

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG PADA PEMBANGUNAN GUDANG KAWASAN PERGUDANGAN PT. WIDYA SAKTI KUSUMA

Bustomi¹, Anita Setyowati Srie Gunarti²
^{1,2} Universitas Islam 45 Bekasi
 Email: anita_s2ugm@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam perencanaan fondasi tiang harus dilakukan dengan teliti dan secermat mungkin. Setiap fondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Penelitian dilakukan di Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, karena penulis bekerja sebagai staf teknik pada di Kawasan Pergudangan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi.

Analisis dilakukan dengan metode statis dan dinamis untuk mengetahui kapasitas dukung tiang pancang dan penurunan yang terjadi. Kapasitas dukung tiang pancang dengan metode statis dihitung berdasarkan data uji laboratorium dan data lapangan (SPT), sedangkan metode dinamis dihitung berdasarkan data lapangan yaitu berat palu, tinggi jatuh palu, penurunan 10 pukulan terakhir. Dimensi tiang pancang yang digunakan berbentuk persegi 0,3m x 0,3m, panjang tiang 9 m dan terdapat 2 tiang pancang dalam satu *pile cap* (tiang kelompok).

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan berat total struktur bangunan (Pt) = 49,98ton. Berdasarkan metode statis untuk data laboratorium diperoleh kapasitas ijin tiang (Qa) = 98,21ton. Untuk data lapangan (SPT) diperoleh (Qa) = 113,35ton, sedangkan berdasarkan metode dinamis, dari rumus Modifikasi *Engineering News Record* (ENR) diperoleh kapasitas ijin tiang (Qa) = 98,21ton. Dari rumus modifikasi *Danish* diperoleh (Qa) = 97,8ton, berdasarkan data lapangan (SPT) didapatkan kapasitas dukung total kelompok tiang (ΣQ_u) = 453,4ton sedangkan dari perhitungan laboratorium sendiri diperoleh kapasitas dukung total kelompok tiang (ΣQ_u) = 204,4ton > berat total struktur bangunan (Pt) = 49,98ton sehingga kapasitas dukung tiang pancang aman mendukung beban struktur. Untuk penurunan pada lapisan tanah lempung, perhitungan penurunan dilakukan dengan metode konsolidasi didapatkan penurunan total sebesar 0,0053m

Kata Kunci : pondasi, analisis, tanah, gudang, penurunan, kapasitas dukung.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam proyek suatu konstruksi, hal yang paling penting salah satunya adalah fondasi dikarenakan berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya ke lapisan tanah di bawahnya. Ditinjau dari segi pelaksanaan, ada beberapa keadaan dimana kondisi lingkungan tidak memungkinkan adanya pekerjaan yang baik dan sesuai dengan kondisi yang diasumsikan dalam perencanaan meskipun macam fondasi yang sesuai telah dipilih dengan perencanaan yang memadai, serta struktur fondasi yang telah dipilih itu

dilengkapi dengan pertimbangan mengenai kondisi tanah fondasi dan batasan-batasan struktur.

Setiap fondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Jenis fondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah adalah fondasi tiang (Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1990).

Setelah memperhatikan alasan-alasan tertentu seperti karakteristik tanah, beban struktur atas, lingkungan sekitar proyek maka pada pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi ini digunakan fondasi tiang pancang. Pembuatan fondasi tiang pancang dilakukan di pabrik, kemudian dibawa ke lokasi proyek. Fondasi tiang pancang terdiri dari beberapa tiang dalam satu kelompok yang disatukan dengan *pile cap*, karena momen lentur struktur atas dan beban aksial yang akan didukung dua pondasi cukup besar. *Pile cap* dipakai untuk mendistribusikan beban ke seluruh tiang.

Pada pembangunan Gudang PT. Widya Sakti Kusuma ini, penyelidikan geoteknik yang dilakukan adalah tes sondir dan pemboran dalam, kemudian diteruskan dengan beberapa jenis uji laboratorium atas contoh tanah *undisturbed* yang diperoleh dari pemboran yang diambil dari lokasi sekitar proyek.

