

BAB IV PEMBAHASAN

Pada pembahasan kali ini akan diuraikan proses perhitungan pondasi dinamis sehingga didapatkan desain pondasi ekonomis dan efisien. Proses perhitungannya dihasilkan dimensi pondasi yang dilihat dari segi penurunan dan daya dukung dikatakan aman. Dalam Bab ini juga direncanakan penulangan dengan menggunakan peraturan SNI 03-2847-2002 dan PBI 1971. Berikut dijelaskan langkah-langkah perhitungannya.

4.1 Penentuan Parameter

4.1.1 Parameter Tanah

- Berdasarkan penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya diketahui tanah di lapangan merupakan jenis tanah lempung.
- Perencanaan pondasi dinamis direncanakan di titik bohr 06 dengan N-SPT tercantum (lihat lampiran).
- Rasio Poisson, $\mu = 0,5$ (diambil perkiraan berdasarkan kondisi tanah di lapangan)
- Modulus Geser tanah dinamis (G_s) ditentukan berdasarkan data tes lapangan yaitu dengan harga N-SPT. (Imai, 1977)

$$G_s = \rho_s \cdot V_s^2$$

Dimana : γ (berat volume tanah), diambil berdasarkan besar γ pada kedalaman tanah tertentu, dari data *bohring log* menunjukkan nilai 2067 kg/m³ dengan nilai N-SPT = 13

densitas massa tanah disekitar blok pondasi (*pile cap*) dapat diketahui

dengan rumus $\rho_s = \gamma/g$;

dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

sehingga nilai $V_s = 91 \cdot N^{0,337}$

Dengan nilai kecepatan gelombang geser dalam tanah $V_s = 215,993$

Maka diperoleh nilai Modulus Geser

$$G_s = \rho_s \cdot V_s^2$$

= 9829967 kg/m²

- Berikut gambaran tempat perencanaan pondasi dinamis

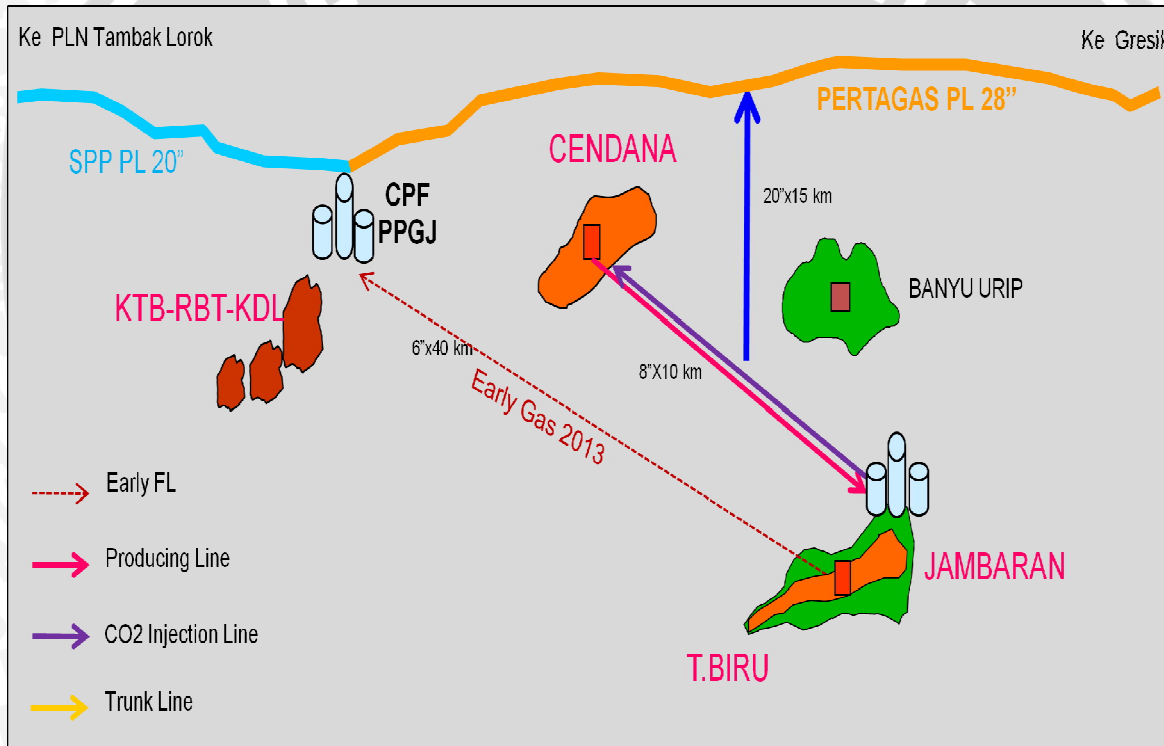
Pondasi dinamis diletakan ditempat yang memungkinkan penyaluran gas dari tempat pengambilan ke tempat penyimpanan (lihat Gambar 4.1) yaitu di Bohr Log B-06 dengan koordinat sebagai berikut :

Koordinat X = 580535,000

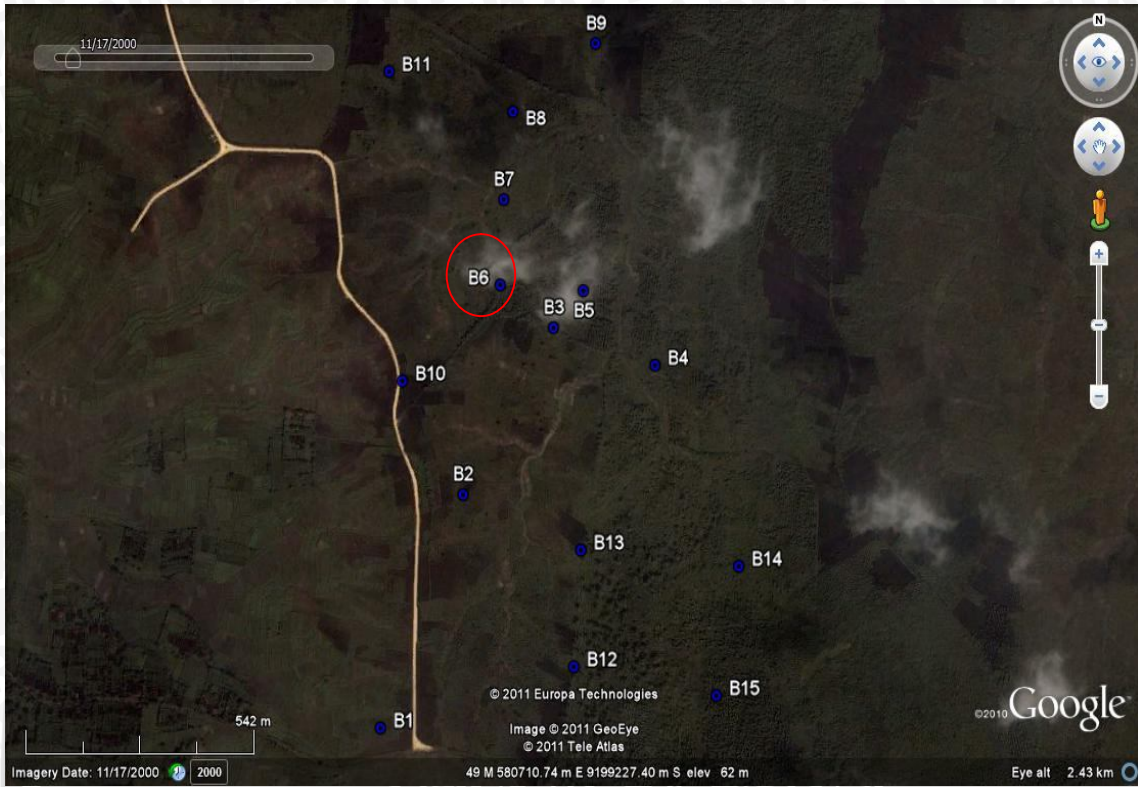
Koordinat Y = 9199460,000

Spot = 66,44

Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3



Gambar 4.1 Skema penyaluran gas



Gambar 4.2 Letak titik bor



Gambar 4.3 Keadaan tempat pembangunan pondasi dinamis

4.1.2 Parameter Mesin

Mesin yang digunakan adalah mesin tipe submersible yang berguna untuk mengalirkan gas dan memisahkannya dengan cairan atau zat kimia lainnya. Dalam proses pengaliran gas biasanya dibutuhkan lebih dari satu mesin yang dioperasikan secara bersamaan. Dalam skripsi ini hanya dihitung satu mesin dalam satu pondasi dengan pertimbangan untuk penambahan mesin selanjutnya dapat dengan cara mengidentikan dengan satu mesin ini. Mesin yang digunakan adalah mesin *submersible pumps* dengan tipe JCU 10X12-22 9 produksi *Goulds Pumps*, untuk spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada lampiran. Berikut spesifikasi yang diperlukan dalam perhitungan.

- Berat rotor 400 kg
- Berat mesin dan peralatannya = 1488 kg = 14,592 kN
- Kecepatan operasi $f = 1750$ rpm

$$\omega = \frac{f \cdot 2\pi}{60} = 183,333 \text{ rad/det}$$

- Eksentrisitas massa tak seimbang (unbalanced massa), $e = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$
- Amplitudo *unbalanced force* vertikal dan horisontal pada frekuensi operasi,
 $Q_0 = m_r \cdot e \cdot \omega^2 = 400/9,81 \times 0.002 \times 183,333^2 = 2740,967 \text{ kg}$

