

Perencanaan Pondasi Mesin Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus: PT. Brau Agro Asia)

Teguh Solafide GULO¹, Simon Dertha TARIGAN^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Santo Thomas, email: simondertha2003@yahoo.com

Sejarah artikel

Diserahkan: 11 Maret 2023
Dalam bentuk revisi: 01 April 2023

Diterima: 14 April 2023
Tersedia online: 29 Mei 2023

Abstract

The foundation is a part of the building construction that places the building and transmits the load transmitted from the top structure to the subgrade foundation that is strong enough to hold it without a decrease in the structural system. For dynamic load analysis, determine the magnitude of the amplitude that occurs so that the vibrations do not interfere with humans and the surrounding environment by using the lumped parameter system method and planning the reinforcement of the generator set engine foundation. From the planning results, the machine foundation design has a thickness of 1.5 meters, a length of 5.225 meters, and a width of 2.21 meters. D22-75 mm reinforcement is used for flexural reinforcement, and minimum D8-300 mm reinforcement is used for shear reinforcement. This generator set engine has a frequency of 5000 rpm, and the magnitude of the vertical amplitude that occurs is 0.00010 inch. It is included in the "Easily Noticeable to person" category: slightly felt to the surrounding environment. The magnitude of the horizontal amplitude of 0.077 is included in the "Good" zone. Both categories are included in the safety requirements of the machine foundation design requirement.

Keywords: machine foundation requirements, foundation design, factory building

Abstrak

Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang memiliki fungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar. Pondasi harus cukup kuat menahan beban struktur atas tanpa terjadinya penurunan pada sistem strukturnya. Untuk analisa beban dinamis menentukan besarnya amplitudo yang terjadi dan menentukan supaya getaran yang terjadi tidak mengganggu manusia dan lingkungan disekitarnya dengan menggunakan metode lumped parameter system, serta merencanakan penulangan dari pondasi mesin generator set tersebut. Dari hasil perencanaan didapatkan desain pondasi mesin dengan ketebalan 1,5 meter dengan panjang 5,225 meter dan lebar 2,21 meter. Digunakan tulangan D22-75 mm untuk tulangan lentur dan untuk tulangan geser memakai tulangan minimum D8-300 mm. Mesin generator set ini memiliki frekuensi 5000 rpm dan besarnya amplitudo vertikal yang terjadi sebesar 0,00010 in, masuk dalam kategori "Easily Noticeable to person", yang berarti : sedikit terasa terhadap lingkungan sekitar. Besarnya amplitudo horizontal 0,077 masuk dalam zona "Good". Kedua kategori masuk dalam syarat aman persyaratan perencanaan pondasi mesin.

Kata kunci: persyaratan pondasi mesin, perencanaan pondasi, bangunan pabrik

1. Pendahuluan

Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang memiliki fungsi untuk menopang struktur atas bangunan dan kemudian meneruskan beban tersebut menuju ke struktur tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadi *differential settlement* (penurunan tidak merata) pada sistem strukturnya (Das & Sivakugan, 2018). Untuk memilih jenis pondasi yang

tepat, perlu dipastikan bahwa pondasi tersebut cocok untuk kondisi tanah yang berbeda dan dapat dibangun secara ekonomis sesuai dengan jadwal konstruksi.

Pondasi mesin merupakan salah satu bagian terpenting dalam bangunan industri yang berfungsi untuk meneruskan beban dinamis mesin ke lapisan tanah di bawahnya. Beban mesin dimaksud berupa berat sendiri mesin dan bebandinamis akibat beroperasinya mesin. Sehingga menjadi sangat penting untuk memperhitungkan kedua jenis beban ini dalam perencanaan pondasi (Arya dkk., 1979). Berbagai tipe pondasi mesin dibuat sesuai dengan jenis dan karakteristik yang akan ditempatkan di atasnya. Terdapat beberapa jenis pondasi mesin. Beberapa di antaranya adalah: pondasi mesin tipe blok, tipe dinding, dan tipe rangka, serta tipe box. Pondasi mesin dengan tipe blok merupakan jenis yang paling umum digunakan atau sering dijumpai. Pondasi mesin jenis blok tersebut sangat umum digunakan sebagai pendukung mesin-mesin pembangkit listrik (Bowles, 1988; Prakash & Puri, 1988). Contoh mesin yang diletakkan adalah generator, turbin dan lain sebagainya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi seberapa signifikan pengaruh beban dinamis mesin terhadap sistem pondasi dangkal. Untuk menjawab tujuan tersebut, beberapa langkah pertanyaan penelitian yang perlu diselesaikan antara lain: bagaimana menentukan besarnya beban dinamis yang bekerja akibat mesin pada pondasi? bagaimana merancang sistem pondasi dangkal yang mampu memikul beban dinamis yang bekerja padanya? Faktor-faktor apa saja yang harus dipertimbangkan didalam merancang pondasi mesin? Serta, standar apa saja yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem pondasi mesin.

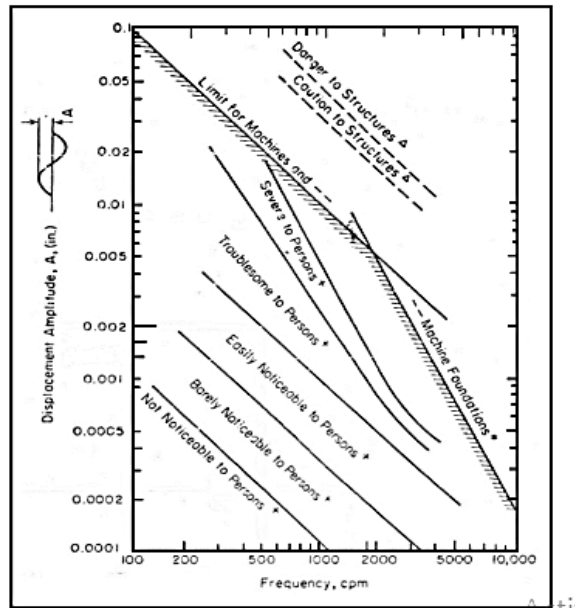
Terdapat beberapa hal yang menjadi lingkup perencanaan dalam artikel ini. Perencanaan dan pelaksanaan hanya ditinjau pada proyek pembangunan pondasi mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Brau Agro Asia P.O.M yang berada di lokasi Desa Gunung Sari, Kecamatan Segah Kabupaten Berau – Kalimantan Timur. Data tanah yang digunakan data hasil Dutch Cone Penetrometer Test (DCPT Type Sondir Manual) di daerah pembangunan pondasi mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Brau Agro Asia P.O.M yang berada di lokasi Desa Gunung Sari, Kecamatan Segah Kabupaten Berau – Kalimantan Timur. Serta tidak membahas permasalahan dari tanah. Beban Pondasi dihitung sendiri penulis. Parameter tanah diperoleh berdasarkan *soil investigation* yang dilakukan di lapangan. Desain Pondasi hanya sampai pada perhitungan penulangan pondasi. Data mesin menggunakan data asli yang terlampir pada spesifikasi mesin.