Dari hasil penyelidikan tanah yang dilaksanakan, berupa tes sondir dan pemboran, maka kondisi tanah dasar yang dijumpai dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Dari data bor:

- Daerah sekitar data *boring log* 1 (DB.1) dan data *boring log* 2 (DB.2)
Berdasarkan data pemboran, lapisan permukaan berupa lempung kelanauan berkonsistensi sedang, $N = 5\sim 7$, hingga sekitar kedalaman 6,70–7,30 meter, kemudian sangat teguh, $N = 17\sim 21$, hingga sekitar kedalaman 8,60–9,40 meter, dari permukaan tanah.
Selanjutnya lapisan sangat padat berupa pasir campur *gravels* dengan nilai $N = > 50$, hingga kedalaman sekitar 15,00–15,20 meter, dan pasir kelanauan padat ~ sangat padat, $N = 32\sim > 50$, hingga kedalaman 17,00–17,60 meter.
Seterusnya hingga akhir pemboran kedalaman 20,45 meter berupa lanau kelempungan berkonsistensi sangat teguh hingga keras, $N = 20\sim 30$ berwarna abu-abu kecoklatan/coklat kekuningan dan hitam.
- Daerah sekitar data *boring log* 3 (DB.3) dan data *boring log* 4 (DB.4)
Secara umum pada daerah ini kondisi tanah dasar dipermukaan relatif sama dengan daerah DB.1 dan DB.2, dimana dari permukaan hingga sekitar kedalaman 10,00–10,60 meter, berupa lempung kelanauan berkonsistensi sedang-teguh, dengan nilai $N = 4\sim 13$, berwarna dominan coklat dan abu-abu, kemudian konsistensi menjadi teguh-sangat teguh dengan nilai $N = 13\sim 18$ hingga sekitar kedalaman 11,80 sampai dengan 12,00 meter.
Selanjutnya hingga akhir pemboran sekitar kedalaman 20,00 meter, berbeda dengan daerah DB.1 dan DB.2 yang terdapat pasir campur *gravels*, sedangkan di daerah DB.3 dan DB.4 berupa lanau kelempungan berkonsistensi keras-sangat keras, dengan nilai $N = 40\sim > 50$, berwarna dominan abu-abu.

Muka Air Tanah (MAT) setelah 24 jam tercatat pada kedalaman 0,00–1,20 meter, diduga hanya genangan air hujan, bukan muka air tanah yang sebenarnya.

Dari data sondir tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah dasar dari permukaan tanah sekarang pada umumnya berkonsistensi sedang hingga sekitar kedalaman 6,00 meter, kemudian teguh-sangat teguh, selanjutnya keras, dan merupakan kedalaman akhir dari tes sondir pada kedalaman yang bervariasi yaitu 6,70–11,00 meter, dari muka tanah sekarang, dengan nilai perlawanan konus pada akhir tes, $q_c = > 250 \text{ kg/cm}^2$.

Kedalaman akhir tes sondir serta daya dukung tanah permukaan berdasarkan tes sondir:

Tabel 1.1 Kedalaman Tes Sondir dan Daya Dukung Tanah Permukaan Berdasarkan Tes Sondir

| No. Titik Sondir | Kedalaman Akhir tes (meter) | Nilai q_c Akhir Tes (Kg/cm^2) | Ketinggian Titik terhadap jalan (meter) | Daya dukung tanah izin pada Kedalaman 1.50 m dari tanah sekarang. (Kg/cm^2) |
|------------------|-----------------------------|--|---|--|
| S1 | 6,7 | 250 | -0,5 | 0,3 |
| S2 | 11 | 250 | -0,5 | 0,2 |
| S3 | 9,4 | 250 | -0,5 | 0,2 |
| S4 | 7,8 | 250 | -0,5 | 0,2 |

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah seberapa besar kapasitas dukung fondasi tiang pancang dan berapa besarnya penurunan yang akan terjadi terhadap dimensi fondasi rencana.

1.3 Batasan Masalah

Agar hasil penelitian optimal dan kemudahan dalam perencanaan fondasi tiang pancang ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut ini.

- Analisis struktur bangunan atas menggunakan program SAP (*Structure Analysis Program*) 2000.
- Tiang pancang yang digunakan adalah dari beton bertulang K450 dengan tampang segitiga berdiameter 30 cm, 30 cm dan panjang tiang 9 m.
- Tebal *pile cap* kesatu yang digunakan adalah 50 cm, 50 cm dan 50 cm. Tebal *pile cap* kedua yang digunakan adalah 50 cm, 60 cm dan 90 cm.
- Metode analisis kapasitas dukung fondasi tiang pancang menggunakan metode statis.
- Analisis beban yang bekerja pada struktur menggunakan Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah Tinggal dan Gedung Tahun 1983.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang pancang terhadap dimensi fondasi rencana.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai kapasitas dukung fondasi tiang pancang dan penurunan fondasi tiang pancang, dan dapat dijadikan acuan untuk bahan penelitian selanjutnya, serta sebagai informasi dan rekomendasi bagi pembangunan gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi.