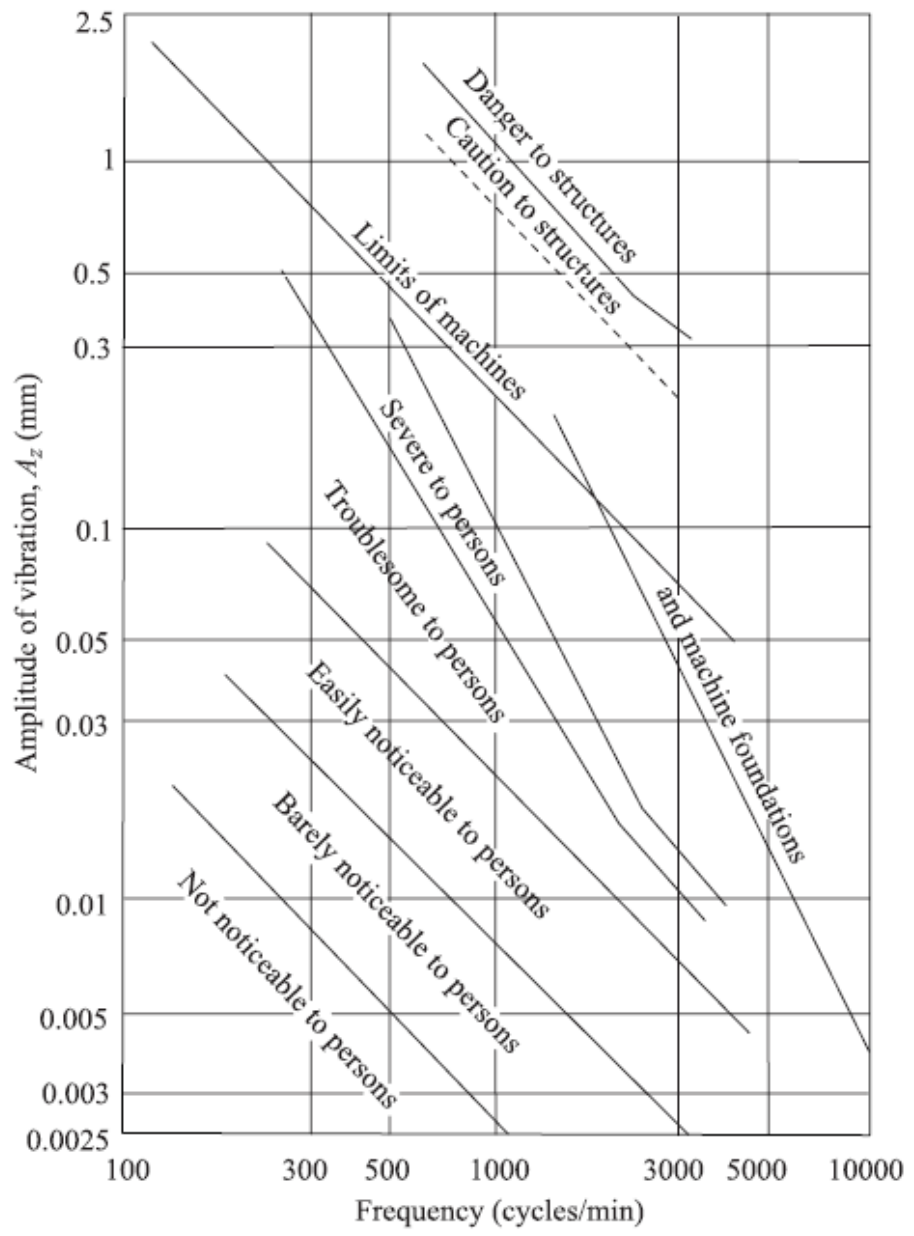
$$\begin{aligned} M(t) &= Q_0 \cdot (T_{\text{pondasi}} + t_{\text{mesin}}) \\ &= 2740,967 \times (3 + 1,638) \\ &= 12712,606 \text{ kg m} \end{aligned}$$

- Ukuran : Tinggi = 1,499 m
 Panjang = 1,638 m
 Lebar = 1,095 m

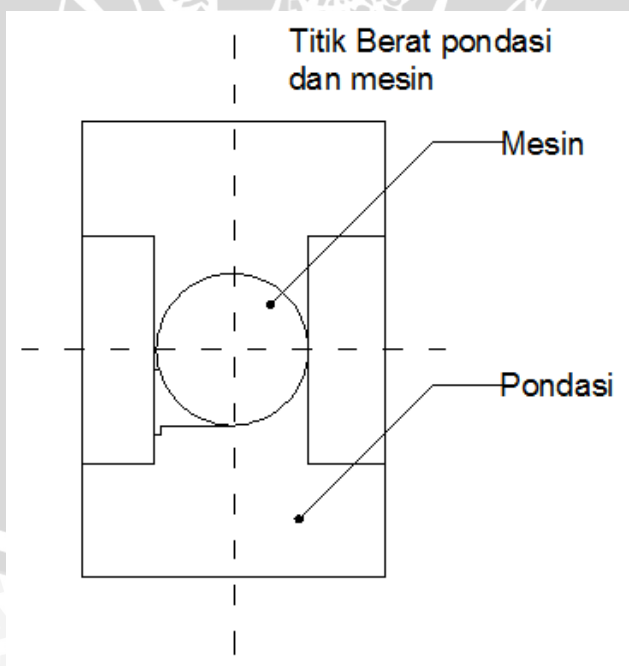
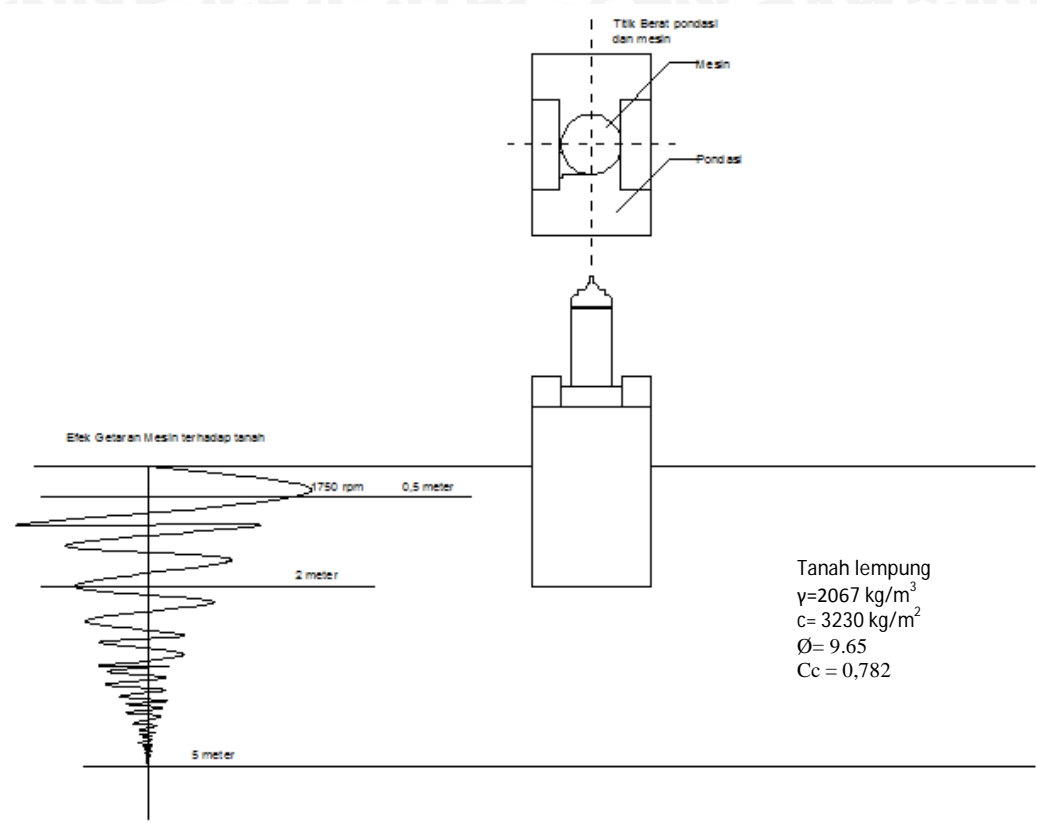
- Amplitudo maksimum mesin sebagaimana Gambar 4.4 sebesar 0,18 mm. Pada Gambar 4.4 tercantum grafik hubungan antara frekuensi mesin dan amplitudo maksimum yang diijinkan. Menurut Richart (1962) amplitudo maksimum yang diperbolehkan adalah sebagaimana grafik pada Gambar 4.4.

Sebelum dilakukan perhitungan, perlu ditentukan sketsa perletakan mesin pada pondasi dan pengaruh getaran mesin pada tanah di bawahnya untuk

mempermudah dan meningkatkan ketelitian dalam perhitungan selanjutnya. Sketsa dan pengaruh getaran mesin pada tanah dibawahnya dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik frekuensi mesin dengan amplitudo ijin



Gambar 4.5 Perletakan mesin dan pengaruh terhadap tanah

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa pengaruh getaran mesin dapat mencapai kedalaman 5 meter dari permukaan tanah. Semakin ke dalam pengaruh getaran semakin kecil. Pada kedalaman tertentu tanah mendapat pengaruh getaran maksimum sebesar 1750 rpm. Titik berat pondasi dan titik berat mesin direncanakan berada pada satu titik agar tidak menghasilkan eksentrisitas yang terlalu besar yang pada akhirnya membahayakan mesin dan pondasi yang telah ada. Terlihat pada Gambar 4.5, titik berat pondasi dan titik berat mesin hampir berimpitan.

4.1.3 Parameter Pondasi

Menentukan ukuran pondasi merupakan yang menjadi inti perancangan pondasi mesin. Ukuran pondasi dicoba-coba sampai mendapatkan ukuran yang aman terhadap penurunan dan daya dukung, tentunya dengan memperhatikan beberapa kondisi yang mempengaruhi ukuran pondasi yang dipilih. Berikut ini adalah ukuran pondasi yang terekonomis dan teraman.

- Ukuran pondasi $L = 3 \text{ m}, B = 2 \text{ m}, T = 3 \text{ m}$
- Luas dasar pondasi

$$A = B \times L = 2 \times 3 = 6 \text{ m}^2$$
- Berat pondasi

$$W_{pondasi} = B \times L \times T \times \gamma_b = 2 \times 3 \times 3 \times 2400 = 43200 \text{ kg}$$
- Massa pondasi

$$m_{pondasi} = \frac{W}{g} = \frac{43200}{9.81} = 4403,67 \text{ kg det}^2/\text{m}$$
- Massa mesin

$$m_{mesin} = 1488/9,81 = 151,661 \text{ kg det}^2/\text{m}$$
- Massa total

$$m = 4404 + 151,661 = 4555,33 \text{ kg det}^2/\text{m}$$
- Momen inersia pondasi

$$I_x = \frac{BL^3}{12} = \frac{23^3}{12} = 4,5 \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{LB^3}{12} = \frac{32^3}{12} = 2 \text{ m}^4$$

$$I_z = J = I_x + I_y = 4.5 + 2 = 6,5 \text{ m}^4$$
- Momen inersia massa dasar pondasi

$$\begin{aligned}
 I_{\theta z} &= \frac{1}{12} \times m \times (L^2 + B^2) \\
 &= 1/12 \times 4555,33 \times (3^2 + 2^2) \\
 &= 4934,94 \text{ kg det}^2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Momen tahanan

$$\begin{aligned}
 W_x &= \frac{1}{6} BL^2 = 1/6 \times 2 \times 3^2 = 3 \text{ m}^3 \\
 W_y &= \frac{1}{6} LB^2 = 1/6 \times 3 \times 2^2 = 2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.2 Analisis Pendekatan Metode Elastis Half Space

Menentukan jari-jari, rasio inersia, faktor redaman, konstanta redaman, konstanta pegas, frekuensi alami. Dari frekuensi alami dapat ditentukan frekuensi resonansi dan amplitudo pada frekuensi resonansi. Analisis perhitungan meliputi analisis vertikal, analisis horisontal, analisis rocking, analisis torsi.