2. Persyaratan Umum Pondasi Mesin

Agar mesin yang ditopang bisa berfungsi sebagaimana mestinya dan getarannya tidak membahayakan maka setiap pondasi mesin harus memenuhi beberapa kriteria (Prakash & Puri, 1988). Untuk beban statis, sistem pondasi mesin seharusnya: (a) mampu menahan atau memikul beban statis yang ditimbulkan oleh mesin tanpa menyebabkan keruntuhan geser atau keruntuhan total; (b) menjaga penurunan pondasi akibat beban harus berada dalam batas-batas yang diizinkan. Sementara itu, untuk beban dinamis, sistem pondasi mesin seharusnya memastikan: (a) tidak adanya resonansi, yaitu sistem tanah pondasi mesin secara natural tidak boleh sefrekuensi dengan sistem operasi mesin; (b) amplitudo batas (spesifikasi mesin) tidak dilampaui oleh amplitudo frekuensi operasi; (c) kesetimbangan bagian mesin yang bergetar untuk minimasi gaya dan momen; (d) keleluasaan aktivitas bekerja dan keamanan mesin lainnya pada saat terjadi getaran (Prakash & Puri, 1988).

Kegagalan pondasi mesin terjadi, jika getaran telah melampaui batas yang telah ditentukan. Batasan pondasi mesin dapat diketahui pada amplitudo dan kecepatan dari getaran yang terjadi pada operasi kerja mesin. Beberapa syarat keamanan untuk beban statis dan dinamis antara lain:

- A. Syarat keamanan terhadap daya dukung dan penurunan statis terhadap dinamis (Sigit, 1996):
- Tegangan statis < 50% daya dukung izin (q_{all})
 - Tegangan dinamis < 75% daya dukung izin (q_{all})
 - Frekwensi operasi harus kurang lebih 20% dari frekwensi resonansi.
- B. Syarat keamanan amplitudo vertikal (Kutter dkk., 2016; Prakash & Puri, 1988).
- C. Syarat keamanan amplitudo horizontal (Baxter & Bernhard, 1967; Blake, 1964).



Gambar 1. Batasan amplitudo operasional pondasi mesin

Tabel 1. Kriteria kecepatan getaran horizontal (Blake, 1964)

Kecepatan horizontal (inci/det)	Keadaan Mesin
< 0,005	Extremely smooth
0,005 – 0,01	Very smooth
0,01 – 0,02	Smooth
0,02 – 0,04	Very good
0,04 – 0,08	Good
0,08 – 0,16	Fair
0,016 – 0,315	Slightly rough
0,315 – 0,630	Rough
> 0,63	Very Rough

Penulangan Struktur Beton Bertulang

Perhitungan elemen pondasi mesin tipe blok yang berupa struktur beton bertulang dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2002 metode alternatif (Pasal 25) dimana perhitungannya direncanakan berdasarkan beban kerja (tanpa faktor beban). Adapun perhitungan penulangan akan membahas dua tipe penulangan yang utama yaitu penulangan lentur dan penulangan geser (Setiawan, 2016).

I. Penulangan lentur

Pemeriksaan rasio tulangan tarik (ρ); Adapun cara untuk menentukan jumlah dan luas tulangan yang dibutuhkan maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari $\rho_{balance}$, ρ_{max} , ρ_{min} . Nilai-nilai tersebut dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$d = h_{tanam} - \text{selimut beton} - \phi_{senggang} - \left(\frac{1}{2} * \phi_{pokok}\right) \quad (1)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2)$$

$$m = \frac{f_s}{0,85 * f_c} \quad (3)$$

$$\rho_{balance} = \frac{f_s}{f_c} \left(\frac{600}{600 + f_s} \right) \quad (4)$$

$$\rho_{max} = 0,75 * \rho_{balance} \quad (5)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_s} \quad (6)$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad (7)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_s}} \right) \quad (8)$$

$$A_{Sperlu} = \rho_{min} \cdot b \cdot d \quad (9)$$

II. Penulangan Geser

Nilai gaya lintang atau geser maksimum, V_u dapat dicari menggunakan cara berikut:

$$V_u = w \left(\frac{1}{2} \cdot L - a \right) \quad (10)$$

Untuk struktur balok, pelat satu arah, maupun pondasi telapak, dimana geser hanya dipikul oleh beton saja, maka tegangan geser rencana (v) harus dihitung dengan (SNI 03-2847-2002 Pasal 25.5.4):

$$V = \frac{V_u}{b_w \cdot d} \quad (11)$$

Adapun geser ijin,

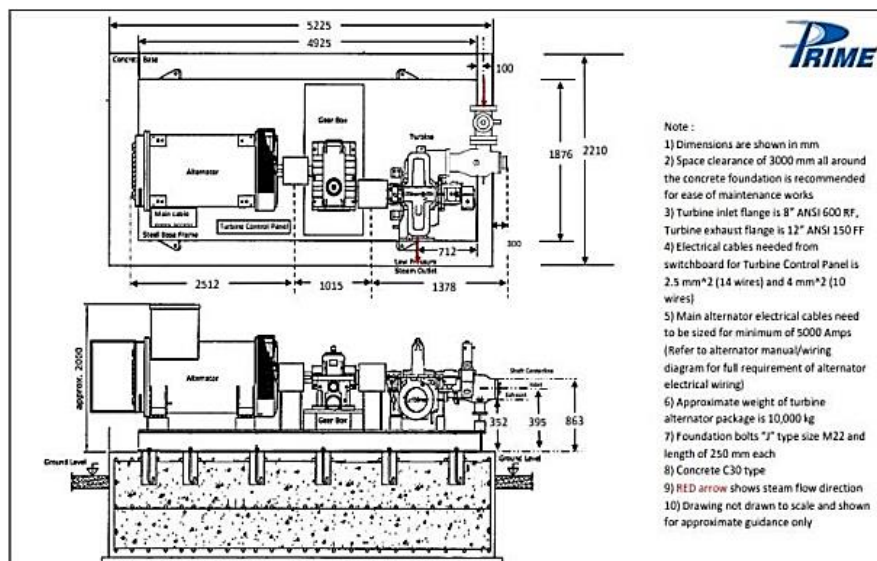
$$V_c = \frac{1}{11} \sqrt{f'_c} \quad (12)$$

- Bila $V_u \leq \phi V_c$, tidak perlu tulangan geser, hanya tulangan geser praktis.
- Bila $0,5 \cdot \phi V_c < V_u < \phi V_c$, gunakan tulangan geser minimum
- Bila $V_u > \phi V_c$, diperlukan tulangan geser, dengan gaya yang harus ditahan oleh sebarang sebarang (*SNI-2847-2013 Pasal 11.1*)

3. Metodologi Perancangan

Data Mesin

Data mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah data mesin yang dikeluarkan oleh pabrik itu sendiri atau data-data diperoleh dari pihak pemilik proyek (Sumber: PT.Brau Agro Asia P.O.M).



