

KAJIAN ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG UNTUK MESIN MIXING DRUM MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS (AREA SINTER PLANT KRAKATAU POSCO)

Enden Mina¹, Rama Indera Kusuma², Deden Setiawan³

^{1,2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435
E-mail : endenmina@yahoo.com , rama_sipil@yahoo.co.id

³⁾ Alumni Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435

ABSTRAK

Dalam perencanaannya pondasi untuk bangunan mesin bergetar memerlukan perlakuan lebih khusus karena adanya beban dinamis dari getaran mesin selain beban statis berat sendiri mesin. Adanya beban dinamis dari getaran mesin memerlukan analisa tambahan untuk menentukan besarnya amplitudo getaran. Analisa daya dukung pondasi menggunakan beberapa metode yaitu metode dari Meyerhof(1976), metode λ dari Vijayvergiya dan Focht (1972) serta metode β . Sedangkan untuk perhitungan penurunan, studi ini menggunakan teori Janbu, Steinbrenner serta software PLAXIS. V.8.2 Berdasarkan hasil analisa diperoleh bahwa beban mesin yang bekerja pada pondasi adalah 1923.9 ton. Hasil analisa daya dukung metode Meyerhof memberikan nilai faktor keamanan 3.72, faktor keamanan dari metode Meyerhof dan λ 3.52, sedangkan dari metode Meyerhof dan β diperoleh faktor keamanan 3.22, sedangkan nilai faktor keamanan hasil analisa dengan program PLAXIS v.8.2 adalah 4.3. Penurunan total maksimum dari analisis Program PLAXIS v.8.2 didapat 3.68 cm yang mana lebih kecil dari syarat penurunan maksimum pondasi 3.68 cm.

Kata kunci : Pondasi Tiang Pancang, daya dukung, Mesin *Mixing Drum*

ABSTRACT

Foundation for vibrating machines requires more special treatment in their planning design because of the dynamic load of vibration machines in addition to a static load of its own weight machine. The presence of dynamic load require additional analysis to determine the magnitude of the vibration amplitude . Analysis of foundation bearing capacity using several methods such as Meyerhof method and λ method from Vijayvergiya and Focht (1972) and β method. As for the calculation of foundation settlement in this study using Janbu theory, Steinbrenner theory and software PLAXIS Version .8.2. The analysis result shows that the engine load acting on the foundation is 1923.9 tons . The results of analysis using Meyerhof method shows that the safety factor value for bearing capacity is 3.72 , from Meyerhof and λ method is 3:52 , from Meyerhof and β method the safety factor is 3:22, while from the safety factor from PLAXIS program V.8.2 result is 4.3. Based on PLAXIS program, the total maximum settlement is 3.68 cm which is smaller than the maximum settlement foundation requirements 3.68 cm .

Keywords: *Pile foundation, bearing capacity, Mixing Drum machine.*

1. PENDAHULUAN

Pondasi mesin merupakan elemen struktur yang digunakan untuk meneruskan beban dari mesin di atas pondasi kedalam tanah. Perencanaan pondasi mesin umumnya lebih kompleks daripada pondasi yang hanya menerima beban statis. Selain perlu memperhitungkan gaya statis yang berasal dari berat mesin dan berat pondasi, perencanaan pondasi mesin juga harus memperhitungkan gaya dinamis yang dihasilkan oleh mesin.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan besarnya daya dukung pondasi

yang digunakan serta nilai faktor keamanan terhadap beban getar dan berat sendiri mesin yang dipikul pondasi. Selain daya dukung dihitung pula penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Hasil analisis manual dibandingkan dengan hasil analisis dari program PLAXIS V.8.2. Perhitungan daya dukung menggunakan metode dari Mayerhof (1976) dengan pemakaian data Nilai N SPT dari lapangan. Metode lain yang digunakan adalah perhitungan kapasitas gesekan kulit dinding pondasi menggunakan Metode λ dan β dari Vijayvergiya dan Focht (1972).

Pondasi mesin yang akan menjadi kajian adalah pondasi mesin *Mixing Drum* yang merupakan bagian bangunan pada proyek pembangunan Sinter Plant Krakatau Posco yang terletak di jalan Afrika No.2 Kawasan Industri Krakatau Cilegon-Banten.



Gambar1. Mesin Mixing Drum pada proyek Krakatau Posco Cilegon

2. LANDASAN TEORI

a. Analisa Daya Dukung Pondasi

Struktur rangka dan pondasi mesin dipusatkan pada daya dukung, Prinsip yang sama juga berlaku untuk mendapatkan daya dukung bagi konstruksi seperti pondasi menara, dam dan dinding penahan tanah urugan. Daya dukung ultimit agak sukar ditaksir untuk tanah yang terdiri dari beberapa lapisan, pondasi yang diletakkan pada atau dekat lereng (slope), dan pondasi yang memikul tarikan sebagai gaya utama. Rekomendasi untuk daya dukung ijin *qa* yang harus digunakan dalam perencanaan didasarkan pada pertimbangan penurunan dan pada daya dukung ultimit. Faktor keamanan didasarkan atas jenis tanah (kohesif atau tak berkohesi), keandalan parameter tanah, informasi struktural (pentingnya, kegunaan, dan sebagainya), serta kehati-hatian konsultan. Kapasitas daya dukung tiang dibedakan oleh daya dukung ujung dan daya dukung gesek, dan apabila daya dukung tersebut di mobilisasi maka akan di dapat :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana,