4.2.1 Analisis Vertikal

Pada analisis ini dikhususkan untuk menganalisis gaya-gaya vertikal yang dihasilkan oleh mesin yang diterima pondasi. Karena gaya mesin didukung dengan berat mesin maka menimbulkan getaran dan gaya yang semakin besar, maka dalam analisis vertikal perlu ketelitian dalam perhitungan. Proses perhitungannya adalah sebagai berikut.

Jari-jari efektif

Perhitungan jari-jari efektif dilakukan dengan cara mengekivalenkan luas pondasi persegi dengan pondasi lingkaran.

$$\begin{aligned}
 r_{0z} &= \sqrt{\frac{BL}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 3}{\pi}} = 1,382 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rasio massa didapat dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 B_z &= \frac{1-\mu}{4} \times \frac{m}{\rho r_0^3} \\
 &= \frac{1-0,5}{4} \times \frac{4555,331}{210,703 \times 2,638} = 1,025
 \end{aligned}$$

Konstanta pegas untuk vertikal adalah sebagai berikut :

$$k_z = \frac{4Gr_0}{1-\mu}$$

$$= \frac{4 \times 98299,67 \times 1,382}{1-0,5} = 1086564$$

Konstanta redaman menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} c_z &= \frac{3.4r_0^2}{1-\mu} \sqrt{G\rho} \\ &= \frac{3.4 \times 1,382^2}{1-0,5} \sqrt{98299,673 \times 210,703} = 59080,93 \end{aligned}$$

Rasio redaman adalah perbandingan antara redaman yang terjadi dengan redaman kritis, sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \xi_z &= \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \\ &= \frac{0,425}{\sqrt{1,025}} = 0,42 \end{aligned}$$

Frekuensi alami tergantung pada nilai konstanta pegas, semakin besar nilai konstanta pegas semakin besar nilai frekuensi alami.

$$\begin{aligned} f_{nz} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z}{m}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1086564}{4555,331}} = 2,457 \text{ cps} = 147,42 \text{ cpm} \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi

Dari frekuensi alami dan rasio redaman maka dapat ditentukan besar frekuensi resonansi yang berpengaruh pada perhitungan selanjutnya.

$$\begin{aligned} f_{mz} &= f_{nz} / \sqrt{1 - 2\xi^2} \\ &= 147,42 / \sqrt{1 - (2 \times 0,42^2)} = 183,223 \text{ cpm} \end{aligned}$$

Amplitudo pada frekuensi resonansi

Untuk menghitung frekuensi resonansi digunakan persamaan berikut ini untuk mempermudah perhitungan yaitu menentukan m_r e terlebih dahulu.

Proses perhitungannya sebagai berikut :

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_{mz} = 1151,687$$

$$Q_0 \text{ pd frek resonansi} = Q_0 \times \frac{f_{mz}}{f_{op}} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$2740,967 \times \frac{183,223}{1750} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$286,976 \text{ kN} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$0,022 \text{ kg} = m_r e$$

m_e e dimasukan kedalam rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} A_{z(\text{res})} &= \frac{m_r e}{m} \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} \\ &= \frac{0,022}{4555,331} \frac{1}{2 \times 0,42\sqrt{1-0,42^2}} \\ &= 6,232 \times 10^{-06} \text{ m} = 0,00623 \text{ mm} \end{aligned}$$

Amplitudo pada frekuensi operasi mesin

Nilai m_e e juga digunakan untuk mencari frekuensi operasi mesin seperti yang dijelaskan pada rumus berikut ini :

$$\omega_{op} = 2 \times \pi \times f_{op} = 2 \times \pi \times 1750/60 = 183,333 \text{ rad/det}$$

$$\omega_n = 2 \times \pi \times f_n = 2 \times \pi \times 2,457 = 15,444 \text{ rad/det}$$

$$\begin{aligned} A_{z(\text{op})} &= \frac{(m_r e / m) \left(\omega_{op} / \omega_n \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)^2 + 4\xi_z^2 \left(\frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)}} \\ &= \frac{(0,022 / 4555,331) \left(183,333 / 15,444 \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{183,333^2}{15,444^2} \right)^2 + 4 \times 0,42^2 \left(\frac{183,333^2}{15,444^2} \right)}} \\ &= 0,0048 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan kontrol terhadap frekuensi dan amplitudo sebagai berikut :

- Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi (f_n) tidak sama dengan kecepatan operasi (f))
- Amplitudo pada frekuensi resonansi < amplitudo ijin (0,00623 mm < 0,18 mm)
- Amplitudo pada frekuensi operasi mesin < amplitudo ijin (0,0048 mm < 0,18 mm)

Dari pengontrolan tersebut menunjukkan pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis vertikal.

4.2.2 Analisis Horisontal (*Sliding*)

Pada analisis ini dikhususkan untuk menganalisis gaya-gaya horisontal yang dihasilkan oleh mesin yang diterima pondasi. Gaya horisontal ini mengakibatkan pondasi bergeser searah gaya. Untuk itu diperlukan pondasi yang kuat dari segi gaya geser terhadap tanah. Proses perhitungannya adalah sebagai berikut.

Jari-jari efektif

Perhitungan jari-jari efektif dilakukan dengan cara mengekivalenkan luas pondasi persegi dengan pondasi lingkaran.

$$\begin{aligned} r_{0x} &= \sqrt{\frac{BL}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 3}{\pi}} = 1,382 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio massa didapat dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{7-8\mu}{32(1-\mu)} \frac{m}{\rho r_0^3} \\ &= \frac{7-8 \times 0,5}{32(1-0,5)} \frac{4555,331}{210,703 \times 1,382^3} = 1,537 \end{aligned}$$

Konstanta pegas

Konstanta pegas untuk horisontal menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k_x &= \frac{32(1-\mu)Gr_0}{7-8\mu} \\ &= \frac{32(1-0,5)98299,7 \times 1,382}{7-8 \times 0,5} = 724376,089 \end{aligned}$$

Konstanta redaman sebagai penentu besar rasio redaman menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} c_x &= \frac{18,4(1-\mu)r_0^2 \sqrt{G\rho}}{7-8\mu} \\ &= \frac{18,4(1-0,5)1,382^2 \sqrt{98299,7 \times 210,703}}{7-8 \times 0,5} = 26644,339 \end{aligned}$$

Rasio redaman adalah perbandingan antara redaman yang terjadi dengan redaman kritis, sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \xi_x &= \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \\ &= \frac{0,288}{\sqrt{1,537}} = 0,232 \end{aligned}$$

Frekuensi alami tergantung pada nilai konstanta pegas, semakin besar nilai konstanta pegas semakin besar nilai frekuensi alami.

$$f_{nx} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_x}{m}}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{724376,089}{4555,331}} = 2,006 \text{ cps} = 120,370 \text{ cpm}$$

Frekuensi resonansi

Dari frekuensi alami dan rasio redaman maka dapat ditentukan besar frekuensi resonansi yang berpengaruh pada perhitungan selanjutnya.

$$f_{mx} = f_{nx} / \sqrt{1 - 2\xi^2}$$

$$= 120,370 / \sqrt{1 - 20,232^2} = 127,445 \text{ cpm}$$

Amplitudo pada frekuensi resonansi

Untuk menghitung frekuensi resonansi digunakan persamaan berikut ini untuk mempermudah perhitungan yaitu menentukan m_r e terlebih dahulu.

Berikut proses perhitungan amplitudo pada frekuensi resonansi.

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_{mx} = 801,083$$

$$Q_0 \text{ pd frek resonansi} = Q_0 \times \frac{f_{mx}}{f_{op}} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$2740,967 \times \frac{127,445}{1750} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$199,613 \text{ kN} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$0,031 \text{ kg} = m_r e$$

m_e e dimasukan kedalam rumus berikut ini :

$$A_{x(res)} = \frac{m_r e}{m} \frac{1}{2\xi\sqrt{1 - \xi^2}}$$

$$= \frac{0,031}{4555,331} \frac{1}{2 \times 0,232 \sqrt{1 - 0,232^2}}$$

$$= 1,511 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0151 \text{ mm}$$

Amplitudo pada frekuensi operasi mesin

Dari penjelasan sebelumnya diketahui bahwa Nilai m_e e juga digunakan untuk mencari frekuensi operasi mesin seperti yang dijelaskan pada rumus berikut ini :

$$\omega_{op} = 2 \times \pi \times f_{op} = 2 \times \pi \times 1750/60 = 183,333 \text{ rad/det}$$

$$\omega_n = 2 \times \pi \times f_{nx} = 2 \times \pi \times 2,006 = 12,610 \text{ rad/det}$$

$$\begin{aligned} A_{x(op)} &= \frac{(m_r e / m) \left(\omega_{op} / \omega_n \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)^2 + 4 \zeta_z^2 \left(\frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)}} \\ &= \frac{(0,031 / 4555,331) \left(183,333 / 12,610 \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{183,333^2}{12,610^2} \right)^2 + 4 \times 0,232^2 \left(\frac{183,333^2}{12,610^2} \right)}} \\ &= 0,00686 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan kontrol terhadap frekuensi dan amplitudo sebagai berikut :

- Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi (f_n) tidak sama dengan kecepatan operasi (f))
- Amplitudo pada frekuensi resonansi < amplitudo ijin (0,0151 mm < 0,18 mm)
- Amplitudo pada frekuensi operasi mesin < amplitudo ijin (0,00686 mm < 0,18 mm)

Dari pengontrolan tersebut menunjukkan pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis horisontal.