Gambar 2. Spesifikasi mesin PT.Brau Agro Asia P.O.M yang ditinjau

Tabel 2. Data mesin

<i>Aspek</i>	<i>Data</i>
Tipe produk	Turbine Alternator
Berat mesin	100 kN
Dynamic Loading	Vertikal:160 kN; Horizontal: 35 kN
Massa Rotor	5 kN
h rotasi (C.G)	1 m
Motor Speed	5000 rpm
Vibration level	11,2 mm/sec
Panjang mesin	5,225 m
Tinggi mesin	2 m
Lebar mesin	2,21 m

Data Tanah

Data tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diperoleh dari penyelidikan tanah dilapangan oleh *Soil Investigation, CV. PRISMA SOENOE. 2021*. Pekerjaan pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi daya dukung tanah dilokasi proyek, sebagai dasar pendukung pembangunan, dimana akan didapatkan data-data real tanah dilapangan saat ini. Lokasi pengujian tanah berlokasi di PMKS, PT. Berau Agro Asia, Besa Gunung Sari Kecamatan Segah Kabupaten Berau – Kalimantan Timur. Mesin sendiri berada pada posisi titik S.05 dan BH.02.

Perhitungan Perencanaan Pondasi Mesin

Langkah perhitungan dalam perencanaan pondasi mesin dapat dirangkum sebagai berikut (Agung dkk., 2020; Ambada, 2013; Febrianto, 2015).

- Menentukan parameter tanah (Berat isi tanah (γ); Kepadatan tanah (ρ); Cepat geser gelombang tanah (V_s); Modulus geser tanah (G); Poisson ratio (μ)]
- Analisis Dimensi Pondasi Mesin tipe yang digunakan (Blok)
- 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
- Transmissibility*; merupakan besarnya beban yang akan disalurkan ketanah.
- Menghitung/mengecek analisa kemandirian pondasi mesin
- Menghitung penulangan

4. Analisis Data

Data Perencanaan

Selain data mesin, parameter tanah perlu dianalisis untuk digunakan dalam perencanaan. Data tanah disajikan sebagai berikut.

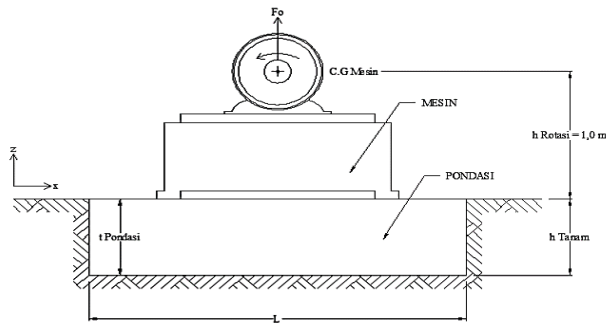
- Berat isi tanah (γ_d) = 17,20 kN/m³
- Gravitasi (g) = 9,81 m/s
- Kepadatan tanah (ρ) = $\frac{\gamma_d}{g} = \frac{17,20}{9,81} = 1,753 \text{ kNs}^2/\text{m}^4$
- V_s = 500 m/s
- Modulus Geser (G) = $\rho * V_s^2 = 1,753 \times 500^2 = 438328,236 \text{ kN/m}^2$
- Nilai kecepatan Gelombang geser tanah (V_s) didapat dari tabel
- Poisson ratio (μ) = 0,4

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

- Kekuatan Beton Karakteristik (f'_c) : 20,75 Mpa
- Kekuatan Leleh Baja (f_y) : 400 Mpa
- Berat Isi Beton (γ_{beton}) : 24 kN/m³

Perencanaan Dimensi Pondasi Mesin Tipe Blok

Berikut ini pada Gambar 3 adalah rencana awal bentuk pondasi mesin tipe blok yang akan digunakan untuk menopang mesin generator set.



Gambar 3. Sketsa rencana pondasi mesin tipe blok

Berat dan Massa Pondasi Mesin

- Panjang Pondasi (B) = 5,225 m
- Lebar Pondasi (L) = 2,21 m
- Tebal Pondasi (t) = 1,5 m
- h Tanam = 1,5 m
- Berat Pondasi (Wc) = $B \times L \times h \times \gamma_{beton} = 5,225 \times 2,21 \times 1,5 \times 24 = 415,701 \text{ kN}$
- Berat Mesin (Wm) = 100 kN
- Berat Total = Berat Pondasi + Berat Mesin = $415,701 + 100 = 515,701 \text{ kN}$
- Massa Total (m) = Berat Total / $9,81 \text{ m/sec}^2 = 515,701 / 9,81 = 5,257 \text{ kN}$
- Luas Dasar Pondasi = $B \times L = 5,225 \times 2,21 = 11,547 \text{ m}^2$
- Rasio Berat Pondasi

$$R = \frac{W_c}{W_m} > 3 \quad (13)$$

$R = \frac{415,701}{100} = 4,157$ (> 3), maka perbandingan berat pondasi masuk dalam persyaratan.

