikal = 0,00282 kN

Gaya Dinamis Horizontal = 0,00141 kN

Momen dinamis *rocking* dihitung berdasarkan gaya dinamis horizontal yang bekerja akibat eksentrisitas rotor mesin. Dalam hal ini, gaya horizontal dianggap bekerja pada titik berat mesin yang terletak pada ketinggian 1 meter sehingga,

$$M_y = F_o (tebal \text{ pondasi} + h \text{ rotasi}) \quad (11) \\ = 0,00141 \times (1 + 1) = 0,00282 \text{ kN}$$

### 3.5. Analisis Keamanan Pondasi Mesin

Evaluasi keamanan pondasi mesin terhadap getaran dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pondasi tidak berada dalam kondisi resonansi (Nazara et al 2018) dan masih berada dalam batas toleransi getaran yang diperbolehkan. Salah satu aspek krusial dalam analisis ini adalah penentuan frekuensi alami pondasi, yang selanjutnya dibandingkan dengan frekuensi alami pondasi, yang selanjutnya dibandingkan dengan frekuensi operasional mesin. Selisih yang memadai antara kedua frekuensi tersebut menjadi indikator penting untuk menghindari resonansi, karena resonansi dapat memicu lonjakan amplitudo getaran yang membahayakan integritas struktur pondasi dan mesin. Di samping itu, amplitudo getaran yang dihasilkan juga harus dibandingkan dengan batas standar kenyamanan dan keamanan, sebagaimana yang dijelaskan dalam klasifikasi getaran menurut ISO 10816-3 (Suhartono & Rafi 2020). Klasifikasi tersebut membagi tingkat getaran ke dalam beberapa zona berdasarkan besarnya amplitudo getaran dan frekuensi operasional mesin. Zona getaran meliputi: zona aman, di mana getaran tidak memengaruhi stabilitas struktur atau kenyamanan operasional; zona perhatian, yang menunjukkan getaran mendekati batas toleransi sehingga memerlukan pemantauan lebih lanjut; serta zona tidak aman, di mana getaran berisiko menimbulkan kerusakan struktural maupun gangguan

## PERENCANAAN PONDASI DINAMIS MESIN PRODUKSI TEMBAGA PT. BATUTUA KHARISMA PERMAI

(Julen Jessica Ahab, Nur Ayu Diana, Teguh Widodo)

operasional. Oleh sebab itu, analisis dilakukan secara menyeluruh terhadap perilaku dinamis sistem, meliputi perhitungan frekuensi alami, rasio terhadap frekuensi mesin, serta amplitudo getaran sebagai dasar untuk menilai kelayakan desain pondasi dinamis.

### 3.5.1. Frekuensi Alami Pondasi

Perhitungan frekuensi alami pondasi dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (12)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{66,397}{4278}} = 19,82 \text{ Hz}$$

Frekuensi alami yang dihasilkan adalah 19,82 Hz atau 1189,2 rpm. Nilai ini jauh lebih tinggi dari frekuensi kerja mesin sebesar 450 rpm, sehingga sistem dinamis pondasi berada dalam kondisi aman terhadap resonansi, karena frekuensi alami pondasi berada jauh di atas frekuensi eksitasi mesin. Perbedaan frekuensi yang signifikan ini memastikan bahwa sistem bekerja di luar zona resonansi kritis, sehingga tidak terjadi penguatan amplitudo getaran yang membahayakan struktur.

### 3.5.2 Rasio Terhadap Frekuensi Mesin

$$\text{Rasio Frekuensi } r = \frac{Fn}{Fm} \quad (13)$$

$$= \frac{19,82}{7,5} = 2,64$$

Hasil perbandingan antara frekuensi alami pondasi dan frekuensi operasi mesin menunjukkan nilai rasio sebesar 2,64. Nilai ini berada jauh di luar zona resonansi kritis, yang umumnya berada pada kisaran 0,8 hingga 1,2 (IS 2974). Menurut Prakash dan Puri (1988), sistem dinamis yang memiliki rasio frekuensi di luar zona ini cenderung aman dari resonansi karena amplitudo getaran tidak mengalami penguatan signifikan. Dengan demikian, respons dinamis pondasi dalam kondisi ini dinilai stabil selama mesin beroperasi, dan potensi resonansi sangat rendah. Oleh karena itu, pondasi dapat dikategorikan aman dalam menerima beban dinamis yang bekerja secara berulang.

### 3.5.3. Amplitudo Getaran Vertikal dan Horizontal

Amplitudo getaran merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kenyamanan dan keamanan pondasi mesin terhadap beban dinamis. Berdasarkan perhitungan, amplitudo getaran vertikal ditentukan dari perbandingan antara gaya dinamis vertikal dan kekakuan

pondasi. Dengan gaya sebesar 0,00282 kN dan kekakuan vertikal sebesar 66.396,93 kN/m, diperoleh amplitudo vertikal sebesar 0,00004 mm (0,00000157 in). Sementara itu, amplitudo horizontal dihitung dengan pendekatan yang sama, menggunakan gaya dinamis horizontal sebesar 0,00141 kN dan nilai kekakuan yang dianggap setara dengan arah vertikal. Hasilnya menunjukkan amplitudo horizontal sebesar 0,0000212 mm atau sama dengan 0,00000083 in.