4.2.3 Analisis Rocking

Berbeda dengan analisis vertikal dan horisontal, analisis rocking memperhitungkan adanya momen arah Sumbu Y. Bila eksentrisitas mesin semakin besar menimbulkan momen yang semakin besar, maka perlu diperhatikan perletakan mesin pada pondasi. Pada skripsi ini eksentrisitas

dibuat sekecil mungkin sehingga rocking yang terjadi relatif kecil. Berikut perhitungan rocking :

Untuk jari-jari efektif berbeda dengan analisis vertikal dan horisontal dikarenakan pondasi mengalami perputaran. Ekuivalensi pondasi dihasilkan jari-jari efektif sebagai berikut :

$$\begin{aligned} r_{\theta 0} &= \sqrt[4]{\frac{BL^3}{3\pi}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{2 \times 3^3}{3\pi}} = 1,547 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio massa juga sedikit berbeda dengan analisis vertikal dan horisontal. Untuk rocking terdapat inersia massa momen (I_{θ}) yang menentukan besar rasio massa (B_{θ}). Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned} I_{\theta} &= \frac{m_{\text{pondasi}}}{g} \left(\frac{r_0^2}{4} + \frac{T^2}{3} \right) \\ &= \frac{4403,67}{9,81} \left(\frac{1,547^2}{4} + \frac{3^2}{3} \right) = 1615,259 \\ B_{\theta} &= \frac{3(1-\mu)}{8} \frac{I_{\theta}}{\rho r_0^5} \\ &= \frac{3(1-0,5)}{8} \frac{1615,259}{210,703 \times 1,547^5} = 0,162 \end{aligned}$$

Konstanta pegas untuk horisontal menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k_{\theta} &= \frac{8Gr_0}{3(1-\mu)} \\ &= \frac{8 \times 98299,7 \times 1,547}{3(1-0,5)} = 811031,584 \end{aligned}$$

Konstanta redaman sebagai penentu besar rasio redaman menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{\theta} &= \frac{0,8r_0^2 \sqrt{G\rho}}{(1-\mu)(1+B_{\theta})} \\ &= \frac{0,8 \times 1,547^2 \sqrt{98299,67 \times 210,703}}{(1-0,5)(1+0,162)} = 14993,836 \end{aligned}$$

Rasio redaman adalah perbandingan antara redaman yang terjadi dengan redaman kritis, sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \xi_{\theta} &= \frac{0,15}{\sqrt{B_{\theta}(1+B_{\theta})}} \\ &= \frac{0,15}{\sqrt{0,162(1+0,162)}} = 0,320 \end{aligned}$$

Frekuensi alami tergantung pada nilai konstanta pegas, semakin besar nilai konstanta pegas semakin besar nilai frekuensi alami.

$$\begin{aligned} f_{n\theta} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{\theta}}{m}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{811031,584}{4555,331}} = 2,123 \text{ cps} = 127,367 \text{ cpm} \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi

Dari frekuensi alami dan rasio redaman maka dapat ditentukan besar frekuensi resonansi yang berpengaruh pada perhitungan selanjutnya.

$$\begin{aligned} f_{m\theta} &= f_{n\theta} / \sqrt{1 - 2\xi^2} \\ &= 127,367 / \sqrt{1 - (2 \times 0,32^2)} = 201,698 \text{ cpm} \end{aligned}$$

Amplitudo pada frekuensi resonansi

Untuk menghitung frekuensi resonansi digunakan persamaan berikut ini untuk mempermudah perhitungan yaitu menentukan m_r e terlebih dahulu.

Berikut proses perhitungan amplitudo pada frekuensi resonansi.

$$\omega_{res} = 2 \times \pi \times f_{m\theta} = 1267,81$$

$$Q_{0 \text{ pd frek resonansi}} = Q_0 \times \frac{f_{m\theta}}{f_{op}} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$2740,967 \times \frac{201,698}{1750} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$315,913 \text{ kN} = m_r e \omega_{res}^2$$

$$0,0197 \text{ kg} = m_r e$$

m_e e dimasukan kedalam rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} A_{\theta(res)} &= \frac{m_r e}{m} \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} \\ &= \frac{0,0197}{4555,331} \frac{1}{2 \times 0,320 \sqrt{1-0,320^2}} \\ &= 0,000051 \text{ rad} \end{aligned}$$

Amplitudo pada frekuensi operasi mesin

Dari penjelasan sebelumnya diketahui bahwa Nilai m_e e juga digunakan untuk mencari frekuensi operasi mesin seperti yang dijelaskan pada rumus berikut ini :

$$\omega_{op} = 2 \times \pi \times f_{op} = 2 \times \pi \times 1750/60 = 183,333 \text{ rad/det}$$

$$\omega_n = 2 \times \pi \times f_n = 2 \times \pi \times 2,006 = 13,343 \text{ rad/det}$$

$$A_{\theta(op)} = \frac{(m_r e / m) \left(\omega_{op} / \omega_n \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)^2 + 4 \xi_z^2 \left(\frac{\omega_{op}^2}{\omega_n^2} \right)}}$$

$$= \frac{(0,0197 / 4555,331) (183,333 / 13,343)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{183,333^2}{13,343^2} \right)^2 + 4 \times 0,320^2 \left(\frac{183,333^2}{13,343^2} \right)}}$$

$$= 0,0000433 \text{ rad}$$

Perhitungan perpindahan arah horizontal yang terjadi akibat rotasi dapat diketahui dengan cara sebagai berikut :

Untuk perpindahan horizontal akibat amplitudo pada frekuensi resonansi

$$A_{\theta(res)} = 0,000051 \text{ rad}$$

$$= (0,000051 / \pi) \times 180$$

$$= 0,0029221^\circ$$

$\tan(A_{\theta(res)})$ = perpindahan horisontal/tinggi pondasi

$$\tan 0,0029221^\circ = x/300$$

$$x = \tan 0,0029221^\circ \times 300$$

$$x = 0,0153 \text{ cm}$$

$$x = 0,153 \text{ mm}$$

Untuk perpindahan horizontal akibat amplitudo pada frekuensi operasi mesin

$$A_{\theta(op)} = 0,000043 \text{ rad}$$

$$= (0,000043 / \pi) \times 180$$

$$= 0,00246^\circ$$

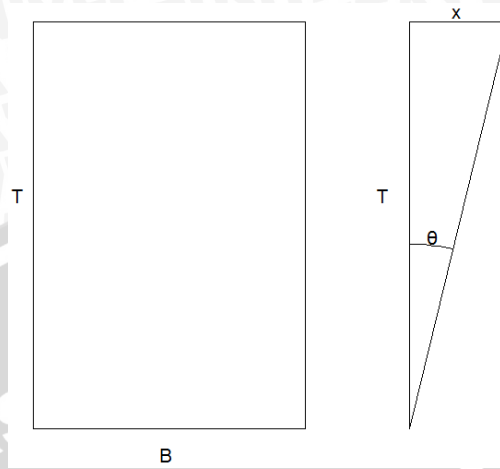
$\tan(A_{\theta(op)})$ = perpindahan horisontal/tinggi pondasi

$$\tan 0,00246^\circ = x/300$$

$$x = \tan 0,00246^\circ \times 300$$

$$x = 0,0129 \text{ cm}$$

$$x = 0,129 \text{ mm}$$



Kemudian dilakukan kontrol terhadap frekuensi dan amplitudo sebagai berikut :

- Tidak terjadi resonansi (frekuensi resonansi (f_n) tidak sama dengan kecepatan operasi (f)
- Amplitudo pada frekuensi resonansi < amplitudo ijin (0,153 mm < 0,18 mm)
- Amplitudo pada frekuensi operasi mesin < amplitudo ijin (0,129 mm < 0,18 mm)

Dari pengontrolan tersebut menunjukkan pondasi aman terhadap resonansi dan amplitudo ditinjau dari analisis rocking.

Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan analisis vertikal, horisontal, rocking dan torsi dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Dinamis

No	Analisis	Frekuensi Resonansi (cpm)	Amplitudo Frekuensi Resonansi (mm)	Amplitudo Frekuensi operasi (mm)	Amplitudo ijin (mm)
1	Vertikal	183,223	0,0048	0,00623	0,18
2	Horisontal	127,445	0,00686	0,0151	0,18
3	Rocking	201, 698	0,153	0,129	0,18

4.3 Perpindahan Gabungan

Perpindahan pada sumbu x dan rotasi pada sumbu y dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} k_x - m\omega^2 & -c_y\omega & 0 & -Lc_y\omega \\ c_x\omega & k_x - m\omega^2 & -Lc_y\omega & -Lk_x \\ -Lk_x & -Lc_y\omega & L^2k_x + k_\theta - I_\theta\omega^2 & -(L^2c_y\omega + c_\theta\omega) \\ -Lc_y\omega & -Lk_x & L^2c_y\omega + c_\theta\omega & L^2k_x + k_\theta - I_\theta\omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_x \\ 0 \\ M \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$[K] [X] = [P]$$

Matriks perpindahan [X] menjadi :

$$[K] [K^{-1}] [X] = [P] [K^{-1}]$$

maka $[X] = [P] [K^{-1}]$

Karena $[K] [K^{-1}] = [1]$

Sehingga didapatkan nilai dari [X] yaitu :

$$x_1 = -3,118 \times 10^{-5}$$

$$x_2 = 1,456 \times 10^{-5}$$

$$x_3 = -1,422 \times 10^{-4}$$

$$x_4 = -1,324 \times 10^{-4}$$

Dari matriks di atas bisa didapatkan nilai dari perpindahan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{(x_1^2 + x_2^2)} = \sqrt{\left((-3,118 \times 10^{-5})^2 + (1,456 \times 10^{-5})^2\right)} \\ &= 3,441 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0,034 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi &= \sqrt{(x_3^2 + x_4^2)} = \sqrt{\left((-1,422 \times 10^{-4})^2 + (-1,324 \times 10^{-4})^2\right)} \\ &= 1,942 \times 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,194 \text{ mm} \end{aligned}$$

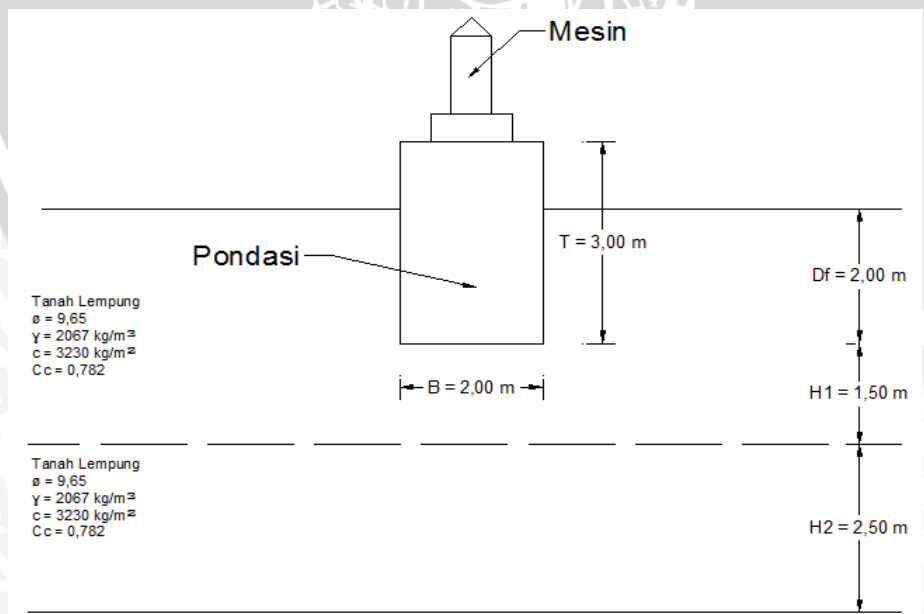
4.4 Penurunan

Penurunan tanah yang diakibatkan getaran mesin pada lokasi Gas Plan Pertamina ini hanya diperhitungkan sampai kedalaman 6 meter karena mempertimbangkan daya mesin tidak terlalu besar dan tanah relatif kuat menahan beban statis maupun dinamis.