Analisa Daya Dukung Tanah

Data-data tanah

- Berat jenis tanah (γ) = 17,20 kN/m³
- Sudut geser tanah (ϕ) = 23,24°
- Cohesi (c) = 17,51 kPa

Kontrol daya dukung tanah

- a. Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (Q_{ult})
Besar $\phi = 23,24^\circ$ maka harga N_c , N_γ , N_q berdasarkan interpolasi nilai pada tabel Mayerhoff's Bearing Capacity Factors) adalah:

$$N_c = 18,35$$

$$N_\gamma = 8,88$$

$$N_q = 8,49$$

Faktor Kemiringan, kedalaman dan bentuk metode Mayerhoff untuk $\phi > 10$,

$$F_{cs} = 1 + 0,2(B/L) \tan^2(45 + \phi/2) = 1,125 \quad (14)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0,1(B/L) \tan^2(45 + \phi/2) = 1,063 \quad (15)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,2(D_f/L) \tan^2(45 + \phi/2) = 1,085 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} F_{qd} &= F_{\gamma d} = 1 + 0,1(D_f/L) \tan^2(45 + \phi/2) \\ &= 1,042 \\ F_{ci} &= F_{qi} = F_{\gamma i} = 1 \end{aligned} \quad (17)$$

Sehingga,

$$Q_{ult} = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (18)$$

dimana, $q = D_f \times \gamma = 1,5 \times 17,29 = 26,85$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= (17,51 \times 18,35 \times 1,125 \times 1,085 \times 1) + (26,85 \times 8,88 \times 1,063 \times 1,042 \times 1) + \\ &\quad (0,5 \times 17,20 \times 2,21 \times 8,49 \times 1,063 \times 1,042 \times 1) \\ &= 835,114 \text{ kPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{835,114}{3} = 278,371 \text{ kN/m}^2 \\ 50\% \cdot Q_{all} &= 139,186 \text{ kN/m}^2 \\ 75\% \cdot Q_{all} &= 208,779 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Besar tegangan tanah yang terjadi akibat beban statis (σ_{statis})

$$\begin{aligned} \sigma_{statis} &= \frac{W_{total}}{B \cdot L} - \gamma \cdot h_{tanam} \\ \sigma_{statis} &= \frac{515,701}{2,21 \times 5,225} - 17,20 \cdot 1,5 = 18,860 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (19)$$

Berdasarkan kriteria tegangan ijin tanah, persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah lebih kecil dari 50% daya dukung tanah atau untuk daya dukung statis dinamis adalah lebih kecil dari 75% daya dukung ijin tanah (J.E Bowles, 1996). Maka cek gaya dukung adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_{statis} &< 50\% Q_{all} \\ 18,860 \text{ kN/m}^2 &< 139,186 \text{ kN/m}^2 \quad \text{---> OK!} \end{aligned}$$

Analisis Penurunan Tanah

Penurunan segera dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S_e &= q_o (\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f \\ &= (44,6)(4 \times 1,105) \times \frac{1 - 0,4^2}{9000} \times (0,522)(0,8) = 0,0077 \text{ m} = 0,77 \text{ cm} = 7,7 \text{ mm} \end{aligned} \quad (20)$$

$$S_{e(rigid)} = 0,93 S_e = 0,93 \times 7,7 = 7,15 \text{ mm}$$

Penurunan konsolidasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \log \left(\frac{\sigma'_{o0} + \Delta \sigma}{\sigma'_{o0}} \right) \\ S_c &= \frac{0,69 \times 1,5}{1 + 0,948} \log \log \left(\frac{134,290 + 7,711}{134,290} \right) = 0,0129 \text{ m} = 12,9 \text{ mm} \end{aligned} \quad (21)$$

Analisa Gaya Dinamis (F_o)

Rotor pada mesin berputar terhadap sumbu y sehingga menghasilkan gaya dinamis arah sumbu x dan z sebesar

$$F_o = m e \omega^2 \quad (23)$$

,dimana:

m = massa rotor = 500 kg = 5 kN
e = eksentrisitas dari motor genset, didapatkan dari perumusan oleh American Petroleum Institute Standard for Centrifugal Compressors (API Standard), yaitu: $e \text{ (mil)} = \alpha \cdot (12000/\text{rpm})^{1/2} < 1,0 \text{ (mil)} \rightarrow \alpha = 1$ jika frekuensi mesin > 3000 rpm
 $e = 1 \times (12000/5000)^{1/2} = 1,55 > 1 \text{ mil}$,
maka diambil 1 mil = $1 \times 0,00254 \times 0,01 = 2,54 \times 10^{-5}$
 $f = 5000 \text{ rpm}$
 $\omega = 2 \times \pi \times (f/60) = 2 \times \pi \times (5000/60) = 523,599 \text{ rad/sec}$
 $F_o = m e \omega^2 = 5 \times 2,54 \times 10^{-5} \times 523,599^2 = 35 \text{ kN}$
Gaya Dinamik Vertikal, $F_v = 160 \text{ kN}$
Gaya Dinamik Horizontal, $F_h = 35 \text{ kN}$

Gaya horizontal F_o bekerja tidak pada titik berat total melainkan diatasnya yaitu pada titik berat mesin setinggi h rotasi = 1 m. Sehingga timbul momen yang bekerja terhadap sumbu y, Momen Dinamik Rocking, M_y

$$\begin{aligned} M_y &= F_o (\text{tebal pondasi} + h \text{ rotasi}) \\ &= 35 \times (1,5 + 1) = 87 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (24)$$

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan analisa pondasi mesin

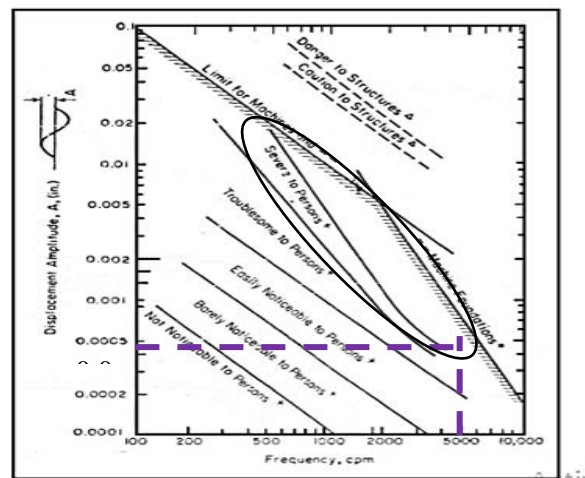
N o	Parameter	unit	Vertikal Vibration	Horizonta l Vibration	Rocking Vibration
1	<i>Dynamic Forced (F)</i>	kN	160	35	87
2	<i>Natural frequency (Fn)</i>	rpm	10994,097	9695,744	10231,890
3	<i>Frequency Ratio</i>		0,45	0,52	0,49
4	<i>Magnification Factor (M)</i>		0,191	0,213	1,181
5	<i>Transmissibility Factor (T)</i>		0,525	0,605	1,183
6	<i>Vibration Amplitude (A)</i>	in	$4,39 \times 10^{-6}$	$1,36 \times 10^{-6}$	$6,57 \times 10^{-6}$
7	<i>Amplitude Check (A_{total})</i>	in	0,00046	0,00070	
8	<i>Horizontal Peak Velocity</i>	in/se c			
9	<i>Force Transmitted (P)</i>	kN	84,024	21,049	102,931