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang pancang maksimum (ton/m²)

Q_s = Kapasitas daya dukung yang didapat dari gaya gesekan atau adhesi antara tiang pancang dan tanah (ton/m²)

Q_p = Kapasitas daya dukung ujung yang didapat dari tanah di bawah ujung pondasi (ton/m²)

SF = Faktor keamanan

Analisa daya dukung Ujung menurut metode Meyerhof (1976)

$$Q_p = A_p \times q \dots \dots \dots (3)$$

$$q_p = 50 N_q \tan \phi \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{nilai } Q_p > Q_{psyarat} = A_p \cdot q' \cdot N_q' > A_p \cdot 5N_q' \cdot \tan \phi \dots \dots \dots (5)$$

Berdasarkan pengamatan di lapangan, Meyerhof (1976) juga berpendapat bahwa di titik ujung q_u perlawanan di tanah granular homogen ($L = L_b$) dapat diperoleh dari data SPT.

$$q_u = 40 N \frac{L}{d} < 400 N \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

A_p = Luas penampang ujung tiang (m²)

N_q' = Faktor daya dukung yang sudah disesuaikan berdasarkan tabel Mayerhof (Gambar 1)

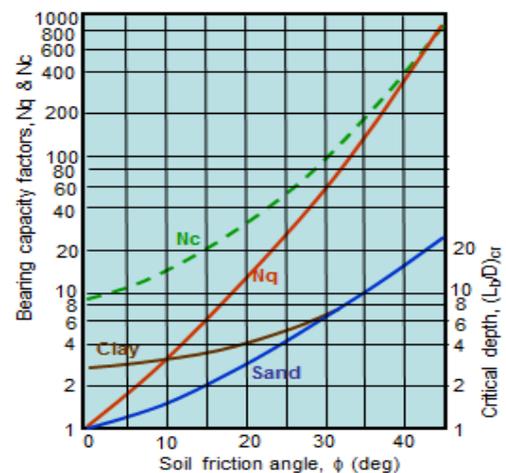
$q_p = q_u$ = Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

ϕ = Sudut geser dalam (derajat)

L = Panjang tiang (m)

D = Lebar tiang (m)

N = Jumlah pukulan pada pengujian SPT



Gambar 1. Faktor Daya Dukung Ijin Dengan Sudut Geser Dalam, Meyerhof (1976)

b. Daya Dukung Kulit Berdasarkan Mayerhof , λ , β

Meyerhof (1976) menunjukkan bahwa unit rata-rata tahanan gesek (f) dapat diperoleh dari nilai SPT rata – rata,

$$Q_s = P / f \dots\dots\dots(7)$$

$$f = 2 \bar{N}(\text{KN/m}^2) \dots\dots\dots(8)$$

$$f = 40 \bar{N}(\text{lb/ft}^2) \dots\dots\dots(9)$$

Dimana,

f = unit rata–rata tahanan gesek (ton/m²)

N = jumlah pukulan rata – rata pada pengujian SPT

Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung gesekan kulit diantaranya Metode λ dan metode β . Metode λ merupakan daya dukung kulit yang biasa digunakan pada tanah lempung yang diusulkan oleh Vijayvergiya dan Focht (1972). Metode ini mengasumsikan bahwa perpindahan tanah yang disebabkan oleh pemancangan tiang menghasilkan tekanan tanah lateral pasif di tiap kedalaman, dan rata-rata satuan tahanan gesek kulit diberikan sebagai:

$$\bar{\sigma} = \frac{\gamma l}{2} \dots\dots\dots(10)$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma} + 2cu) \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_s = P L f_{av} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana,

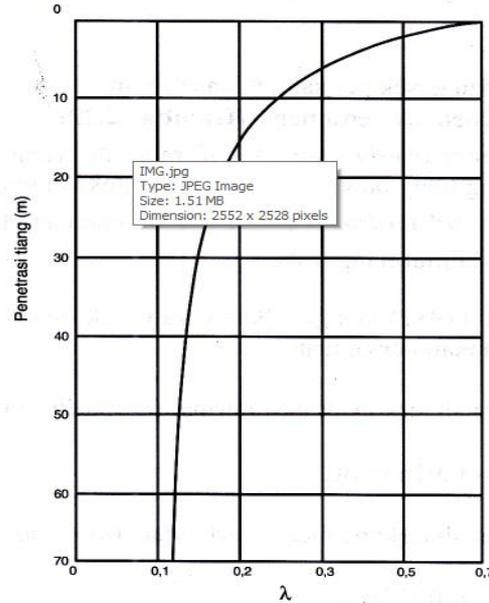
f_{av} = Unit rata – rata tahanan gesek(ton/m²)

γ = Berat jenis tanah (ton/m³)

$\bar{\sigma}$ = Tegangan efektif vertical (ton/m²)

Q_s = Daya dukung kulit (ton/m²)

λ = Didapat dari Grafik λ Vs Kedalaman (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan Antara Koefisien Gesek Dinding (λ) Dengan Kedalaman Penetrasi tang (Vijayvergiya dan Focht, 1972)