Jika masing-masing amplitudo dievaluasi terhadap batas kriterianya, maka hasil analisis yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Untuk amplitudo arah vertikal dengan menggunakan Gambar 1 terlihat amplitudo vertikalnya masuk dalam kategori "*not noticeable to person*" yang berarti tidak terasa terhadap lingkungan sekitar. Persyaratan maksimal amplitudo vertikal adalah "*troublesome to person*" maka besar amplitudo vertikal memenuhi persyaratan keamanan.
- Amplitudo getaran horizontal dianalisis menggunakan Tabel 1 yang mengacu pada kriteria kecepatan getaran horizontal. Berdasarkan tabel tersebut batas maksimal yang diperbolehkan berada pada kategori "*good*" dengan nilai kecepatan amplitudo sebesar:

$$v = 2\pi \times f \times (1/60) \times Ah \quad (14)$$

$$= 2\pi \times 450 \times (1/60) \times 0,00000083$$

$$= 0,00004 \text{ (masuk dalam zona extremely smooth)}$$

Kedua nilai amplitudo tersebut tergolong sangat kecil dan berada jauh di bawah ambang batas getaran yang ditetapkan dalam klasifikasi (Suhartono & Rafi 2020) sehingga tidak menimbulkan gangguan terhadap operasional mesin maupun kenyamanan di lingkungan sekitarnya. Kondisi ini menunjukkan pondasi yang dirancang telah mampu meredam gaya eksitasi dengan sangat baik dan menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan. Selain itu, amplitudo yang rendah ini juga menandakan bahwa rasio antara frekuensi alami pondasi dan frekuensi operasi mesin berada di luar zona resonansi kritis. Hal ini mengindikasikan bahwa desain pondasi telah memenuhi parameter performa dinamis yang dibutuhkan untuk mencegah getaran berlebih, sekaligus menjamin umur layanan struktur tetap optimal selama masa operasional mesin. Tabel 3 menyajikan rekapitulasi seluruh perhitungan yang telah dilakukan terhadap pondasi dinamis mesin.

**Tabel 3.** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisis Pondasi Mesin

| Parameter               | Unit           | Nilai       | Keterangan                          |
|-------------------------|----------------|-------------|-------------------------------------|
| Dimensi pondasi         | m              | 1,5 x 1 x 1 | Tipe blok tertanam penuh            |
| Berat pondasi           | kg             | 3668        | Volume + berat jenis beton          |
| Berat mesin             | kg             | 610         | Spesifikasi mesin                   |
| Luar dasar pondasi      | m <sup>2</sup> | 1,5         | Panjang x lebar                     |
| Tegangan statis tanah   | kPa            | 21,17       | < 50% daya dukung ijin              |
| Gaya dinamis vertikal   | kN             | 0,00282     | Dari massa rotor dan eksentrisitas  |
| Gaya dinamis horizontal | kN             | 0,00141     | Dari massa rotor dan eksentrisitas  |
| Momen <i>rocking</i>    | kNm            | 0,00282     | Gaya vertikal x tinggi CG rotor     |
| Penurunan segera        | mm             | 2,52        | Dalam batas toleransi               |
| Penurunan konsolidasi   | mm             | 18,2        | Untuk lapisan 8-15m                 |
| Frekuensi alami pondasi | Hz             | 19,82       | Aman terhadap resonansi             |
| Amplitudo vertikal      | in             | 0,00000157  | Kategori “no noticeable to persons” |
| Amplitudo horizontal    | in             | 0,00000083  | Kategori “extremely smooth”         |

(sumber: olah data)

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang pondasi dinamis tipe blok untuk mesin *Boyd Crusher MK3* pada fasilitas produksi PT. Batutua Kharisma Permai, dengan mempertimbangkan interaksi beban dinamis mesin dan karakteristik tanah setempat. Analisis menunjukkan bahwa pondasi yang dirancang memiliki frekuensi alami sebesar 19,82 Hz, jauh di atas frekuensi operasi mesin (450 rpm = 7,5 Hz), sehingga sistem bekerja jauh dari zona resonansi. Nilai amplitudo getaran vertikal dan horizontal yang sangat kecil (masing-masing 0,00000157 in dan 0,00000083 in) mengindikasikan bahwa respons pondasi terhadap eksitasi dinamis berada dalam zona aman dan tidak menimbulkan risiko kelelahan struktur. Penurunan total akibat beban statis dan konsolidasi tanah tetap dalam batas toleransi struktural, sehingga tidak mempengaruhi stabilitas jangka panjang pondasi. Evaluasi juga menunjukkan bahwa nilai momen *rocking* yang dihasilkan sangat kecil (0,00282 kNm), menandakan keseimbangan sistem yang baik. Temuan penting dari studi ini adalah validasi efektivitas pendekatan evaluasi langsung berbasis amplitudo getaran sebagai metode penilaian kenyamanan struktural. Dengan rasio frekuensi sebesar 2,64, sistem berada jauh di luar zona resonansi, sehingga pendekatan ini terbukti lebih relevan dan representatif dalam menggambarkan respons dinamis pondasi dibandingkan metode *transmissibility*, yang cenderung kurang akurat untuk sistem yang bekerja di luar rentang kritis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain pondasi dinamis dapat diterapkan pada mesin berkapasitas menengah di area tambang terpencil dengan kondisi tanah sedang. Studi ini juga memberikan peluang untuk penelitian lebih