Analisa Keamanan Pondasi Mesin

Pondasi mesin tipe blok digunakan menopang mesin tipe *rotary* dengan frekuensi (5000 rpm). Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang bekerja pada bidang putaran rotornya (arah h dan v). Akibat gaya dinamis ini timbul amplitudo: arah v sebesar 0,01166 mm (0,00046 in); dan arah h sebesar 0,01780 mm (0,00070 in). Dari pengecekan persyaratan masing-masing amplitudo diperoleh hasil sebagai berikut:

- a) Untuk amplitudo arah vertikal

Pengecekan dilakukan dengan menggunakan gambar dibawah ini Pada gambar ini mterlihat amplitudo vertikalnya masuk dalam kategori “*Severs to persons*”, yang berarti terasa terhadap orang



Gambar 2. Batasan amplitudo operasional pondasi mesin

atau mengganggu. Persyaratan maksimal amplitudo vertikal pondasi adalah "*troublesome to person*" maka besar amplitudo vertikal tidak memenuhi persyaratan keamanan.

b) Untuk amplitudo arah horizontal

Pengecekan dilakukan dengan menggunakan Tabel 1 mengenai kriteria kecepatan getaran horizontal dimana persyaratan maksimal batasannya "*good*", dimana kecepatan amplitudonya:

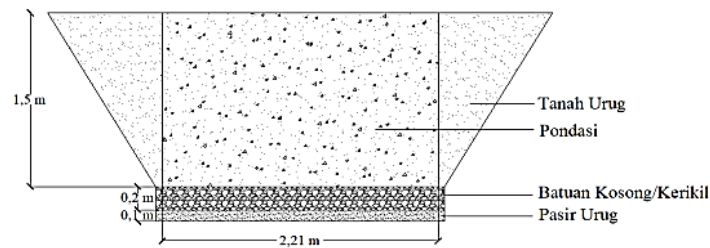
$$\begin{aligned} v &= 2\pi \times f \times (1/60) \times Ah \\ &= 2\pi \times 5000 \times (1/60) \times 0,00070 \\ &= 0,367 \text{ (masuk dalam zona Rough ---> Tidak OK)} \end{aligned} \quad (25)$$

Dari hasil nilai hitungan kecepatan amplitudo horizontal maka tidak memenuhi persyaratan dari batasan maksimal, maka harus diberi peredam mesin atau bisa didesain ulang dimensi serta bisa dilakukan tinjauan lain seperti meningkatkan peredam tanah. Sehingga syarat keamanan pondasi dapat terpenuhi.

5. Perhitungan Perbaikan Dimensi Pondasi Dan Parameter Tanah

Analisa Ulang Perubahan Dimensi Dan Parameter Tanah

Dimensi pondasi diketahui Panjang 5,225 m; Lebar 2,1 m; Tinggi 1,5 m. Pada perbaikan parameter tanah ini, salah satu langkah yang dilakukan yaitu perbaikan tanah (*soil improvement*) pada tanah dasar diletakkan atau didudukkannya blok pondasi sehingga meningkatkan bantalan beban dan atau kekuatan geser tanah, cara yang dilakukan yaitu memadatkan tanah dasar, berikan pasir atau kerikil diatas tanah dasar pondasi.



Gambar 5. Penampang Pondasi dan lapisan pasir dan kerikil dibawah pondasi

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Berat isi tanah } (\gamma_d) &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Gravitasi } (g) &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \text{Kepadatan tanah } (\rho) &= \frac{\gamma_d}{g} = \frac{20}{9,81} = 2,039 \text{ kNs}^2/\text{m}^4 \\ V_s &= 1035 \text{ m/s} \\ \text{Modulus geser tanah } (G) &= \rho \cdot V_s^2 = 1,725 \times 1035^2 = 2183944,954 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Poisson ratio } (\mu) &= 0,4 \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi hasil perhitungan analisa dinamis pondasi mesin (perubahan)

No	Parameter	unit	Vertikal Vibration	Horizontal Vibration	Rocking Vibration
1	Dynamci Forced (F)	kN	160	35	87
2	Natural frequency (Fn)	rpm	22757,782	20070,189	21180,013
3	Frequency Ratio		0,220	0,249	0,237
4	Magnification Factor (M)		0,182	0,200	1,051
5	Transmissibility Factor (T)		0,290	0,326	1,051
6	Vibration Amplitudo (A)	in	$9,76 \times 10^{-7}$	$2,99 \times 10^{-7}$	$1,36 \times 10^{-6}$
7	Amplitudo Check (Atotal)	in	0,000098	0,000146	
8	Horizontal Peak Velocity	in/se c			
9	Force Transmitted (P)	kN	46,352	11,341	91,500

Perubahan yang terjadi terletak pada besarnya frekuensi natural yang makin besar dan besarnya *Vibration amplitude* atau getaran yang terjadi semakin kecil beban yang ditransfer ke tanah akan semakin kecil sehingga keberadaan posisi pondasi terasa aman disekitar lingkungan pondasi didudukkan.

Analisa Keamanan Pondasi Mesin

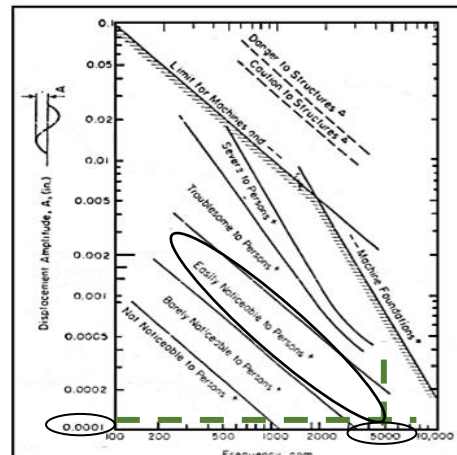
Pondasi mesin tipe blok digunakan menopang mesin tipe *rotary* dengan frekuensi (5000 rpm). Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang bekerja pada bidang putaran rotornya (arah h dan v). Akibat gaya dinamis ini timbul amplitudo arah v sebesar 0,00249 mm (0,00010 in) dan arah h sebesar 0,00371 mm (0,00015 in).