Metode β : Saat tiang dipancang ke lapisan lempung jenuh, tekanan air pori dalam tanah di sekitar tiang meningkat. Tekanan air pori eksis pada tanah lempung *Normallyconsolidated* (NC) besarnya sekitar 4-6 kali c_u . Namun, dalam satu bulan atau lebih, tekanan ini secara bertahap terdisipasi. Oleh karena itu, satuan tahanan gesek untuk tiang dapat ditentukan berdasarkan parameter tegangan efektif pada tanah liat dalam kondisi *remolded* (yaitu, $c = 0$). Dengan demikian, pada setiap kedalaman tertentu.

$$f = (1 - \sin \phi) \tan \phi \sigma' \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

f = satuan rata–rata tahanan gesek (ton/m²)

σ' = Tegangan efektif vertical (ton/m²)

c. Efisiensi Kelompok Tiang

Berdasarkan tinjauan penyebaran efisiensi kelompok tiang

$$\text{Efisiensi tiang} = 1 - \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 m n} \times \theta \quad (14)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang (%)

θ = arc tg d/s, dalam derajat

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam 1 baris

d = diameter tiang pancang (m)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

Effisiensi 1 tiang

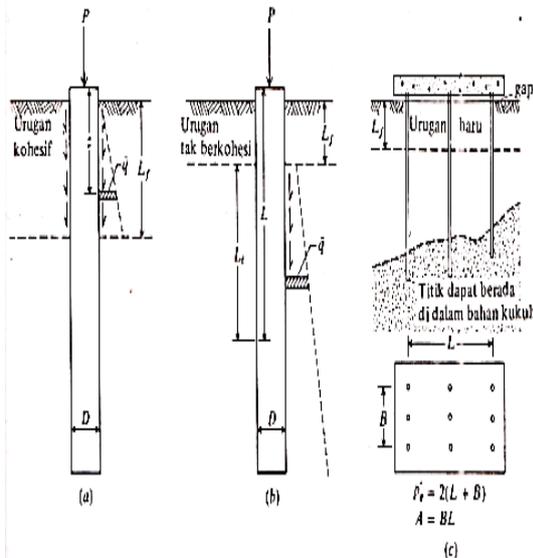
$$N = \frac{\text{total efisiensi}}{\text{jumlah tiang}} \dots\dots\dots(15)$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Q = n \times Q_{ult} \times Efisiensi \dots\dots\dots(16)$$

d. Gesekan Kulit Negatif

Efek utama gesekan kulit negatif adalah menambah beban aksial pada bagian paling bawah dari tiang pancang. Hal tersebut mungkin dapat mengakibatkan pertambahan penurunan tiang pancang yang disebabkan oleh pemendekan tiang pancang karena pengurangan beban aksial.



Gambar 3 Perkembangan gaya-gaya gesek negatif pada tiang pancang

$$L1 = \frac{L}{L1} \left(\frac{L}{2} + \frac{\bar{q}o}{\gamma} \right) - \frac{2\bar{q}o}{\gamma} \dots\dots\dots (17)$$

$$Pn = \alpha' P' \left(\bar{q}o + \frac{\gamma d L1}{2} \right) L1 K \dots\dots\dots(18)$$

$$Ppos = \alpha' P' \left(\bar{q}o(L - L1) + \frac{\gamma d (L^2 - L1^2)}{2} \right) K \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

- L₁ = Jarak ke titik netral (m)
- L = panjang tiang pancang (m)
- \bar{q} = Tekanan beban lebih efektif pada suatu kedalaman z (t/m)
- γ = Berat jenis tanah satuan yang tercakup dalam tiang pancang kelompok hingga kedalaman L_f (t/m²)
- P_n = Gesekan negatif (ton)
- P_{pos} = Tahanan positif (ton)
- K = Koefisien tekanan tanah lateral

α' = Koefisien yang menghubungkan tekanan lateral (t/m²)

e. Penurunan Pondasi

Pada umumnya, pemampatan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam tiga kelompok besar, yaitu:

- 1) Pemampatan segera (*immediately settlement*), S_i, yang merupakan akibat dari perubahan elastis dari butiran tanah tanpa adanya perubahan kadar air.
- 2) Pemampatan konsolidasi (*consolidation settlement*), S_c, yaitu pemampatan yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori-pori tanah.
- 3) Pemampatan sekunder (*secondary settlement*), S_s, merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Perumusan yang dipakai dalam perhitungan pemampatan konsolidasi akibat adanya beban terbagi rata berdasarkan sejarah pembebanannya adalah:

$$S_c = \frac{Cc}{1+e} H \log \frac{\sigma_{o1} + \Delta\sigma}{\sigma_{o1}} \dots\dots\dots(20)$$

Untuk tanah yang terkonsolidasi secara normal, untuk tanah yang terkonsolidasi lebih, apabila

$\Sigma \sigma' + \Delta\sigma < \sigma_{c'}$, maka:

$$S_c = \frac{Cs}{1+e} H \log \frac{\sigma_{o1} + \Delta\sigma}{\sigma_{o1}} \dots\dots\dots(21)$$

Apabila $\sigma' + \Delta\sigma > \sigma_{c'}$, maka:

$$S_c = S_c = \frac{Cc}{1+e} H \log \frac{\sigma_{c'}}{\sigma_{o1}} + \frac{Cs}{1+e} H \log \frac{\sigma_{o1} + \Delta\sigma}{\sigma_{c'}} \dots\dots\dots(22)$$

dimana:

- H = tebal lapisan tanah yang mengalami pemampatan (m)
- e = angka pori tanah sebelum dibebani
- σ_{o1} = tegangan efektif overburden (ton/m²)
- $\sigma_{c'}$ = tegangan prakonsolidasi efektif (ton/m²)
- $\Delta\sigma$ = penambahan tekanan akibat beban luar (ton/m²)
- C_c = indeks kompresi
- C_s = indeks mengembang

Untuk Penurunan segera berdasarkan data lapangan dengan hasil uji SPT (Bowles, 1977)

$$S_i = \frac{4qn}{N} \left(\frac{B}{B+1} \right) \dots\dots\dots(23)$$

Penurunan berdasarkan Janbu (1956)

$$S_i = \frac{\mu_1 \mu_o qn B}{Eu} \dots\dots\dots(24)$$

Penurunan berdasarkan Steinbrenner (1934)

$$I_p = (1 - \mu^2)F_1 + (1 - \mu - 2\mu^2)F_2 \dots\dots\dots(25)$$

$$S_i = \frac{qB}{E} I_p \dots\dots\dots (26)$$

Dimana :

S_i = Penurunan tanah segera (m)

μ_1 = Angka poisson (dari table)

qn = Jumlah beban yang bekerja (ton/m²)

B = Lebar pondasi (m)

E = Modulus elastisitas tanah (ton/m²)

N = Jumlah pukulan pada pengujian SPT

F_1 & F_2 = Koefisien-koefisien yang diusulkan oleh steinbrenner (grafik penurunan).

Penurunan konsolidasi sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi primer berhenti. Besarnya penurunan konsolidasi sekunder merupakan fungsi waktu dan kemiringan kurva fase konsolidasi sekunder C_α . Persamaan kemiringan C_α diperoleh dari persamaan :

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_1 - \log t_2} \dots\dots\dots(27)$$

Nilai C_α ditentukan dari grafik angka pori terhadap log waktu. Selanjutnya penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan :

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} \log \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana

S_s = Penurunan konsolidasi sekunder (m)

H = Tebal benda uji awal atau tebal apisan lempung (m)

Δe = Perubahan angka pori uji dilaboratorium dari t_1 ke t_2

e_p = angka pori saat konsolidasi primer selesai

f. Getaran Pada Mesin

Getaran yang terjadi karena rangsangan dari luar disebut getaran paksa. Jika rangsangan tersebut beresilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya dapat terjadi. Oleh karena itu perhitungan frekuensi natural

merupakan hal penting yang utama dalam masalah getaran.

g. Amplitudo Getaran Mesin

Untuk menganalisa perhitungan dinamis perlu diperhitungkan redaman dan amplitudo getaran mesin, dalam hal ini untuk analisa perhitungan podasi terhadap beban dinamis tanah yang menahan beban disimulasikan dianggap elastis sebagai pegas yang menahan bangunan di atasnya.

Perhitungan Amplitudo

- 1) Total berat beban
 $W = m \cdot g \dots\dots\dots(29)$
- 2) Gaya yang bekerja
 $F_z = F_o \sin \omega t \dots (30)$
 $F_x = F_o \cos \omega t \dots(31)$
- 3) Luas permukaan fondasi dengan tanah (Luasan poer)
 $A = P \cdot l \dots\dots\dots (32)$
- 4) Momen inersia permukaan dasar fondasi
Persegi : $I = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \dots(33)$
Lingkaran : $I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 \dots(34)$
- 5) Momen inersia pusat massa
Persegi :
 $I_{cm} = \sum \frac{m_i}{12} (\alpha y_i^2 + \alpha z_i^2) \dots(35)$
Lingkaran :
 $I_{cm} = \sum \frac{m_i \cdot R}{2} \dots\dots\dots(36)$
Dimana :
 m = Massa beban
 ayi = Panjang dimensi terhadap sumbu y
 azi = Panjang dimensi terhadap sumbu z
- 6) Momen inersia terhadap sumbu putar y
 $M_m = I_{cm} + \sum m_i (x_{oi}^2 + y_{oi}^2 + z_{oi}^2) \dots\dots\dots(37)$
- 7) Momen inersia massa sistem keseluruhan
 $M_{mo} = M_{mo} + m \cdot L^2 \dots\dots\dots(38)$
- 8) Frekuensi putaran mesin
 $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots (39)$
- 9) Amplitudo getaran mesin
Getaran translasi vertikal
 $A_z = \frac{F}{\sqrt{(Kz - m\omega)^2 + (Cz\omega)^2}} \dots\dots\dots(40)$

Getaran translasi horizontal dan rocking didapat dengan menyajikan persamaan yang diperoleh dari kekakuan dan redaman tiang pancang maka di dapat 4 persamaan untuk di dsajikan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} A & BC & -D \\ -B & AD & C \\ C & -D & E & F \\ D & C & -F & E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{U1} \\ A_{U2} \\ A_{\psi 1} \\ A_{\psi 2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -P_0 \\ 0 \\ -M_0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Solusi persamaan di atas memberikan

$$\begin{aligned} A &= [m\omega^2 - Kz] \\ B &= [Cz \times \omega] \\ C &= KzL - K_{x\theta} \\ D &= (CzL - C_{x\theta})\omega \\ E &= I_{cog}\omega^2 - K1 + 2K_{x\theta}L - KzL^2 \\ F &= (C1 - 2C_{x\theta}L + CzL^2)\omega \dots\dots(41) \end{aligned}$$