II. Landasan Teori

Penurunan Fondasi Kelompok Tiang

a. Tanah Pasir

Beberapa metode dari penelitian dapat digunakan untuk menghitung penurunan fondasi kelompok tiang antara lain, yaitu:

1) Metode Vesic

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{d}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan:

S = Penurunan fondasi tiang tunggal

S_g = Penurunan fondasi kelompok tiang

B_g = Lebar kelompok tiang

d = Diameter tiang tunggal

2) Metode Meyerhof

a) Berdasarkan N – SPT

$$S_g = 2q \sqrt{\frac{B_g \cdot I}{N}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan:

$$I = \left[I - \frac{L}{8 B_g} \right] \geq 0,5$$

Q = Tekanan pada dasar fondasi

B_g = Lebar kelompok tiang

N = Harga rata-rata N-SPT pada kedalaman ± B_g di bawah ujung fondasi tiang

3) Berdasarkan CPT (Cone Penetration Test)

$$S_g = \frac{q \cdot B_g \cdot I}{2Q_c} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan:

$$I = \left[I - \frac{L}{8 B_g} \right] \geq 0,5$$

q = Tekanan pada dasar fondasi

B_g = Lebar kelompok tiang

Q_c = Nilai konus pada rata – rata kedalaman B_g

b. Tanah Lempung

Penurunan fondasi yang terletak pada tanah lempung dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut dan dinyatakan dalam rumus berikut:

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan:

S = Penurunan total

S_i = Penurunan segera

S_c = Penurunan konsolidasi primer

Ss = Penurunan konsolidasi sekunder

a) Penurunan segera

Penurunan segera adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan, (Janbu, Bjerrum dan Kjaemli dalam D.C. Chandra, 2008).

Dirumuskan sebagai berikut:

$$S_i = \mu_i \cdot \mu_o \frac{qB}{E} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dengan:

S_i = Penurunan seger

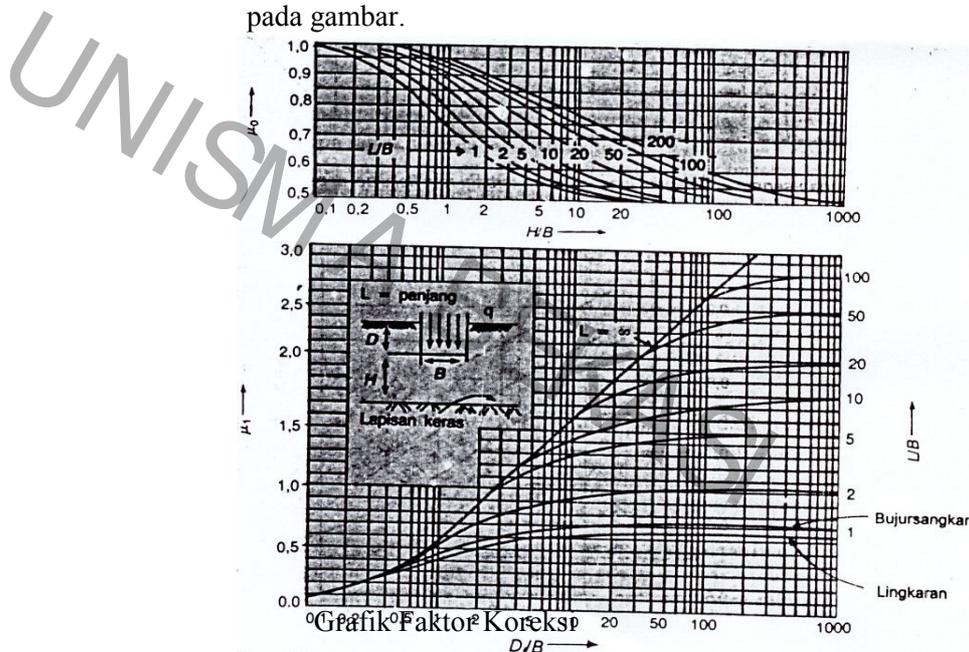
q = Tekanan netto fondasi ($\frac{F}{A}$)

B = Lebar tiang pancang kelompok

E = Modulus elastis (tabel 2.2)

μ_i = Faktor koreksi lapisan tanah dengan tebal terbatas H

μ_o = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi D_f dapat dilihat pada gambar.