Bila masing-masing amplitudo di-check persyaratannya, maka akan didapat hasil sebagai berikut:

- a) Untuk amplitudo arah vertikal

Pengecekan dilakukan dengan menggunakan gambar dibawah ini Pada gambar ini mterlihat amplitudo vertikalnya masuk dalam kategori "*Easily Noticeable to person*", yang berarti sedikit terasa terhadap lingkungan sekitar. Persyaratan maksimal amplitudo vertikal pondasi adalah "*troublesome to person*" maka besar amplitudo vertikal memenuhi persyaratan keamanan.Pengecekan dilakukan dengan

- b) Untuk amplitudo arah horizontal menggunakan Tabel 1 kriteria kecepatan getaran horizontal dimana persyaratan maksimal batasannya "*good*", dimana kecepatan amplitudonya:



Gambar 3. Batasan amplitudo operasional pondasi mesin

$$v = 2\pi \times f \times (1/60) \times Ah = 2\pi \times 5000 \times (1/60) \times 0,00015 = 0,077 \text{ (masuk dalam zona "GOOD")} \rightarrow \text{OK}$$

Dari hitungan tersebut diatas menunjukkan amplitudo arah horizontal berada dizona Good tepat berada pada syarat batas amplitudo arah horizontal. Jika kita menginginkan supaya berada pada batas Smooth atau very good maka akan ada perbaikan dari dimensi dan perbaikan tanah yang lebih dari pada dimensi ketika berada pada zona good. Amplitudo arah horizontal berada pada zona good saya pakai karena sudah berada pada syarat yang dibuat dan untuk tidak banyak melakukan perbaikan dan tidak terlalu banyak nanti melakukan perbaikan tanah. Oleh sebab itu, keamanan pondasi terhadap amplitudo yang terjadi dari arah vertikal dan horizontal telah memenuhi persyaratan ketika dilakukan perubahan desain dari perbaikan tanah yang dilakukan pada daerah lokasi blok pondasi didudukkan.

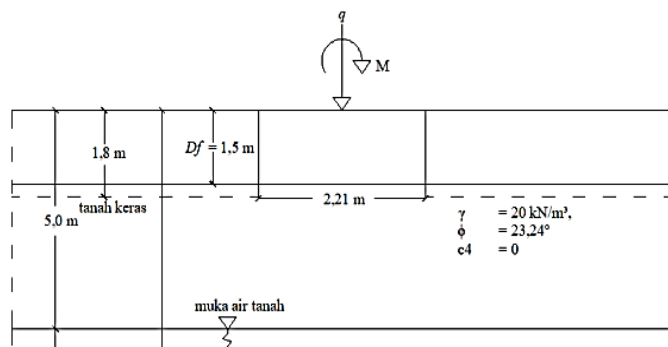
Kontrol Daya Dukung Tanah

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (Q_{ult})

Besar $\phi = 23,24^\circ$ maka harga N_c , N_γ , N_q berdasarkan tabel Mayerhoff's Bearing Capacity Factors) yaitu: $N_c = 18,35$; $N_\gamma = 8,88$; $N_q = 8,49$

$$e = 2,49 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$B' = L - 2e = 5,225 - 2(2,49 \times 10^{-6}) = 5,224998 \text{ m}$$



Gambar 4. Ilustrasi daya dukung tanah

Faktor Kemiringan, kedalaman dan bentuk metode Mayerhoff untuk $\phi > 10$ dari Tabel 4.3 buku (Braja M. Das hal. 171)

$$\begin{aligned} F_{qs} &= F_{\gamma s} = 1 \\ F_{qi} &= F_{\gamma i} = 1 \\ F_{qd} &= 1 + 0,2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/L) = 1,203 \\ F_{\gamma d} &= 1 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$q_u = q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

dimana, $q = Df \times \gamma = 1,5 \times 20 = 30 \text{ kN/m}^2$

maka

$$q_u = (30 \times 8,88 \times 1 \times 1,203 \times 1) + (0,5 \times 20 \times 5,224998 \times 8,49 \times 1 \times 1) = 763,949 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{u(e)} = q_u \left(1 - \frac{2e}{L} \right) = 763,949 \times \left(1 - \frac{2 \times 1,166 \times 10^{-5}}{5,225} \right) = 763,948 \text{ kN/m}^2$$

Besar daya dukung tanah yang diijinkan (Q_{all})

SF yang diambil = 3

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{763,948}{3} = 254,649 \text{ kN/m}^2$$

$$50\% \cdot Q_{all} = 127,325 \text{ kN/m}^2$$

$$75\% \cdot Q_{all} = 190,987 \text{ kN/m}^2$$

Besar tegangan tanah yang terjadi

- Akibat Beban Statis (σ_{statis})

$$\sigma_{statis} = \frac{W_{total}}{B \times L} - \gamma \times h_{tanam} = \frac{515,701}{2,21 \times 5,225} - 20 \times 1,5 = 14,660 \text{ kN/m}^2$$

- Akibat Beban Statis + Beban Dinamis

$$\begin{aligned} \sigma_{statis+dinamis} &= \frac{W_{total} + P_v}{B \times L} + \frac{(P_H \times h) + P_M}{\frac{1}{6} \times B^2 \times L} - \gamma_{tanah} \times h_{tanam} \\ &= \frac{515,701 + 46,352}{5,225 \times 2,21} + \frac{(11,341 \times 1,5) + 91,5}{\frac{1}{6} \times 5,225^2 \times 2,21} - 20 \times 1,5 = 29,465 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan kriteria tegangan ijin tanah, persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah lebih kecil dari 50% daya dukung tanah atau untuk daya dukung statis dinamis adalah lebih kecil dari 75% daya dukung ijin tanah (J.E Bowles, 1996). Maka cek gaya dukung adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_{statis} &< 50 \% Q_{all} \\ 14,660 \text{ kN/m}^2 &< 127,325 \text{ kN/m}^2 & \text{----> OK!} \\ \sigma_{statis+dinamis} &< 75 \% Q_{all} \\ 29,465 \text{ kN/m}^2 &< 190,987 \text{ kN/m}^2 & \text{----> OK!} \end{aligned}$$

Perhitungan Penurunan Tanah

Penurunan Segera dan penurunan konsolidasi dilakukan kembali dengan persamaan (20) dan persamaan (21), sehingga diperoleh nilai

$$S_e = (59,465)(4 \times 1,105) \times \frac{1 - 0,4^2}{9000} \times (0,522)(0,8) = 0,0103 \text{ m} = 0,103 \text{ cm} = 10,3 \text{ mm}$$

$$S_{e(rigid)} = 0,93S_e = 0,93 \times 10,3 = 9,63 \text{ mm}$$

$$S_c = \frac{0,69 \times 1,5}{1 + 0,948} \log \left(\frac{160,825 + 10,268}{160,825} \right) = 0,0143 \text{ m} = 1,43 \text{ cm} = 14,3 \text{ mm}$$

Perhitungan Penulangan Pondasi Tipe Blok

Perhitungan elemen pondasi mesin tipe blok yang berupa struktur beton bertulang dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2002. Adapun perhitungan penulangan akan membahas dua tipe penulangan yang utama yaitu penulangan lentur dan penulangan geser. Jadi, besar momen yang dipakai untuk perhitungan penulangan adalah sebesar 164.626.776,894 Nmm.