Didapat amplitudo getaran Horizontal dan rocking:

$$A_u = \sqrt{A_{u1}^2 + A_{u2}^2} \dots\dots\dots(42)$$

$$A_\psi = \sqrt{A_{\psi 1}^2 + A_{\psi 2}^2} \dots\dots\dots(43)$$

10) Menghitung frekuensi natural fondasi

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{AEg}{Wl}} \dots\dots\dots(44)$$

h. ProgramPlaxis

Plaxisv.8.2 adalah salah satu dari sekian banyak software Geoteknik yang berbasis metode elemen hingga. Metode elemen hingga sebagai cabang ilmu pengetahuan yang secara prinsip menggunakan pendekatan numerik dalam analisa elemen-elemen tertentu dari system yang ditinjau.

1) Analisa Program Plaxis

Pada proses analisa pondasi mesin *Mixing Drum* analisis yang digunakan adalah dengan metode *Plane Strain* yang bilamana pada metode ini kalkulasi struktur yang digunakan dapat di input beban horizontal, karena penggambaran kalkulasi pada *Axisymetri* bersifat mengelilingi poros apabila diberi beban horizontal maka input beban tersebut mengelilingi bidang penggambaran. Untuk pemodelan tiang akan dimodelkan dengan menggunakan komponen pelat. Untuk pemodelan tiang rakit dalam bentuk 2 dimensi, maka diperlukan sebuah nilai yang menyatakan besar modulus Young ekuivalen dari seluruh tiang yang diwakili oleh tiang *plane strain* dalam pemodelan. Dengan menggunakan rumus modulus young ekuivalen dalam bentuk *plane strain* yang dibuat oleh Prakoso dan kulhawy (2001), maka :

$$E_{eq} = \frac{n_p \text{-baris} A_p E_p}{L_r B} \dots\dots\dots(45)$$

Dimana:

E_{eq} = Modulus young ekuivalen tiang *plane strain* (KN/m²)

$n_p \text{-baris}$ = Jumlah tiang pancang dalam baris ke-i

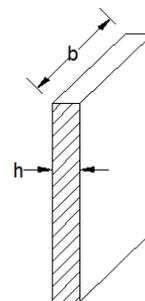
A_p = Luas permukaan tiang (m²)

E_p = Modulus young tiang (KN/m²)

L_r = Panjang komponentiang rakit (m)

B = Lebar tiang (m)

Dengan demikian, persamaan diatas tetap dapat digunakan untuk komponen tiang dengan mengganti E menjadi E_{eq} .



Gambar 4 Ilustrasi Pemodelan Tiang Pancang

Berat tiang pancang akan diberikan dalam gaya per satuan luas. Perlu diperhatikan bahwa saat memodelkan tiang pancang, terjadi overlap antara berat sendiri tiang dengan berat tanah disekitarnya.

$$W_{tiang} = (\gamma_{beton} - \gamma_{tanah}) h_{asli} \dots\dots(46)$$

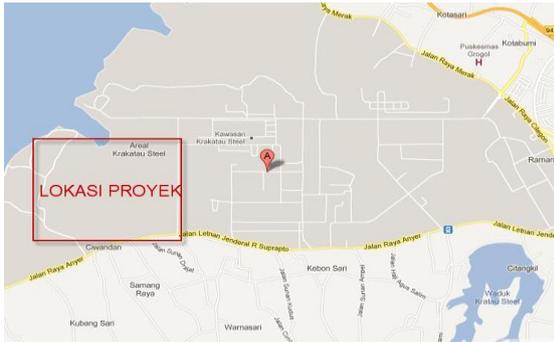
Pemodelan pembebanan seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa data beban yang digunakan adalah beban terpusat yang didistribusikan melalui *pile cap* terhadap tiang pancang. Dimana dalam pemodelan tiang pancang ini disimulasikan dengan potongan melintang yakni dimana beban yang bekerja adalah beban terpusat dimana beban yang dimasukkan pada plaxis dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di bawah ini didapat nilai beban vertikal = 23.79 ton dan beban horizontal = 17 ton

$$P_{eq} = \frac{\sum P_{baris-i}}{L_r} \dots\dots(47)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pondasi yang akan dianalisis adalah pondasi tiang pancang yang menahan beban dinamis dengan mesin pergerakan torsi, yaitu pada proyek pembangunan *Mixing Drum (Sinter Plant)* Kawasan Industri Krakatau Cilegon – Banten. Peta lokasi dapat dilihat

pada Gambar 5. Analisis perhitungan meliputi daya dukung pondasi, gaya dan momen yang bekerja, defleksi tiang pancang, frekuensi dan amplitudo getaran mesin. Analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan metode analisis manual dan *software PAXIS v.8.2*. Layout pondasi mesin Mixing Drum dapat disajikan secara sederhana seperti Gambar 6.