4.4.1 Penurunan Akibat Beban Statis

Data yang digunakan :

- Berat jenis tanah (γ_t) = 2067 kg/m³
- Liquid Limit (LL) = 47,69 %
- Kohesi (c) = 3230 kg/m²
- Sudut geser (ϕ) = 9,65
- Water content (W) = 31,97 %
- Angka pori (e_0) = 0,6 (Lempung kaku)
- Indeks kompresi (C_c) = 0,782
- Lebar pondasi (B) = 2 m
- Panjang pondasi (L) = 3 m
- Tebal pondasi (T) = 3 m
- Berat mesin = 1488 kg
- Penurunan ijin = 6,5 cm



Gambar 4.6 Pembagian lapisan untuk penurunan akibat beban statis

- Penurunan Konsolidasi

Kedalaman pondasi direncanakan sebesar :

$$D_f = 2 \text{ m}$$

Kedalaman tanah dari dasar pondasi dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H &= 6 - D_f \\ &= 6 - 2 \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

Kemudian kedalaman tanah (H) dibagi menjadi 2 lapis, dengan pembagian sebagai berikut :

- Lapis 1 (H_1) = 1,5 m
- Lapis 2 (H_2) = 2,5 m

Kedalaman sampai $\frac{1}{2} H$ dari dasar pondasi digunakan dalam perhitungan tegangan efektif overburden. Perhitungannya sebagai berikut :

- $Z_1 = \frac{1}{2} \times H$
 $= \frac{1}{2} \times 1,5$
 $= 0,75 \text{ m}$
- $Z_2 = Z_1 + 1,5$
 $= 0,75 + 2,5$
 $= 3,25 \text{ m}$

Tegangan yang terjadi pada pondasi tergantung pada berat mesin dan luas permukaan pondasi. Semakin berat mesin semakin besar tegangan yang terjadi. Sedangkan semakin besar luasan pondasi semakin kecil tegangan yang terjadi. Hubungan tegangan, berat mesin dan luasan pondasi dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$q = \frac{W_{msn} + W_{pond}}{A} = \frac{1487,8 + 43200}{6} = 7447,966 \text{ kg/m}^2$$

Tegangan efektif overburden (σ_o') terjadi karena berat tanah itu sendiri sebelum adanya pembebanan, baik beban dari pondasi ataupun dari mesin. Sedangkan tanah bersifat elastis, homogen, isotropis, sehingga rumus tegangan efektif overburden adalah sebagai berikut :

$$\sigma_o' = \gamma_t Z$$

$$\sigma_o' = 2067 \times 0,75 = 1550,25 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_0' = 2067 \times 3,25 = 6717,75 \text{ kg/m}^2$$

Faktor-faktor berikut dihitung untuk mencari nilai I_r dengan langkah-langkah sebagai berikut :

$$m_z = B/2 = 2/2 = 1$$

$$n_z = L/2 = 3/2 = 1,5$$

$$m_1 = m_z/Z_1 = 1/0,75 = 1,333$$

$$m_2 = m_z/Z_2 = 1/3,25 = 0,308$$

$$n_1 = n_z/Z_1 = 1,5/0,75 = 2$$

$$n_2 = n_z/Z_2 = 1,5/3,25 = 0,462$$

Nilai n dan m diplot ke dalam grafik Westergaard (di lampiran) tidak menggunakan grafik Boussinesq karena penyelesaian dengan Westergaard lebih akurat dibanding penyelesaian Boussinesq. Itu karena Boussinesq menganggap material tanah adalah isotropis dimana modulus elastisitas dan parameter yang relevan adalah konstan dalam segala arah, yang pada kenyataannya tanah mempunyai lapisan horisontal yang berbeda untuk menyebarkan tegangan. Sedangkan Westergaard mengembangkan persamaan untuk beban titik dan diintegrasikan pada luasan fleksibel yang dibebani.

$$I_{r1} = 0,155$$

$$I_{r2} = 0,039$$

Dari nilai I_r tersebut dapat diperoleh nilai Perubahan tegangan ($\Delta\sigma$) yang terjadi pada tiap-tiap lapisan.

$$\Delta\sigma = 4 I_r q$$

$$\Delta\sigma_1 = 4 \times 0,155 \times 7447,966 = 4617,739 \text{ kg/m}^2$$

$$\Delta\sigma_2 = 4 \times 0,039 \times 7447,966 = 1161,883 \text{ kg/m}^2$$

Kemudian dengan menjumlahkan nilai tegangan efektif overburden (σ_0') dengan Perubahan tegangan ($\Delta\sigma$) didapat tegangan total masing-masing lapisan.

Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut :

$$\sigma'_1 = \sigma_0' + \Delta\sigma$$

$$\sigma'_{11} = 1550,25 + 4617,739 = 6167,989 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma'_{12} = 6717,75 + 1161,883 = 7879,633 \text{ kg/m}^2$$

Penurunan tiap lapis yang terjadi dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e} H \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}$$

$$S_{c1} = 1,1725 \text{ cm}$$

$$S_{c2} = 0,1355 \text{ cm}$$

Penurunan konsolidasi total didapat dengan menjumlahkan penurunan tiap lapisan.

$$S_c = S_{c1} + S_{c2}$$

$$= 1,1725 + 0,1355$$

$$= 1,3079 \text{ cm}$$

Dari perhitungan penurunan pondasi diatas dapat diperjelas dengan Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.2 Perhitungan Penurunan

No	Kedalaman (H) (m)	Z = ½ H (m)	σ'_0 (kg/m ²)	$\Delta\sigma = 4 I_r q$ (kg/m ²)	σ'_1 (kg/m ²)	S _c (cm)
1	1,5	0,75	1550,25	4617,739	6167,98	1,1725
2	2,5	3,25	6717,75	1161,883	7879,63	0,1355

- Penurunan Segera

Penurunan segera adalah penurunan karena sifat elastis tanah dan pada penurunan ini tidak ada air pori yang keluar sehingga kadar air tidak berubah dan terjadi penyebaran tanah ke arah lateral. Penurunan ini terjadi sangat cepat dibanding dengan jenis penurunan lainnya. Untuk itu diperlukan perencanaan khusus untuk mempertimbangkan penurunan ini. Langkah-langkah perhitungan penurunan ini adalah sebagai berikut :

Pertama menghitung tegangan yang terjadi pada dasar pondasi dengan rumus :

$$q = \frac{W_{msn} + W_{pondasi}}{A} = \frac{1487,8 + 43200}{6} = 7447,97 \text{ kg/m}^2$$

Kemudian menentukan faktor-faktor yang digunakan yaitu μ_1 dan μ_2 sebagai berikut :

Untuk menentukan nilai μ_1 dengan melihat Tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai μ_1 dari D_f/B

**Variation of μ_1 with D_f/B
[Equation (5.36)]**

D_f/B	μ_1
0	1.0
2	0.9
4	0.88
6	0.875
8	0.87
10	0.865
12	0.863
14	0.860
16	0.856
18	0.854
20	0.850

Dari Tabel 4.3 didapat nilai μ_1 dengan cara interpolasi sebesar 0,95

Untuk menentukan nilai μ_2 dilakukan dengan cara melihat Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai μ_2 dari H/B dan L/B

Variation of μ_2 with H/B and L/B [Equation (5.36)]

H/B	L/B					
	Circle	1	2	5	10	∞
1	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
2	0.47	0.53	0.63	0.64	0.64	0.64
4	0.58	0.63	0.82	0.94	0.94	0.94
6	0.61	0.67	0.88	1.08	1.14	1.16
8	0.62	0.68	0.90	1.13	1.22	1.26
10	0.63	0.70	0.92	1.18	1.30	1.42
20	0.64	0.71	0.93	1.26	1.47	1.74
30	0.66	0.73	0.95	1.29	1.54	1.84

Dari Tabel 4.4 dengan cara interpolasi didapat nilai μ_2 sebesar 0,58

Kemudian menentukan Modulus Elastisitas berdasarkan pengujian Triaxial dengan perbandingan tegangan dan regangan sehingga dihasilkan nilai :

$$E_s = 323000 \text{ kg/m}^2$$

Dari data-data tersebut didapatlah nilai penurunan segera (S_i) dengan rumus sebagai berikut :

$$S_i = \mu_1 \mu_2 \frac{qB}{E_s}$$

$$S_i = 0,95 \times 0,58 \times \frac{7447,97 \times 2}{323000}$$

$$S_i = 0,0254 \text{ m} = 2,54 \text{ cm}$$

Penurunan total pondasi didapat dengan menjumlahkan penurunan konsolidasi dengan penurunan segera sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= S_c + S_i \\ &= 1,3079 + 2,54 \\ &= 3,849 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui keamanan pondasi mesin submercible ini terhadap penurunan akibat beban statis, maka penurunan yang terjadi perlu dibandingkan dengan penurunan ijin. Pondasi dinyatakan aman terhadap penurunan apabila penurunan yang terjadi kurang dari penurunan ijin.

$S = 3,849 \text{ cm} < 6,5 \text{ cm}$, Penurunan yang terjadi kurang dari penurunan ijin sehingga pondasi mesin submercible ini aman terhadap penurunan akibat beban statis.

4.4.2 Penurunan Akibat Beban Dinamis

Penurunan pada tanah lempung akibat beban dinamis biasanya bernilai kecil dan dampak yang dihasilkan terhadap bangunan di atasnya relatif sedikit. Sehingga penurunan akibat beban dinamis pada tanah lempung dapat diabaikan. Akan tetapi untuk lebih memastikannya diperlukan perhitungan sebagai berikut:

Data yang diperlukan :

- Ukuran pondasi :
 - lebar (B) = 2 m
 - panjang (L) = 3 m
 - tinggi (T) = 3 m
- Penurunan hanya diperhitungkan pada arah vertikal sehingga amplitudo maksimum yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya menggunakan amplitudo pada mode gerakan translasi sumbu Z (sumbu vertikal). Amplitudo pada mode gerakan tersebut adalah 0,00623 mm (0,00025 in).