Perhitungan Penulangan Lentur Pondasi Mesin Tipe Blok

Adapun cara untuk menentukan jumlah dan luas tulangan yang dibutuhkan maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari $\rho_{balance}$, ρ_{max} , ρ_{min} . Nilai-nilai tersebut dapat diperoleh dengan persamaan sebelumnya yakni persamaan (1) hingga persamaan (9).

$$\begin{aligned} d &= 1500 - 75 - 13 - (1/2 \times 22) = 1401 \text{ mm} \\ n &= \frac{200000}{21409,519} = 9,342 \\ m &= \frac{170}{0,85 \times 9,338} = 21,419 \\ \rho_{balance} &= \frac{170}{9,338} \times \left(\frac{600}{600 + 170} \right) = 14,187 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times 14,187 = 10,640 \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{170} = 0,0082 \\ R_n &= \frac{164626776,894}{2210 \times 1401} = 0,038 \\ \rho_{perlu} &= \frac{1}{21,419} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 21,419 \times 0,027}{170}} \right) = 2,23 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847-2002 pasal 12.5.3 untuk struktur yang luas dan massif, nilai ρ_{perlu} minimal adalah 1,3 ρ_{perlu} hasil hitungan. Dan hasil perhitungan ternyata $\rho_{min} > \rho_{perlu}$ minimal, maka dipakai ρ_{min} untuk perhitungan As perlu.

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 0,0082 \times 2210 \times 1401 = 25498,2 \text{ mm}^2 \\ As \text{ tulangan } \varnothing 22 &= (0,25 \times \pi \times 22^2) = 380,133 \text{ mm}^2 \\ \text{Jumlah tulangan} &= \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{25498,2}{380,133} = 67,077 \approx 68 \text{ buah} \\ \text{Jarak tulangan} &= \frac{L}{\text{jumlah tulangan}} = \frac{5225}{68} = 76,838 \text{ mm} \approx 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, tulangan rencana yang akan dipasang D22-75.

Perhitungan Penulangan Geser Pondasi Mesin Tipe Blok

Nilai gaya lintang atau geser maksimum, V_u dapat dicari menggunakan cara berikut:

$$V_u = 434,988 \left(\frac{1}{2} \times 5,225 - 0,21 \right) = 1.045,060 \text{ kN} = 1.045.059,501 \text{ N}$$

Untuk struktur balok, pelat satu arah, maupun pondasi telapak, dimana geser hanya dipikul oleh beton saja, maka tegan geser rencana (v) harus dihitung dengan:

$$v = \frac{V_u}{B_w \times d} = \frac{1045059,501}{2210 \times 1401} = 0,338 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 V_{u/\emptyset} &= V_c + V_s \\
 &= \frac{1045059,501}{0,75} = 1393412,668 \text{ N} \\
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \sqrt{20,75} \times 2210 \times 1401 = 2350651,296 \text{ N} \\
 \emptyset.V_c &= 0,75 \times 2350651,296 = 1762988,472 \text{ N} \\
 \emptyset.V_c &> V_u \\
 1762988,472 \text{ N} &> 1393412,668 \text{ N}, \text{ maka tidak perlu tulangan geser}
 \end{aligned}$$

Jadi, $\emptyset.V_c > V_u$ karena tidak perlu diberikan tulangan geser tetapi untuk menjaga jarak tulangan atas dan bawah maka diperlukan tetapi cukup tulangan diameter minimum.

6. Kesimpulan

Dari analisis data yang telah disajikan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Penurunan yang terjadi, yaitu Penurunan Segera dengan nilai sebesar 0,00963 m (9,63 mm); Penurunan Konsolidasi dengan nilai sebesar 0,0143 m (14,3 mm).
- Terdapat permasalahan pada bagian persyaratan getaran mesin yang terjadi terlalu besar, sehingga penulis meredesain pondasi dengan melakukan perbaikan tanah dasar dimana pondasi mesin berdiri. Hasil perencanaan diperoleh desain pondasi mesin dengan ketebalan 1,5 meter dengan panjang 5,225 meter dan lebar 2,21 meter. Serta mutu beton yang digunakan (f'_c) 20,75 Mpa dan Mutu Tulangan (f_y) 400 Mpa.
- Mesin generator set ini memiliki frekuensi 5000 rpm dan besarnya amplitude vertikal yang terjadi sebesar 0,00010 in, masuk dalam kategori “Easily Noticeable to person”, yang berarti sedikit terasa terhadap lingkungan sekitar. Besarnya amplitude horizontal 0,077 masuk dalam zona “Good”. Kedua kategori masuk dalam syarat aman persyaratan perencanaan pondasi mesin.
- Analisis yang dilakukan penulis menggunakan data kerja yang sudah ada. Perbedaan analisis ditemukan di analisis penulangan pondasi jarak tulangan baik tulangan lentur maupun geser serta diameter tulangan yang dipakai berbeda. Tulangan lentur yang saya desain memakai D22-75 dan tulangan geser memakai tulangan minimum D8-300 sedangkan dalam analisis gambar dari pabrik tulangan lentur memakai D16-95 dan tulangan geser D10-100.

7. Referensi

- Agung, P. A. M., Sijabat, J., & Khairunnisa, N. S. (2020). Analisis Dan Desain Dinamis Pondasi Dangkal Berdasarkan Data CPT. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 1(2), 1–13.
- Ambada, A. D. (2013). *Perancangan Struktur Pondasi Mesin Blower Pada Pabrik Pengolahan Emas Martabe Di Tapanuli Selatan, Sumatra Utara*. Universitas Mercu Buana.
- Arya, S. C., O'Neill, M. W., & Pincus, G. (1979). *Design of structures and foundations for vibrating machines*. Gulf Publishing Company Houston, Texas.
- SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, (2002).
- Baxter, R. L., & Bernhard, D. L. (1967). Vibration Tolerances for Industry. ASME Paper-PEM-14. *Plant Engineering and Maintenance Conference, Detroit Michigan*.
- Blake, M. P. (1964). New vibration standards for maintenance. *Hydrocarbon Processing and Petroleum Refiner*, 43(1), 111–114.
- Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principles of foundation engineering*. Cengage learning.
- Febrianto. (2015). *Perencanaan Dan Pelaksanaan Pondasi Mesin-mesin Generator PT. EPFM*. Universitas Hasanuddin.
- Kutter, B. L., Moore, M., Hakhamaneshi, M., & Champion, C. (2016). Rationale for shallow foundation rocking provisions in ASCE 41-13. *Earthquake Spectra*, 32(2), 1097–1119.
- Prakash, S., & Puri, V. K. (1988). *Foundations for machines: analysis and design*. Wiley-Interscience.
- Setiawan, A. (2016). *Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847: 2013*. Jakarta: Erlangga, 301.