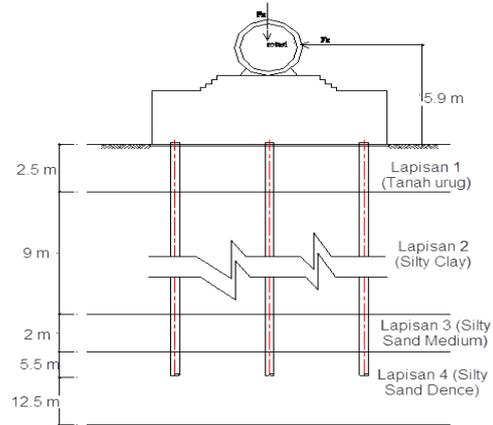
Gambar 5. Peta lokasi Proyek

Tahap awal analisis adalah mengumpulkan data parameter tanah seperti γ_d (berat jenis tanah kering), γ_s (berat jenis tanah jenuh), c (kohesi tanah), Φ (sudut geser tanah), dan nilai N SPT dari penyelidikan lapangan uji SPT. Data pelengkap untuk Plaxis seperti model material, tipe material, Modulus elastisitas ditentukan melalui perhitungan.

Tabel 1. Menunjukkan data parameter tanah pada lokasi Mixing Drum berada.

Parameter Tanah	Lapis 1 (sand)	Lapis2 (silty clay)	Lapis3 (silty sand)	Lapis4 (silty sand)
ϕ	29	30	38	40
γ_{sat} (t/m^3)	1.8	2	2.2	2.2
γ_d (t/m^3)	1.7	1.9	2.0	1.1
c (t/m^2)	0.1	6.5	0.6	0.6
Tebal lap(m)	2.5	9	2	5.5
Kedalaman (m)	2.5	12.5	14.5	19
N-rata2x SPT	2	10	33	45

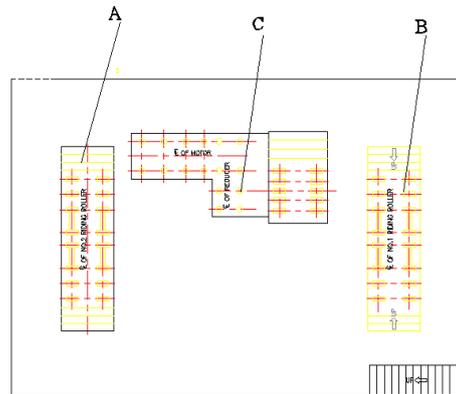
Tahap berikutnya mengumpulkan data pembebanan yaitu berat mesin dan amplitudo getaran mesin yang dihasilkan. Setelah data utama dan pendukung sudah terkumpul dilakukan analisa daya dukung pondasi melalui metode perhitungan manual dan penggunaan software Plaxis.



Gambar 6 Profil tanah dan potongan dari pondasi Mixing Drum

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan pembebanan untuk data mesin disajikan dalam Tabel 2. Denah Tumpuan mesin disajikan dalam Gambar 7 disertai hasil perhitungan berat mesin dan per kedudukan mesin sebagai beban statis bagi pondasi.



Gambar 7. Denah Tumpuan Mesin

Tabel 2. Data pembebanan beban getar pondasi *mixing drum*

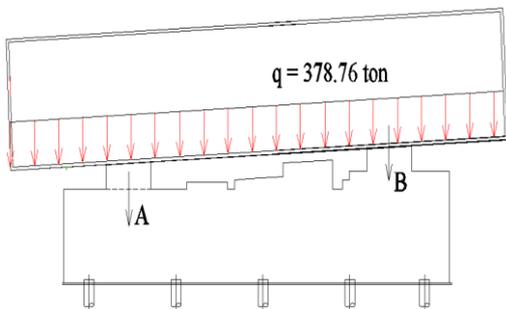
No	Beban	Niai	Satuan	Keterangan
1	Periode	2.84	Detik	-
2	Frekuensi drum	0.353	Hz	-
3	Frekuensi motor penggerak	1455	rpm	Data mesin
4	Fx (horizontal)	263.76	Ton	-
5	Fz (vertikal)	263.76	Ton	-
6	Berat mixing drum (q)	115	Ton	Data mesin
7	Berat motor penggerak	20.5	Ton	Data mesin
8	Berat darurat	378.76	Ton	Daya tamp.
9	Pa (tumpuan A)	189.38	Ton	Berat darurat/2
10	Pb (Timpuan B)	189.38	Ton	Berat darurat/2

Data mesin

Beban mesin = 20.5 ton Berat
 mixing drum = 115 ton
 Daya tampung drum = 263.76 ton
 Kecepatan operasi mesin= 1455 rpm = 152Hz

Data Desain Poer

Tebal poer = 3.4 m
 Panjang poer = 15.5 m
 Lebar poer = 10.3 m
 γ_{beton} = 2.4 ton/m³
 Volume dudukan mesin = 8.56 m³
 Berat poer = volume poer x berat jenis beton
 $= (3.4 \times 15.5 \times 10.3) + 8.56 \times 2.4 = 1323.3 \text{ ton}$



Gambar 8. Sketsa pembebanan pada Tumpuan A dan B

b. Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Dalam perhitungan daya dukung pondasi data yang digunakan adalah data tanah yang berupa SPT (*Standard Penetration Test*) data tanah yang diperlukan disajikan pada tabel 1 yang meliputi sudut geser (ϕ), berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}), berat jenis tanah (γ_d), dan kohesi (c). Beberapa parameter diperoleh dari hasil korelasi antara nilai N-SPT untuk jenis tanah masing – masing lapisan.