Sumber: Janbu, Bjerrum dan Kjaemli dalam D.C Chandra, 2008

b) Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan yang terjadi sebagai hasil dari pengurangan volume tanah akibat aliran air meninggalkan zona tertekan yang diikuti oleh pengurangan kelebihan tekanan air pori.

Rumus yang dipakai untuk menghitung penurunan konsolidasi primer yaitu sebagai berikut:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_o} H \frac{e_1 - e_o}{1+e_o} H \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan:

Δe = Perubahan angka pori

- E_0 = Angka pori awal
 e_1 = Angka pori saat berakhirnya konsolidasi
 H = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

c) Penurunan Konsolidasi Sekunder

Penurunan konsolidasi sekunder adalah penurunan yang tergantung dari waktu, namun berlangsung pada waktu setelah konsolidasi primer selesai yang tegangan efektif akibat bebannya telah konstan. Besar penurunannya merupakan fungsi waktu (t) dan kemiringan kurva indeks pemampatan sekunder ($C\alpha$). Rumus kemiringan $C\alpha$ adalah sebagai berikut:

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2 / t_1)}$$

Maka penurunan konsolidasi sekunder dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$S_s = \frac{C\alpha}{1 + e_p} H \log \frac{t_2}{t_1} \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan:

- S_s = Penurunan konsolidasi sekunder
 H = Tebal benda uji awal atau tebal lapisan lempung
 e_p = Angka pori saat akhir konsolidasi primer
 t_2 = $t_1 + \Delta t$
 t_1 = Saat waktu setelah konsolidasi primer berhenti

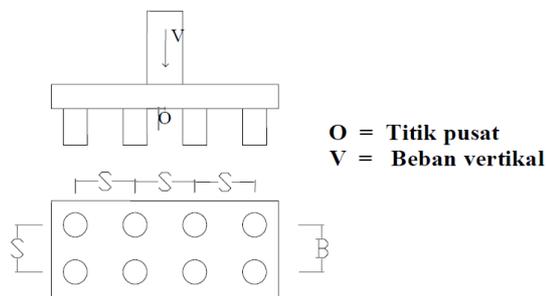
Pembebanan Pada Fondasi Kelompok Tiang Pancang

Beban Vertikal Sentris

Beban ini merupakan beban (V) per satuan panjang yang bekerja melalui pusat berat kelompok tiang (O), sehingga beban (V) akan diteruskan ke tanah dasar fondasi melalui *pile cap* dan tiang-tiang tersebut secara terbagi rata. Bila jumlah tiang yang mendukung fondasi tersebut (n) maka setiap tiang akan menerima beban sebesar:

$$P = \frac{V}{n} \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut:

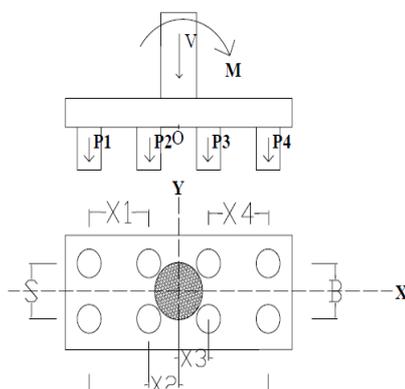


Gambar 2.14 Beban Vertikal Sentris

Beban Vertikal dan Momen

Gaya luar yang bekerja pada kepala tiang (kolom) didistribusikan pada *pile cap* dan kelompok tiang fondasi berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna (pelat fondasi cukup

tebal), sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* melengkung atau deformasi.