Untuk mendapatkan nilai penurunan akibat beban dinamis ini diperlukan penurunan rumus sebagai berikut :

Pergerakan vertikal sebab utama terjadinya penurunan diwakili dengan persamaan berikut :

$$z = Z \cos(\omega t + \alpha)$$

dengan : Z = Amplitudo pada arah vertikal

α = Sudut akibat gerak kerja beban

Sehingga gaya dinamis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$F_{\text{dyn}} = kZ + c \frac{dz}{dt}$$

$$F_{\text{dyn}} = kZ \cos(\omega t + \alpha) + c\omega Z \sin(\omega t + \alpha)$$

Asumsikan $kZ = A \cos \beta$ dan $c\omega Z = A \sin \beta$, sehingga didapatkan persamaan

$$F_{\text{dyn}} = A \cos \beta \cos(\omega t + \alpha) - A \sin \beta \sin(\omega t + \alpha)$$

$$F_{\text{dyn}} = A \cos(\omega t + \alpha + \beta)$$

Dari persamaan diatas dihasilkan nilai energi yang diterima tanah akibat vibrasi (E_{tr}) sebagai berikut :

$$E_{\text{tr}} = \int F dz = F_{\text{av}} Z$$

dengan F = total gaya yang diterima tanah

F_{av} = gaya rata-rata yang diterima tanah

Sedangkan rumus F_{av} sebagai berikut :

$$F_{\text{av}} = \frac{1}{2} (F_{\text{max}} + F_{\text{min}})$$

$$F_{\max} = W + F_{\text{dyn (max)}}$$

$$F_{\min} = W - F_{\text{dyn (max)}}$$

Sehingga dari kombinasi persamaan diatas didapatkan nilai F_{av} sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{\text{av}} &= W \\ &= W_{\text{mesin}} + W_{\text{pondasi}} \\ &= 14878 \text{ N} + 432000 \text{ N} \\ &= 446878 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil penelitian Brumund dan Leonards dinyatakan adanya hubungan antara nilai penurunan (S_e) dengan nilai E_{tr} dengan ketentuan sebagai berikut :

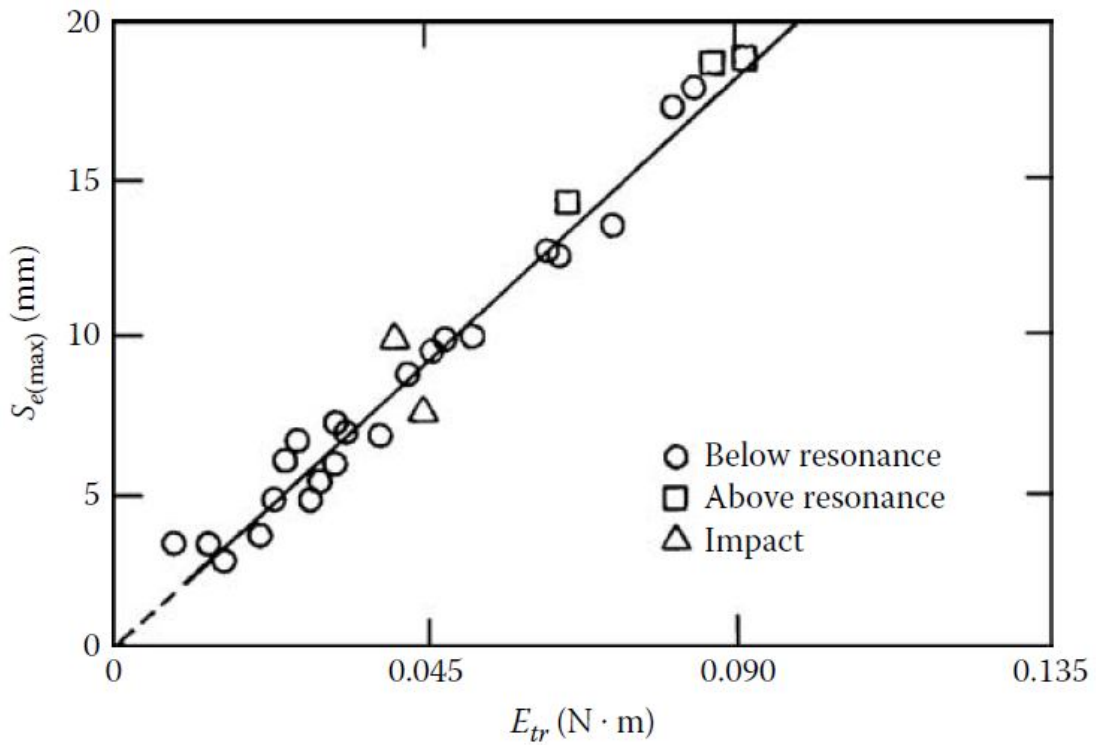
- Frekuensi getaran antara 14 sampai dengan 59,3 Hz
- W dihitung antara nilai 0,27W sampai 0,55W
- Gaya dinamis bernilai antara 0,3W sampai W

Maka diambil nilai $W = 446878 \times 0,55 = 245782,055 \text{ N}$

Jadi E_{tr} menjadi :

$$\begin{aligned} E_{\text{tr}} &= WZ \\ &= 245782,055 \times 6,231 \times 10^{-6} \\ &= 0,053 \end{aligned}$$

Kemudian dari nilai E_{tr} tersebut di plotkan pada grafik dibawah ini sehingga didapatkan nilai penurunan. Dari grafik tersebut didapatkan nilai penurunan S_e sebesar 13 mm atau 1,3 cm. Besar penurunan tersebut dinyatakan aman karena kurang dari penurunan ijin sebesar 6,5 cm.



4.5 Daya dukung tanah

Perhitungan daya dukung akibat beban statis hampir sama dengan beban dinamis sehingga dalam perhitungannya dijadikan satu. Sedangkan perbedaannya yaitu pada perhitungan yang terjadi.

Berdasarkan penelitian Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, tanah pada perencanaan Pembangunan Gas Plan Pertamina di Clangap Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro merupakan tanah lempung, sehingga daya dukung ultimit q_u :

$$q_u = C_u N_c S_c d_c + q N_q S_q d_q$$

Data-data yang digunakan :

- Berat jenis tanah (γ_t) = 2067 kg/m³
- Kohesi (Cu) = 3230 kg/m²
- Sudut geser (ϕ) = 9.65
- Lebar pondasi (B) = 2 m
- Panjang pondasi (L) = 3 m

- Tebal pondasi (T) = 3 m
- Kedalaman pondasi (Df) = T - 0.1 = 3 - 0,1 = 2,9 m

4.5.1 Daya Dukung Akibat Beban Statis

Faktor daya dukung tanah lempung tergantung dari nilai ϕ , sedangkan nilai ϕ tidak terdapat di tabel. Maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai faktor daya dukung. Hasilnya sebagai berikut :

$$N_c = 8,1995 \text{ (interpolasi berdasarkan nilai } \phi \text{)}$$

$$N_q = 2,393 \text{ (interpolasi berdasarkan nilai } \phi \text{)}$$

$$N_c/N_q = 3,4265$$

$$\tan \phi = 0,17004$$

Faktor bentuk pondasi dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$S_q = 1 + \tan \phi = 1 + \tan 9,65 = 1,17004$$

$$S_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right) = 1 + \left(\frac{2}{3}\right) \left(\frac{2,393}{8,1995}\right) = 1,195$$

Faktor kedalaman pondasi d_c dan d_q

$$\text{Untuk } \frac{D_f}{B} = 1,45 > 1$$

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1}(D_f/B) = 23,163$$

$$d_q = 1$$

Tegangan tanah yang terjadi dapat diketahui dengan rumus berikut ini :

$$q = \gamma_t D_f$$

$$= 2067 \times 2,9$$

$$= 5994,3 \text{ kg/m}^2$$

Dari data-data dan konstanta-konstanta dapat diperoleh nilai daya dukung tanah seperti dibawah ini :

$$q_u = C_u N_c S_c d_c + q N_q S_q d_q$$

$$= (3230 \times 8,1995 \times 1,195 \times 23,163) + (5994,3 \times 2,393 \times 1,17004 \times 1)$$

$$= 749601,129 \text{ kg/m}^2$$

$$= 74,960 \text{ kg/cm}^2$$

Daya dukung tanah ijin

Safety Factor (SF) yang digunakan untuk perencanaan pondasi mesin ini adalah 3

$$qa = \frac{q_{ult}}{SF} = \frac{74,960}{3} = 24,987 \text{ kg/cm}^2$$

Beban maksimum yang dapat ditahan oleh pondasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= qa \times B \\ &= 24,987 \times 200 \\ &= 4997,4 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

4.5.2 Daya Dukung Akibat Beban Dinamis

Pondasi yang terletak pada tanah lempung dan menerima beban dinamis dapat memperhitungkan strain rate. Carroll (1963) mengusulkan $c_u(\text{dinamis})/c_u(\text{statis}) = \varepsilon$, dengan ε adalah regangan, sebagaimana rumus berikut :

$$\begin{aligned} c_{u_{\text{dyn}}} &= \varepsilon \times c_{u_{\text{stat}}} \\ c_{u_{\text{dyn}}} &= 1,3 \times 3230 \\ c_{u_{\text{dyn}}} &= 4199 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat ditentukan nilai daya dukung dinamis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_u &= 5,14 c_{u_{\text{dyn}}} \left[1 + 0,1946 \left(\frac{B}{L} \right) \right] \times \left[1 + 0,4 \left(\frac{D_f}{B} \right) \right] + q \\ q_u &= 5,14 \times 4199 \left[1 + 0,1946 \left(\frac{2}{3} \right) \right] \times \left[1 + 0,4 \left(\frac{2}{2} \right) \right] + 4134 \\ q_u &= 38270 \text{ kg/m}^2 = 3,827 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4.6 Penulangan

Pondasi blok yang bersifat masif tidak memiliki persyaratan sebagaimana balok atau kolom, meskipun demikian dibutuhkan penulangan minimum untuk menahan efek-efek suhu (panas hidrasi) dan susut. Sedangkan untuk penulangan pondasi blok yang menanggung beban impact atau kejut pada bagian atas dan di bawah landasan, dibutuhkan tulangan tambahan untuk menahan tegangan yang terjadi karena kejut. Jarak antar tulangan di bagian ini umumnya berkisar 100 mm (4 inc) (shamsher Prakash, 1981 : 580).