Rangkuman hasil perhitungan daya dukung disajikan pada Tabel 3. Pada kondisi aktual pondasi tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang beton dengan jumlah 15 tiang dan diameter 0.6 m. Berdasarkan Tabel 3, nilai faktor keamanan yang dihasilkan dengan menggunakan metode Meyerhof serta Teori λ dan β memberikan nilai diatas 3 yang menunjukkan bahwa pondasi cukup aman untuk menahan beban mesin Mixing Drum.

Nilai faktor kemaman dari hasil metode Meyerhof (3.73) memberikan jumlah minimal

tiang pancang yang dapat memikul beban tersebut adalah 14 tiang, maka jumlah 15 tiang pancang yang digunakan di lapangan sangat memenuhi syarat keamanan pondasi.

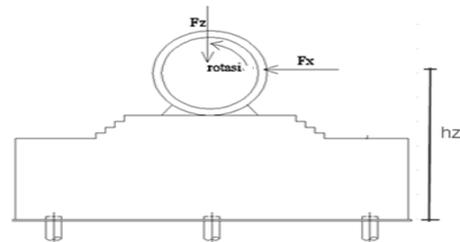
Tabel 3. Hasil Analisis Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

Metode	Daya dukung (Qult) (ton)	Beban Kerja (ton)	SF (Angka keamanan)
Meyerhof	7232.62	1923.9	3.73
Meyerhof dan λ	6764.21	1923.9	3.52
Meyerhof dan β	6197.21	1923.9	3.22

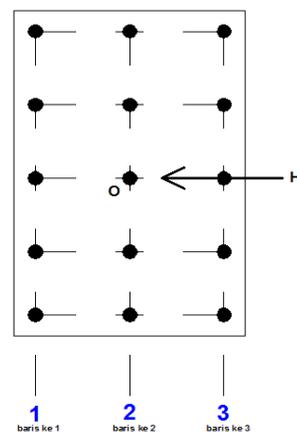
Sumber : Hasil Analisis 2013

c. Perhitungan Momen Pada Kelompok Tiang

Pada analisis perhitungan pondasi mesin perlu diperhitungkan analisa momen, gaya horizontal ijin (H_u) dan defleksi yang terjadi akibat beban horizontal. Dengan menggunakan data mesin dan data tanah yang disajikan dari Tabel 1 dan Tabel 2 dengan ketinggian beban kerja (h_z) = 5.9 m dari dasar *pile cap* (Gambar 9 dan Gambar 10), maka diperoleh hasil perhitungan daya dukung horizontal pondasi seperti yang disajikan dalam Tabel 4.



Gambar 9. Pembebanan *Mixing Drum*



Gambar 10. Denah Tiang Pancang

Tabel 4. Hasil Analisis Daya Dukung Horizontal Tiang Pancang

Analisa	Nilai	Satuan	Keterangan
Σx^2	176.4	.m ²	-
My	1599.2	Ton.m	-
Mmax	29083.6	Ton.m	-
Q1	76.76	Ton/tiang	-
Q2	114.84	Ton/tiang	-
Q3	152.91	Ton/tiang	-
Hu	428.21	Ton	Aman
Yo	0.23	Cm	Aman

Sumber : Hasil Analisis 2013

Dimana :

Σx^2 = Luasan daerah yang diperhitungkan

My = Momen yang bekerja akibat gaya horizontal

Hu = Nilai gaya horizontal yang diijinkan

Mmax = Momen maksimum yang diterima tiang pancang

Q1 = Gaya yang diterima pada baris 1

Q2 = Gaya yang diterima pada baris 2

Q3 = Gaya yang diterima pada baris 3

yo = defleksi (< 1 cm = Aman)

Dari Tabel 4 diatas didapatkan hasil analisis bahwa nilai yang didapat memenuhi syarat perencanaan dimana nilai defleksi (yo) adalah 0.23cm < 1cm. Momen yang bekerja lebih kecil daripada momen maksimum yang dapat diterima tiang. Dengan demikian pondasi cukup kuat untuk menahan gaya horizontal yang diakibatkan oleh getaran mesin.

d. Perhitungan amplitudo

Berdasarkan perhitungan Amplitudo getaran mesin diperoleh besar amplitudo vertikal mesin adalah 0.000141 m, amplitudo torsi = 0.000468 rad dengan amplitudo horizontal = 0.0057 m. Nilai amplitudo digunakan pada pemodelan PLAXIS yang digunakan pada analisa beban dinamik.