Gambar 2.15 Beban Vertikal dan Momen

Maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum x^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum y^2} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dengan:

M_x, M_y = Momen masing – masing di sumbu X dan Y

x, y = Jarak dari sumbu x dan y ke tiang

$\sum x^2, \sum y^2$ = Momen inercia dari kelompok tiang

V = Jumlah beban vertical

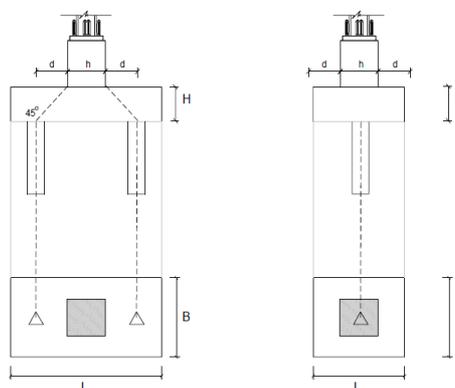
N = Jumlah tiang kelompok

P = Reaksi tiang atau beban aksial tiang

2.8 *Pile Cap*

Pile cap berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom sehingga fondasi tiang akan menerima beban sesuai dengan kapasitas dukung ijin. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang, perancangan *pile cap* dilakukan dengan anggapan sebagai berikut:

- Pile cap* sangat kaku
- Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Oleh sebab itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap* ke tiang.
- Tiang merupakan kolom pendek dan elastis, karena itu distribusi bentuk bidang rata.



Gambar 2.16 *Pile Cap*

Hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan *pile cap* adalah pengaturan tiang dalam satu kelompok. Pada umumnya susunan tiang dibuat simetris sehingga pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile cap* terletak pada satu garis vertikal.

Jarak antar tiang diusahakan sedekat mungkin untuk menghemat *pile cap*, tetapi jika fondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. *Pile cap* dapat dilihat pada Gambar 2.16.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Uraian

Dalam proses pembuatan tugas akhir, tentang analisis kapasitas dukung fondasi tiang pancang pada pembangunan gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma ini, terdiri dari beberapa tahap (Gambar 3.1) diantaranya adalah:

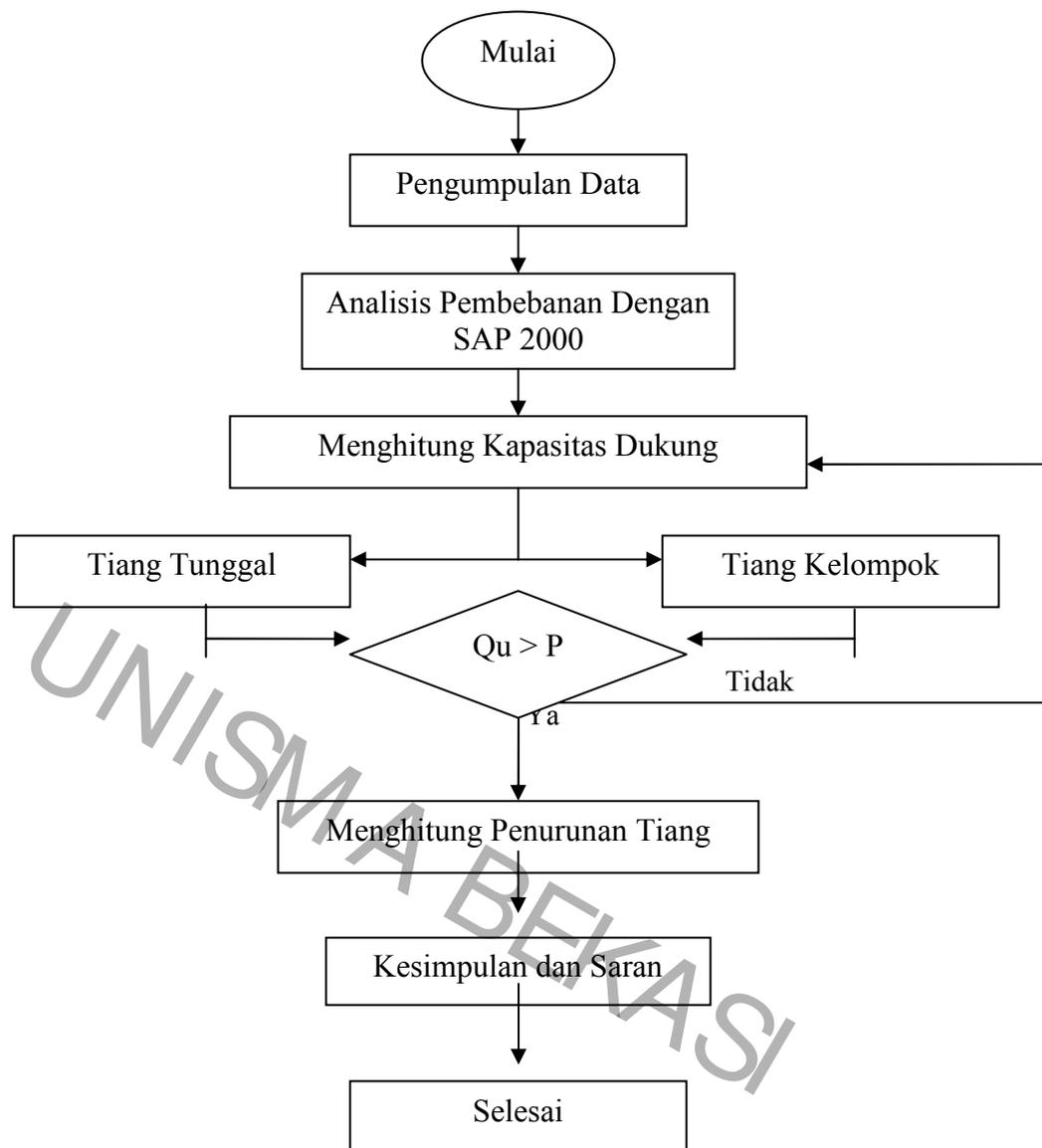
- a. Pengumpulan data
- b. Menghitung analisis pembebanan dengan menggunakan SAP 2000
- c. Menghitung kapasitas dukung tiang
- d. Menghitung penurunan tiang
- e. Membuat kesimpulan
- f. Penyusunan laporan
- g. Selesai

Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan adalah:

- a. Observasi
Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data primer melalui peninjauan, pengamatan dan pelaksanaan langsung di lapangan, yang mana untuk proyek akhir ini adalah tempat dimana penulis bekerja sebagai pengawas lapangan.
- b. Studi Pustaka
Studi Pustaka dilakukan untuk pengumpulan data sekunder dan landasan teori dengan mengambil data literatur yang relevan maupun standar yang diperlukan dalam perencanaan bangunan. Pengumpulan dilakukan melalui perpustakaan ataupun instansi-instansi pemerintah yang terkait.

3.2 Bagan Alir Kegiatan

Bagan alir kegiatan (*flow chart*) dapat dijadikan panduan atau arahan dalam melaksanakan dan menyusun laporan tugas akhir.



Gambar 3. 1. Bagan Alir Kegiatan

3.3 Data Yang Diperlukan

Untuk kelancaran penelitian maka diperlukan beberapa data yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Data yang diperlukan yaitu gambar detail bangunan gudang, hasil uji penyelidikan tanah, dimensi dan denah fondasi tiang pancang.

3.3.1 Gambar Detail Bangunan Gudang

Gambar detail pada bangunan yang akan direncanakan untuk mendesain bangunan gudang adalah gambar struktur bangunan gudang antara lain meliputi: profil baja yang dipakai untuk kolom atau balok, ukuran dan detail fondasi, atap yang digunakan pada pabrik dan data-data lain sekiranya yang diperlukan ada pada lembar lampiran tugas akhir.

3.3.2 Hasil Uji Penyelidikan Tanah

Pada pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma ini, penyelidikan tanah yang dilakukan adalah

penyelidikan lapangan (*in situ test*) yang terdiri dari *Standart Penetration Test* (SPT) dan uji laboratorium. Dari hasil penyelidikan tanah tersebut dapat dibaca dimana kedalaman tanah kerasnya, jenis tanah pada lapisan dan kedalamannya yang akan digunakan untuk mendesain fondasi pada pembangunan gudang ini.

3.3.1 Dimensi Tiang Pancang

Dimensi atau ukuran tiang pancang yang dipakai adalah berbentuk persegi empat, dengan panjang sisinya 30cm. Sedangkan panjang fondasi tiang pancang tersebut terdiri 9m, yang terdiri dua bagian panjang 6m dan 3m, yang didasarkan pada kedalaman tanah keras dari penyelidikan tanah laboratorium serta data SPT-nya dengan tampang segi empat, untuk satu tiang pancang dengan panjang 9m merupakan sambungan yang terdiri dari ukuran 6m dan 3m yang pada dasarnya telah disediakan oleh pabrikan.