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL

**Perencanaan Pondasi Mesin Pabrik Kelapa Sawit
(Studi Kasus: PT. Brau Agro Asia P.O.)**

Teguh Solafide GULO, Simon Dertha TARIGAN

Analisis Potensi Likuefaksi Dengan Global Geospasial Model (GGM) di Kecamatan Medan Belawan

Diki PRABOWO, SUGENG, Lailatul Husna LUBIS

Analisis Parameter Untuk Perencanaan Bangunan Intake

Binsar SILITONGA, Miduk E. SIDABUTAR, Rizal D. TAMBA

Analisis Biaya dan Waktu Pekerjaan Konstruksi Struktur Rangka Atap Baja Portal Frame dan Portal Truss

Edison Hatoguan MANURUNG, Alip PRAJOKO, Oloan SITOANG, HARYANTO

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Risiko Pada Proyek Konstruksi Infrastruktur

Ebenezher SIRAIT, Edison Hatoguan MANURUNG, Abdul MUBAROK, SURIPTO

Analisis Persepsi Implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Era Society 5.0

Edison Hatoguan MANURUNG, Abdul MUBAROK, Sony Heru Tua PASARIBU, SURIPTO



Pengantar Redaksi

Puji dan syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih karuniaNYA kami dapat menyelesaikan penerbitan Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Volume 6 Nomor 1 di bulan April tahun 2023 ini. Pada edisi ini, telah diterbitkan 6 artikel yang telah melewati proses *peer-review* dan penyuntingan artikel. Keenam artikel tersebut terdiri atas 2 (dua) artikel dalam topik Rekayasa Geoteknik, 1 (satu) artikel dalam topik Teknik Sumber Daya Air, 2 (dua) artikel dengan topik Manajemen Konstruksi, serta 1 (satu) artikel dalam topik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Dewan redaksi menyampaikan apresiasi tinggi kepada para penulis yang karyanya diterbitkan pada volume ini, atas kerja samanya merespon komentar dan rekomendasi dari tim editorial dan mitra bestari. Ungkapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para mitra bestari atas kontribusi dukungannya dan kesediaannya menyambut permintaan kami untuk menelaah karya ilmiah yang masuk.

Sebagai penutup, kami memiliki harapan bahwa JRKMS semakin bermanfaat dalam dunia keteknipsipil di Indonesia, serta menjadi pilihan bagi seluruh kalangan (akademisi, praktisi, mahasiswa, dsb.) untuk mempublikasikan dan memasarkan karya tulisnya untuk dinikmati secara luas.

Salam hangat dan Salam sehat.

Medan, April 2023

Tim Editorial

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas berisi artikel-artikel ilmiah yang meliputi kajian di bidang teknik khususnya Teknik Sipil, seperti matematika teknik, mekanika teknik, analisis struktur, konstruksi baja, konstruksi beton, konstruksi kayu, konstruksi gelas, mekanika tanah, teknik pondasi, hidrologi, hidrolika, bangunan air, manajemen konstruksi, dinamika struktur, *earthquake engineering*, sistem dan rekayasa transportasi, ilmu ukur tanah, struktur bangunan sipil, rekayasa jalan raya, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan bidang-bidang tersebut.

Terbit dalam 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan April dan September

Penasihat :

Rektor Universitas Katolik Santo Thomas

Ketua Penyunting (Editor in Chief) :

Ir. Oloan Sitohang, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Manajer Penyunting (Managing Editor):

Reynaldo, S.T., M.Eng. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Anggota Penyunting (Editorial Board):

Dr.-Ing. Sofyan, S.T, M.T. (Universitas Malikussaleh)

Dr. Dwi Phalita Upahita (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)

Samsuardi Batubara, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr. Janner Simarmata (Universitas Negeri Medan)

Mitra Bestari (Peer Reviewer):

Dr.Eng. Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. (Universitas Lampung, Indonesia)

Ir. Binsar Silitonga, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Budi Hasiholan, S.T., M.T., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia)

Ir. Charles Sitindaon, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Erica Elice Uy (De La Salle University, Philippines)

Dr. Ernesto Silitonga, S.T, D.E.A. (Universitas Negeri Medan, Indonesia)

Prof. Dr-Ing. Johannes Tarigan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)

Dr. Linda Prasetyorini (Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia)

Ir. Martius Ginting, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr.Eng. Mia Wimala (Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia)

Dr.Eng. Minson Simatupang (Universitas Halu Oleo, Indonesia)

Dr. Mochamad Raditya Pradana (Keppel Marine and Deepwater Technology, Singapura)

Dr. Ir. Shirley Susanne Lumeno, S.T., M.T. (Universitas Negeri Manado, Indonesia)

Dr. Senot Sangadji (Universitas Sebelas Maret, Indonesia)

Ir. Simon Dertha, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Thi Nguyễn Cao (Tien Giang University, Viet Nam)

Ilustrator Sampul:

Yulianto, ST., M.Eng (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Penerbit & Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas

Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjung Sari, Medan 20132

Telp. (061) 8210161 Fax : (061) 8213269

email : sipil@ust.ac.id

Konten

REKAYASA GEOTEKNIK	hal.
Perencanaan Pondasi Mesin Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus: PT. Brau Agro Asia P.O.)	1-13
<i>Teguh Solafide GULO, Simon Dertha TARIGAN</i>	
Analisis Potensi Likuefaksi Dengan Global Geospasial Model (GGM) di Kecamatan Medan Belawan	15-21
<i>Diki PRABOWO, SUGENG, Lailatul Husna LUBIS</i>	
TEKNIK SUMBER DAYA AIR	
Analisis Parameter Untuk Perencanaan Bangunan Intake	23-30
<i>Binsar SILITONGA, Miduk E. SIDABUTAR, Rizal D. TAMBA</i>	
MANAJEMEN KONSTRUKSI	
Analisis Biaya dan Waktu Pekerjaan Konstruksi Struktur Rangka Atap Baja Portal Frame dan Portal Truss	31-39
<i>Edison Hatoguan MANURUNG, Alip PRAJOKO, Oloan SITOANG, HARYANTO</i>	
Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Risiko Pada Proyek Konstruksi Infrastruktur	41-47
<i>Ebenhezher SIRAIT, Edison Hatoguan MANURUNG, Abdul MUBAROK, SURIPTO</i>	
KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA	
Analisis Persepsi Implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Era Society 5.0	49-55
<i>Edison Hatoguan MANURUNG, Abdul MUBAROK, Sony Heru Tua PASARIBU, SURIPTO</i>	

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL
| Volume 6 | Nomor 1 | April 2023 |

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas
<https://doi.org/10.54367>