Data-data yang digunakan :

- Lebar pondasi (B) = 2 m
- Panjang pondasi (L) = 3 m

- Tebal pondasi (T) = 3 m
- d = 2920 mm
- b = 2000 mm
- Φ = 0,8
- Berat mesin = 1488 kg
- Mutu beton K_{225} , $f'_c = 225 \text{ kg/cm}^2 = 22.5 \text{ Mpa}$
- Mutu baja U_{32} , $f_y = 3200 \text{ kg/cm}^2 = 320 \text{ Mpa}$

Berat pondasi dihitung dengan mengalikan volume pondasi dengan berat volume beton sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W &= B \times L \times T \times 2400 \\ &= 2 \times 3 \times 3 \times 2400 \\ &= 43200 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban terfaktor berfungsi untuk nilai keamanan pondasi.

$$\begin{aligned} W_u &= 1,4 \times W \\ &= 1,4 \times 43200 \\ &= 60480 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya aksial total dan momen lapangan

$$\begin{aligned} W_{\text{tot}} &= W_{\text{mesin}} + W_u \\ &= 1488 + 60480 \\ &= 61967 \text{ kg} \\ M_{\text{ult}} &= \frac{1}{4} \times W_{\text{tot}} \times B \\ &= \frac{1}{4} \times 61967 \times 2 \\ &= 30983,899 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Mencari ρ_{min} , ρ , ρ_{max} yang merupakan rasio kebutuhan tulangan

$$\begin{aligned} \rho_{\text{min}} &= 1,4/f_y \\ &= 1,4/3200 \\ &= 0,0004375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times 0.85 \times f'c/fy \times 0.85 \times 600/(600 + fy) \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 22,5/320 \times 0,85 \times 600/(600 + 320) \\ &= 0,02485\end{aligned}$$

$$Rn = \frac{M_{ult}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{30983,899}{0,8 \times 2000 \times 2920^2} = 0,0227$$

$$\omega = 0.85 \left(1 - \sqrt{1 - 2.353 \frac{Rn}{f'c}} \right) = 0.85 \left(1 - \sqrt{1 - 2.353 \frac{0,0227}{22,5}} \right) = 0,00101$$

$$\begin{aligned}\rho &= \omega f'c/fy \\ &= (0,00101 \times 22,5)/320 \\ &= 7,101 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max}$, maka dalam perhitungan selanjutnya menggunakan ρ_{\min} untuk menentukan kebutuhan tulangan.

$$\begin{aligned}As &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,000438 \times 2000 \times 2920 \\ &= 25,55 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Dari As tersebut dapat ditentukan diameter dan jarak tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tulangan bawah} \quad D22-150 &= 25,8 \text{ cm}^2 \\ \text{Tulangan atas} \quad \text{Ø}13-150 &= 8,45 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

4.7 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Setiap Perencanaan bangunan diperlukan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk mengetahui biaya estimasi guna kelancaran konstruksi bangunan tersebut. Dengan RAB dapat diketahui biaya total yang harus dipersiapkan dan jenis pekerjaan yang harus dilakukan. Susunan RAB secara umum terdiri dari :

1. Rekapitulasi anggaran biaya

Berisi rekapitulasi dari RAB yang telah dibuat untuk dihitung biaya totalnya dan harga yang ditawarkan setelah ditambahkan dengan pajak (PPN). Kadang-kadang dicantumkan pula secara jelas suatu prosentase untuk jasa / keuntungan pemborong (biasanya pada proyek swasta). Angka terakhir berupa jumlah total yang dibulatkan kemudian dituliskan dalam bentuk kalimat.

2. Rincian RAB (*Bill of Quantity* / BOQ)

Berisi rincian perhitungan Rencana Anggaran Biaya yang dibuat untuk setiap pos pekerjaan. Perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan volume untuk setiap pos pekerjaan dengan harga satuan pekerjaannya. Volume pekerjaan dihitung dengan melihat gambar bestek.

3. Analisa harga satuan Pekerjaan

Berisi rincian perhitungan Harga Satuan Pekerjaan untuk setiap pos pekerjaan. Semua metode yang digunakan untuk membuat unit cost sudah ada klasifikasi jenis-jenis pekerjaannya, jadi tinggal dipilih pekerjaan apa yang akan dibuat unit costnya. Klasifikasi pekerjaan tersebut antara lain : pekerjaan galian dan urugan, pekerjaan beton termasuk beton bertulang, konstruksi kayu dan lain-lain.

4. Daftar harga satuan barang dan upah

Dalam daftar harga satuan barang dan upah tercantum nama bahan bangunan, satuan dari bahan tersebut dan harga satuan bahan.

Untuk lebih jelasnya proses perhitungan Rencana Anggaran Biaya Pondasi Dinamis Gas Plan Pertamina di Clangap Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro dapat dilihat di bawah ini.

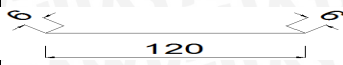
4.7.1 Kebutuhan Tulangan dan Volume Beton

Untuk kebutuhan tulangan dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :



Tabel 4.5 Tabel Kebutuhan Tulangan Pondasi

NO	KODE	SKETSA	Φ / D (mm)	PANJANG (cm)	Σ	JUMLAH (cm)
1	2	3	4	5	6	7
1	a1		D22	454	18	8172
2	a2		D22	276	24	6624
3	a3		D22	192	38	7296
					Total	22092
4	a4		φ13	292	60	17520

5	a5		φ13	132	16	2112
					Total	19632

1 lonjor = 12 meter

$$D22 = \frac{22092 \times 1,05}{1200} = 19,331 \approx 20 \text{ lonjor}$$

$$\phi 13 = \frac{19632 \times 1,05}{1200} = 17,178 \approx 18 \text{ lonjor}$$

Dari hasil perhitungan panjang tulangan yang ada dapat dihitung berat tulangan dan volume beton sebagai berikut :

Untuk tulangan D22

$$\text{Panjang total} = 22092 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang} = 3,871 \text{ cm}^2$$

$$\text{Berat per meter} = 3,04 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat total} = \text{panjang total} \times \text{berat per meter}$$

$$= 22092 \times 3,04$$

$$= 671,597 \text{ kg}$$

$$\text{Volume total} = \text{panjang total} \times \text{luas penampang}$$

$$= 22092 \times 3,871$$

$$= 85518,1 \text{ cm}^3 = 0,0855 \text{ m}^3$$

Untuk tulangan φ13

$$\text{Panjang total} = 19632 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang} = 1,267 \text{ cm}^2$$

$$\text{Berat per meter} = 0,995 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat total} = \text{panjang total} \times \text{berat per meter}$$

$$= 19632 \times 0,995$$

$$= 195,338 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume total} &= \text{panjang total} \times \text{luas penampang} \\ &= 19632 \times 1,267 \\ &= 24873744 \text{ cm}^3 = 24,874 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Berat total tulangan pondasi dapat diketahui dengan cara menjumlahkan berat total tiap tulangan.

$$\begin{aligned}\text{Berat total tulangan pondasi} &= \text{berat total D22} + \text{berat total } \phi 13 \\ &= 671,597 + 195,338 \\ &= 866,94 \text{ kg}\end{aligned}$$

Volume total tulangan pondasi dapat diketahui dengan cara menjumlahkan volume total tiap tulangan.

$$\begin{aligned}\text{Volume total tulangan pondasi} &= \text{volume total D22} + \text{volume total } \phi 13 \\ &= 0,0855 + 24,874 \\ &= 24,96 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Untuk selanjutnya dibutuhkan nilai volume beton total pondasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{volume beton total pondasi} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= 3 \times 2 \times 3 \\ &= 18 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kemudian dihitung perbandingan antara volume beton dan berat tulangan yang digunakan untuk perhitungan analisa harga satuan nantinya. Perbandingannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Volume beton} : \text{berat tulangan} \\ 18,00 : 866,94 \\ 1 : 48,2\end{aligned}$$

4.7.2 Daftar Harga Satuan Barang dan Upah

Daftar Harga Satuan Barang dapat dilihat pada Tabel 4.6, sedangkan untuk Daftar Harga Satuan Upah dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.6 Daftar Harga Satuan Barang

NO	NAMA BAHAN	SATUAN	HARGA SATUAN BAHAN
1	2	3	4
1	Batu Kali	m3	Rp 100,000.00
2	Besi beton Ulir U 24	kg	Rp 9,000.00
3	Besi beton Ulir U 32	kg	Rp 6,500.00
4	Besi bendrat	kg	Rp 12,500.00
5	Baja konstruksi	kg	Rp 6,750.00
6	Besi plat tbl : 6 mm, 8 mm, 10 mm	kg	Rp 5,000.00
7	Kayu bengkirai papan 2/20; 3/20; ----> pjg 4 mtr	m3	Rp 2,575,000.00
8	Kayu dolken	btg	Rp 17,500.00
9	Kayu Kruing	m3	Rp 4,250,000.00
10	Kayu papan bekisting 2/20 -----> pjg 4 mtr	m3	Rp 1,547,000.00
11	Kayu Sengon	m3	Rp 937,500.00
12	Koral beton / pecah mesin	m3	Rp 405,000.00
13	Lem Rajawali	kg	Rp 18,000.00
14	Meni besi/kayu	ltr	Rp 11,500.00
15	Minyak cat/thinner	ltr	Rp 7,850.00
16	Paku 3"	kg	Rp 18,750.00
17	Paku 2"	kg	Rp 14,500.00
18	Paku 1"	kg	Rp 10,500.00
19	Paku kayu	kg	Rp 8,750.00
20	Pasir Cor	m3	Rp 100,000.00
21	Pasir Batu (SIRTU)	m3	Rp 90,000.00
22	Semen PC @ 50 Kg	kg	Rp 1,100.00
23	Semen PC @ 40 Kg	kg	Rp 1,150.00
24	Sikutan	set	Rp 17,500.00

Tabel 4.7 Daftar Harga Upah Tenaga Kerja per Hari 8 Jam Kerja

NO	URAIAN TENAGA	SATUAN	UPAH HARIAN / HARI
1	2	3	4
1	Mandor	Org/ Hari	Rp 55,000.00
2	Kepala tukang gali tanah	Org/ Hari	Rp 47,500.00
3	Kepala tukang batu	Org/ Hari	Rp 47,500.00
4	Kepala tukang kayu	Org/ Hari	Rp 47,500.00
5	Kepala tukang besi	Org/ Hari	Rp 47,500.00
6	Kepala tukang cat	Org/ Hari	Rp 47,500.00
7	Kepala tukang listrik	Org/ Hari	Rp 47,500.00
8	Tukang gali tanah	Org/ Hari	Rp 43,500.00
9	Tukang batu	Org/ Hari	Rp 43,500.00
10	Tukang kayu	Org/ Hari	Rp 43,500.00
11	Tukang besi	Org/ Hari	Rp 43,500.00
12	Tukang cat	Org/ Hari	Rp 39,500.00
13	Tukang listrik	Org/ Hari	Rp 39,500.00
14	Pekerja / pembantu tukang	Org/ Hari	Rp 30,000.00
15	Sopir truk	Org/ Hari	Rp 35,000.00
16	Penjaga malam	Org/ Hari	Rp 25,000.00

4.7.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Pada Tabel 4.8 dapat diketahui jumlah harga satuan pekerjaan yang digunakan selanjutnya untuk menghitung Rencana Anggaran Biaya. Pekerjaan dalam proyek ini relatif lebih sedikit dibanding dengan konstruksi yang rumit seperti konstruksi jembatan, konstruksi rumah bertingkat.