3.4 Analisis Pembebanan

Pada analisis pembebanan menggunakan program aplikasi komputer yaitu SAP (*Structure Analisis Program*) 2000. Analisis pembebanan sangat diperlukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang akan diterima fondasi dan dapat diketahui dari *Structure Analisis Program* (SAP), dari program tersebut dapat di peroleh gaya yang terjadi antara lain berupa: gaya normal P, gaya geser H, dan gaya momen yang terjadi M. Setelah analisis pembebanan selesai dan beban aksial pada kolom telah diketahui, maka kita merencanakan dimensi fondasi yang akan dipakai untuk pabrik tersebut.

3.5 Analisis Fondasi Tiang Pancang

Dalam menganalisis fondasi tiang pancang, beban yang bekerja pada kolom harus diketahui terlebih dahulu. Analisis fondasi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus yang telah dijelaskan pada Bab II. Setelah kapasitas dukung kelompok tiang didapat, maka perlu dihitung juga efisiensi kelompok tiang tersebut.

3.6 Analisis Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Besarnya penurunan tergantung pada karakteristik tanah dan penyebaran tekanan fondasi ke tanah dibawahnya. Penurunan fondasi tiang tunggal pada tanah pasir dapat dihitung dengan menggunakan metode semi empiris dan empiris. Sedangkan pada tanah lempung, penurunan fondasi tiang tunggal adalah penurunan seketika yang terjadi setelah beban bekerja dan penurunan konsolidasi. Penurunan fondasi kelompok tiang pada tanah pasir dapat dihitung dengan metode *Vesic* dan metode *Meyerhof*. Untuk tanah lempung yaitu dengan penurunan segera, penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder.

IV. ANALISIS DAN PEMBEBANAN

4.1 Analisis

Pada bab ini menjelaskan mengenai analisa kapasitas dukung fondasi tiang pancang dan perhitungan pembebanan analisis struktur atas yang meliputi beban mati, baban hidup dan beban gempa dengan menggunakan program SAP 2000.

4.1.1 Peraturan Pembebanan

Dari pedoman perhitungan pembebanan yang dipakai, buku-buku yang digunakan sebagai acuan antara lain sebagai berikut:

- Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983
- Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1983
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SK SNI T-15-1991-03
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-3874-2002

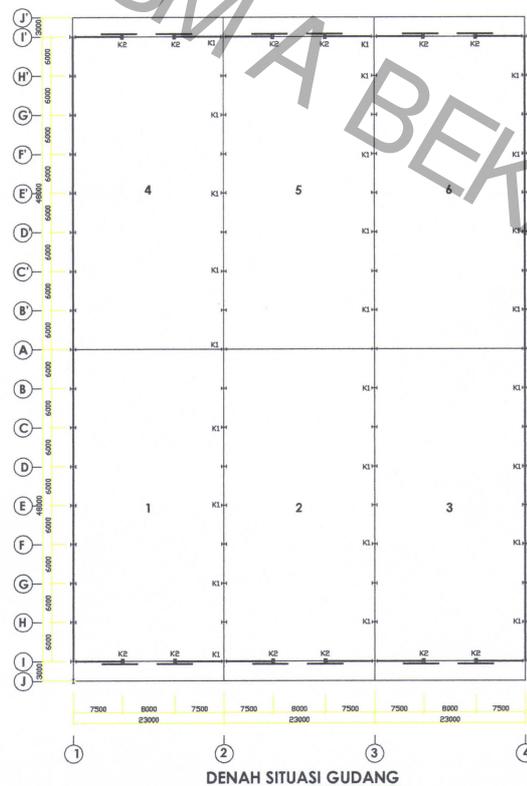
4.1.2 Konstruksi Bangunan

Dalam bagian konstruksi Pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi, tersebut berisi tentang:

- Denah bangunan gudang
- Portal yang dikaji
- Profil yang digunakan pada pembangunan gudang tersebut