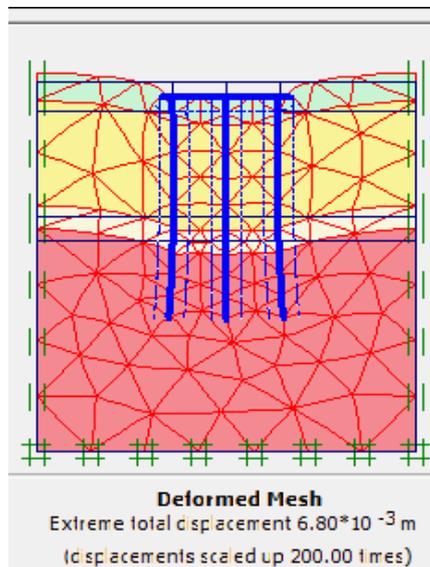
Hasil perhitungan daya dukung pondasi dengan tambahan beban getar mesin menurut Software PLAXIS v.8.2 diperoleh nilai faktor keamanan adalah 4.37 dimana lebih besar dari hasil perhitungan manual. Dengan menggunakan faktor keamanan tersebut maka beban yang mampu ditahan pondasi dihitung sebagai berikut:

Dengan $\Sigma -Msf = 4.307$, maka

Maka $Qult = \Sigma -Msf \times P(\text{per tiang} = 128.26 \text{ ton}) = 552.42 \text{ ton}$

Nilai daya dukung kelompok dengan nilai efisiensi tiang kelompok $Eg = 0.842$ maka

$$Qult = n \times Qult \text{ 1tiang} \times Eg = 6977.06 \text{ ton}$$



Gambar 11. Total displacement (Shading)

e. Penurunan

Penurunan segera dari pondasi yang dikaji berdasarkan analisis menggunakan data laboratorium diperoleh $S_i = 1.93 \text{ mm}$ sedangkan menggunakan software PLAXIS didapatkan $S_i = 6.8 \text{ mm}$ (Gambar 11) dengan penurunan total didapatkan 3.68 cm yang lebih kecil dari penurunan maksimum yang disyaratkan (3.81 cm). Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan 15 buah pondasi tiang, pondasi cukup aman dari segi penurunan ijinnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa menggunakan metode perhitungan daya dukung dari Meyerhof diperoleh beban mesin yang bekerja pada pondasi adalah 1923.9 ton. Nilai faktor keamanan yang diperoleh dari perhitungan metode Meyerhof adalah 3.72, untuk metode Meyerhof dan λ diperoleh faktor keamanan 3.52 , sedangkan dengan metoda Meyerhof dan β diperoleh faktor keamanan 3.22. nilai faktor keamanan hasil analisa dengan program PLAXIS v.8.2 dipeoleh nilai 4.3

Penurunan yang terjadi pada fondasi dari hasil simulasi menggunakan program

PLAXIS V. 8.2 diperoleh penurunan total sebesar 0,036 m atau 3.68 cm lebih kecil dari batas penurunan maksimum untuk pondasi 3.81 cm.

Dengan demikian berdasarkan hasil analisis menurut metode manual dan software PLAXIS v.8.2 besar faktor keamanan daya dukung pondasi tiang pancang yang digunakan dalam beban *Mixing Drum* memenuhi syarat keamanan dengan faktor keamanan $SF \geq 3$. Dari segi penurunan pondasi, angka penurunan hasil perhitungan masih di bawah syarat penurunan pondasi maksimum yang diijinkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E., 1988, *Analisis Dan Desain Pondasi*, Erlangga. Jakarta
- Das, M.B., 1941, *Principles of Foundation Engineering*, Library of Congress Cataloging in Publication Data. Boston USA.
- Erni, 2008. *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Dalam Berbagai Bentuk Tiang*. Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok
- Hardiyatmo, Hary Chistady., 1994, *Mekanika Tanah 2*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Chistady, 2010. *Teknik Fondasi 1*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Chistady, 2010, *Teknik Fondasi 2*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Istihanah, Z. dan Dwi Ainun, 2011, "Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Untuk Mesin Menggunakan Program Plaxis Versi 8.2". Untirta Cilegon
- Irsyam, Masyhur., 2008, *Dinamika Tanah dan Fondasi Mesin*, ITB, Bandung.
- M. Anggita, Deyva dan Roesyanto, 2009. *Analisis Daya Dukung Sistem Pondasi Kelompok Tiang Tekan Hidrolis*. Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan ITC Polonia Medan
- Marbun, Boyke., 2009, *Analisis Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area*. Medan
- Meyerhof, G.G. (1976). "Bearing capacity and settlement of pile foundation" *Journal of Geotechnical Engineering division, American Society of Civil Engineering* vol.102, No. GT3, pp. 197-228
- Natasya, Bianca., 2011, *Studi Pemakaian Pondasi Tiang Rakit Pada Sebuah Proyek Apartemen Di Jakarta Dengan Menggunakan Metode Konvensional Poulos Dan PLAXIS Dua Dimensi*. Jakarta
- Riwong, Ronald., dan Sumariani, Novita., 2006, *Perhitungan Pondasi Mesin Di Kawasan Rungkut Surabaya*, Surabaya.
- Sardjono, HS Ir., 1988, *Pondasi Tiang Pancang*, jilid 1, Edisi Pertama, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Sardjono, HS Ir., 1988, *Pondasi Tiang Pancang*, jilid 2, Edisi Pertama, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Suhendro, Bambang., 2000, *Analisis Dinamik Struktur*, Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- Tjie-Liong, Gow., 1994, *Pondasi Tiang Perencanaan Dan Pelaksanaannya*, Fakultas Teknik Bina Nusa. Jakarta.
- Vijayvergia, V.N., dan Focht, J.A, Jr (1972) *A new way to predict capacity in clay*, Offshore Technology Conference paper 1718, Fourth Offshore Technology Conference, Houston, Texas
- Yuniato, Tonny., 1996, *Tinjauan Getaran Pada Pondasi Mesin*, *Vasthu* : 4 November