lanjut, terutama mengenai pengaruh redaman dan bentuk pondasi terhadap getaran, serta penggunaan material peredam sejak awal dalam perancangan pondasi.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Batutua Kharisma Permai atas dukungan telah memberikan akses terhadap data teknis tanah dan spesifikasi mesin produksi dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aribudiman, I. N. (2022). Analisis efektifitas dan efisiensi perbedaan penampang pondasi tiang yang dipancang pada tanah pasir. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 26(2), 120–124. <https://doi.org/10.24843/JITS.2022.v26.i02.p05>
- Diana, N. A. (2021). Kapasitas Dukung Tiang Tunggal terhadap Beban Lateral Bangunan Gudang Petikemas Pelabuhan Tanjung Perak. *Agregat*, 6(1). <https://doi.org/10.30651/ag.v6i1.8321>
- Fadilla, R. N., & Pradiptiya, A. (2022). Analisis daya dukung pondasi spun pile dievaluasi dengan kalendering dan PDA. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 3(2), 18–25. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i2.394>
- Gulo, T. S., & Tarigan, S. D. (2023). Perencanaan pondasi mesin pabrik kelapa sawit (Studi kasus: PT. Brau Agro Asia). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v6i1.2560>
- Hasibuan, M. Y. Z., Maulani, E., & Chandra, Y. (2021). Pengaruh penambahan variasi

## PERENCANAAN PONDASI DINAMIS MESIN PRODUKSI TEMBAGA PT. BATUTUA KHARISMA PERMAI

(Julen Jessica Ahab, Nur Ayu Diana, Teguh Widodo)

- beban terhadap penurunan pondasi tiang pancang: Studi kasus Jembatan Aek Pardamean Baru Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Teknologi*, 5(2), 25–35. <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/jrst/article/view/18814>
- Hastono, K. B., & Garside, A. K. (2021). Evaluasi daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan metode statis dan dinamis pada pembangunan Jalan Tol Krian–Legundi–Bunder–Manyar. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia UMM*, 1(1), 60–70. <https://research-report.umm.ac.id/index.php/psppi/article/view/79>
- Hayati, J., Haloho, S., Sitepu, A. R. H., & Syuhada, S. (2022). Analisis perbandingan daya dukung fondasi tiang bor berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan pengujian dinamis. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 45–55. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.52896>
- Jayarajan, A., Jayan, K. M., & Babu, G. L. S. (2016). Dynamic analysis of machine foundations using finite element approach. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 10(2), 184–193. <https://doi.org/10.1179/1939787915Y.0000000013>
- Maha Agung, P. A., Sijabat, J., & Khairunnisa, N. S. (2022). Analisis dan desain dinamis pondasi dangkal berdasarkan data CPT. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 1(2), 57–64. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v1i2.84>
- Nazara, S., Hadiwidjaja, M., & Diana, N. A. (2018). Evaluasi Perkuatan Pondasi Pada Apartemen The City Square. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 1(1), 45–51. <https://doi.org/10.25139/jprs.v1i1.808>
- Ramadhan, M. N. D., Solin, D. P., & Astawa, M. D. (2023). Analisis pengaruh variasi bentuk dan variasi dimensi terhadap daya dukung pondasi tiang pancang. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(2), 245–252. <https://doi.org/10.22225/pd.11.2.5628.245-252>
- Satiawan, B., & Rahayu, T. (2023). Pengaruh tinggi tertanam pondasi block terhadap karakteristik dinamik pondasi mesin. *Konstruksia*, 15(2), 45–52. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/17800>
- Suhartono, E., & Rafi, M. (2020). Evaluasi Kriteria Getaran Mesin Mengacu pada ISO 10816-3 pada Sistem Pompa Industri. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 15(2), 98–105. <https://doi.org/10.22216/jtmi.v15i2.4802>
- Wardana, T. A. B. K., & Siregar, C. A. (2023). Analisis perencanaan pondasi dinamis untuk mendukung mesin turbin pada PLTM Warnasi di Manokwari, Papua Barat. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.32897/simteks.v2i1.1539>
- Wijaya, A., & Dewi, F. (2020). Perencanaan pondasi mesin dinamis dengan pendekatan getaran. *Jurnal Rancang Teknik Sipil*, 5(1), 45–52.
- Yuliani, R., & Hidayat, A. (2021). Analisis Perencanaan Pondasi Mesin Berbasis Respon Dinamis pada Industri Manufaktur. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(1), 33–41.