Tabel 4.8 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

NO	URAIAN PEKERJAAN	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
1	2	3	4
I PEKERJAAN PERSIAPAN			
1	UITSET & BOUWPLANK /M1		
	0.001 m3 Kayu Sengon 2/20	937,500.00	937.50
	0.002 m3 Kayu Sengon 4/6	937,500.00	1,875.00
	0.4 kg Paku 3"	18,750.00	7,500.00
	0.05 Tukang Kayu	43,500.00	2,175.00
	0.01 Pekerja	30,000.00	300.00
	0.045 Mandor	55,000.00	2,475.00

			Jumlah	15,262.50
II PEKERJAAN TANAH				
1	GALIAN TANAH PONDASI/M3 (An-1)			
	0.65	Pekerja	30,000.00	19,500.00
	0.02	Mandor	55,000.00	1,100.00
			Jumlah	20,600.00
2	URUGAN PASIR /M3 (An-2)			
	1 m3	Pasir Batu	90,000.00	90,000.00
	0.25	Pekerja	30,000.00	7,500.00
	0.01	Mandor	55,000.00	550.00
			Jumlah	98,050.00
3	URUGAN TANAH KEMBALI (An-11)			
	0.3	Pekerja	30,000.00	9,000.00
	0.02	Mandor	55,000.00	1,100.00
			Jumlah	10,100.00
III PEKERJAAN BETON BERTULANG				
1	CAMPURAN BETON K.225 /M3 1PC : 2Psr : 3Krl			
	16 kg	Semen PC	1,100.00	17,600.00
	0.22 m3	Pasir Cor	100,000.00	22,000.00
	0.42 m3	Kerikil	405,000.00	170,100.00
	0.5	Tukang Kayu	43,500.00	21,750.00
	0.1	Pekerja	30,000.00	3,000.00
	0.4	Mandor	55,000.00	22,000.00
			Jumlah	256,450.00
2	PEMBESIAN BETON K.225 /kg			
	1 kg	Besi Beton Polos U.24	9,000.00	9,000.00
	0.12 kg	Besi/Kawat Bendrat	12,500.00	1,500.00
	0.5	Tukang Besi	43,500.00	21,750.00
	0.1	Pekerja	30,000.00	3,000.00
	0.02	Mandor	55,000.00	1,100.00

3 BEKISTING /M3 BETON	0.15 m3 Kayu Sengon	937,500.00	140,625.00	
	0.4 kg Paku 2"	14,500.00	5,800.00	
	0.8 Tukang Kayu	43,500.00	34,800.00	
	0.2 Kepala Tukang Kayu	47,500.00	9,500.00	
	0.1 Mandor	55,000.00	5,500.00	
	Jumlah		35,250.00	
Jumlah		196,225.00		
IV PEKERJAAN PONDASI DINAMIS				
1 PONDASI DINAMIS	1 m3 Campuran Beton	256,450.00	256,450.00	
	48.2 kg Pembesian Beton	35,250.00	1,699,050.00	
	0.5 m2 Bekisting	196,225.00	98,112.50	
	Jumlah		2,053,612.50	
	Jumlah		2,053,612.50	

4.7.4 Rincian Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Dari tiap-tiap harga datuan diatas disusunlah Rencana Anggaran Biaya sesuai dengan volume pekerjaan yang dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.9 sebagai berikut :

Tabel 4.9 Rencana Anggaran Biaya

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
I	Pekerjaan Persiapan			
1	Uitset dan bouwplank	24.0 m ²	Rp 15,262.50	Rp 366,300.00
Jumlah			Rp	366,300.00
II	Pekerjaan Tanah			
1	Galian tanah pondasi	20.3 m3	Rp 20,600.00	Rp 418,015.20
2	Urugan pasir bawah pondasi	2.61 m3	Rp 98,050.00	Rp 255,910.50
3	Urugan pasir bawah lantai	19.56 m3	Rp 98,050.00	Rp 1,917,734.46
5	Urugan tanah kembali	3.39 m3	Rp 10,100.00	Rp 34,239.00
Jumlah			Rp	2,625,899.16
III	Pekerjaan Beton Pondasi			
4	Pondasi Dinamis 200/300cm	18.00 m3	Rp 2,053,612.50	Rp 36,965,025.00
Jumlah				

IV	Pekerjaan Lain-lain				
1	Pembersihan Lokasi	1	ls	Rp 2,750,000.00	Rp 2,750,000.00
2	Finishing Lokasi	6.11	m2	Rp 125,000.00	Rp 764,000.00
				Jumlah	Rp 3,514,000.00

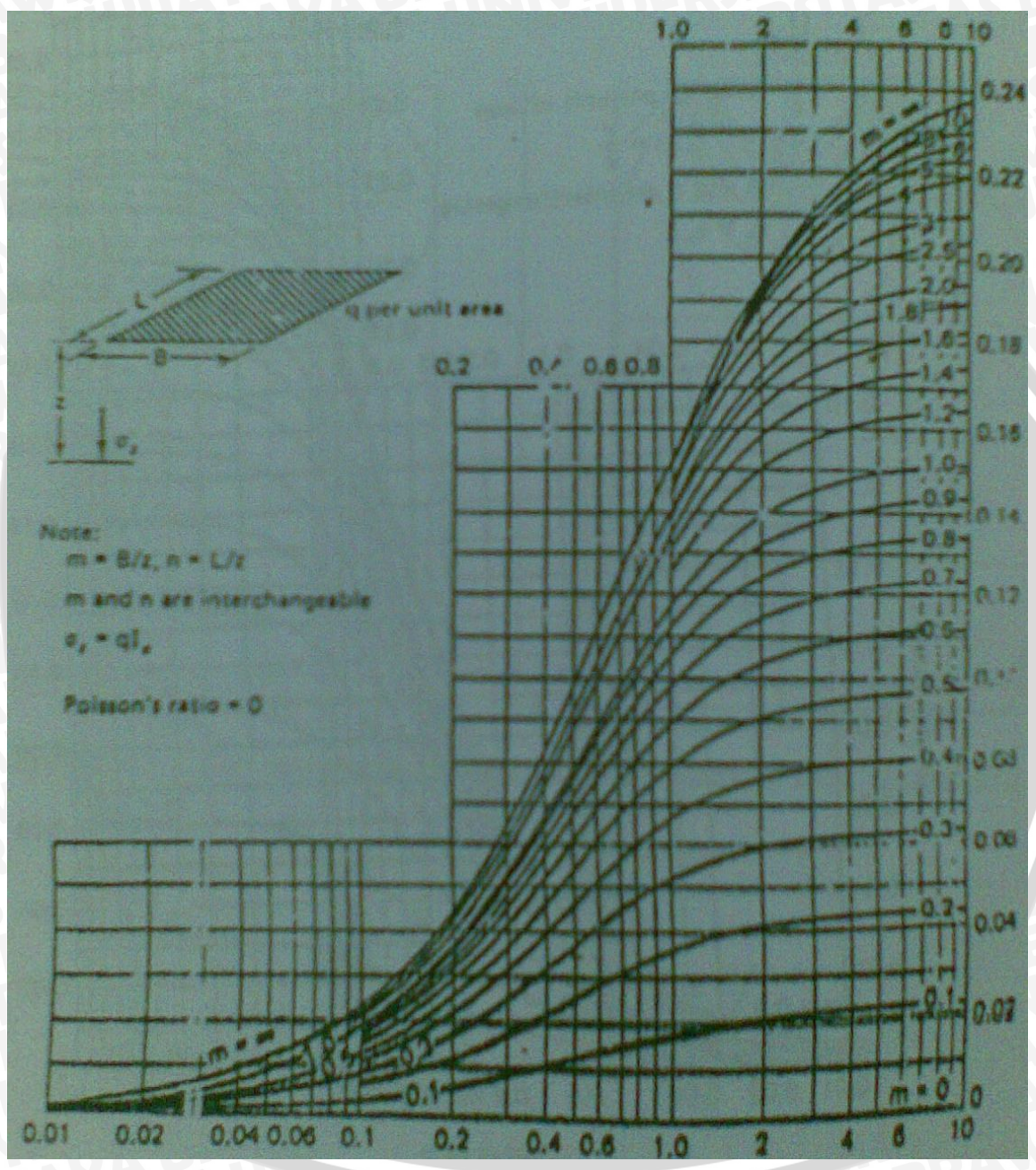
4.7.5 Rekapitulasi Anggaran Biaya

Dari nilai tiap-tiap pekerjaan tersebut dijumlah, sehingga didapat nilai total biaya yang diperlukan untuk pembangunan pondasi dinamis Gas Plan Pertamina di Clangap Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10 Rekapitulasi Anggaran Biaya

NO	URAIAN PEKERJAAN	SUB TOTAL
I	Pekerjaan Persiapan	Rp 366,300.00
II	Pekerjaan Tanah	Rp 2,625,899.16
III	Pekerjaan Beton Pondasi	Rp 36,965,025.00
IV	Pekerjaan Lain-lain	Rp 3,514,000.00
Jumlah Total		Rp 43,471,224.16
Dibulatkan		Rp 43,400,000.00

Dari Tabel 4.8 dapat diketahui total biaya pembangunan pondasi Dinamis Gas Plan Pertamina di Clangap Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro sebesar Rp.43.400.000,00 yang merupakan hasil pembulatan dari nilai total yaitu Rp.43.471.224,16.



Lampiran Grafik Westergaard hubungan nilai m, n, dan I_r