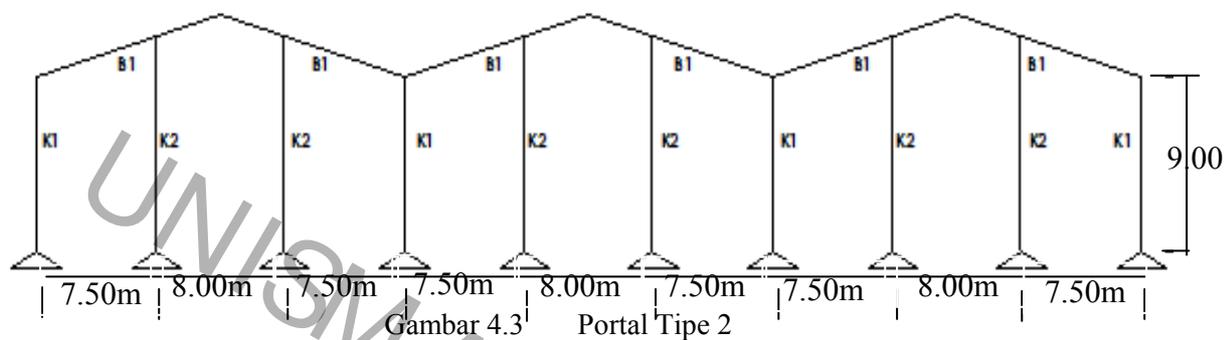
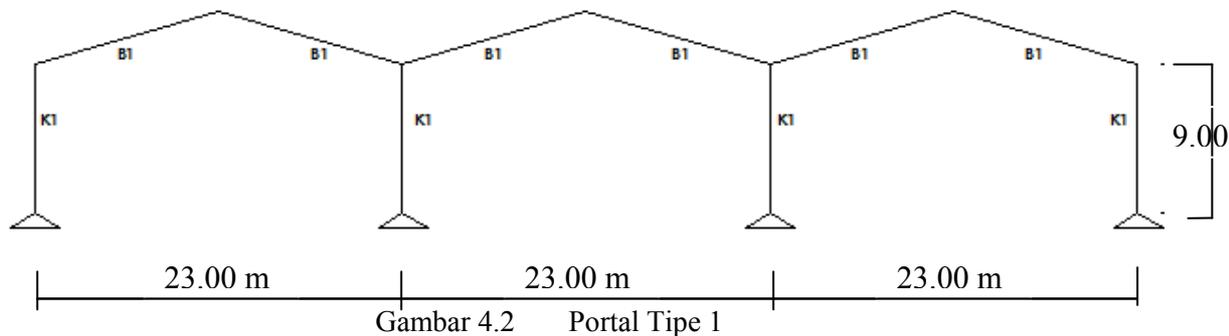
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:

- Denah bangunan yang akan dikaji:



Gambar 4.1 Denah Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma

2). Portal Baja beserta ukuran profil balok dan kolom



Tabel 4.1 Ukuran Profil Baja

| | | |
|----------|------------------------|------------|
| Kolom K1 | WF 300 x 150 x 6,5 x 9 | 36,7 Kg/ m |
| Kolom K2 | WF 250 x 125 x 6 x 9 | 29,6 Kg/m |
| Balok B1 | WF 250 x 125 x 6 x 9 | 29,6 Kg/m |

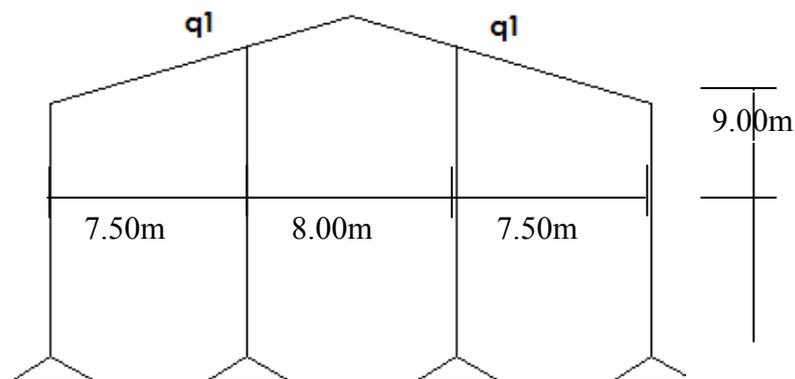
4.1.3 Analisa Beban

Data umum struktur adalah sebagai berikut :

- a. Mutu beton $f'_c = 37,35$ Mpa
- b. Tinggi kolom 9 m
- c. Ukuran dan tipe profil baja yang digunakan pada bagian struktur balok dan kolom pada bangunan gudang hanya menggunakan tipe yang ada pada Tabel 4.1.
- d.

4.1.4 Perhitungan Struktur Rangka Baja

Dalam perhitungan pembebanan, peraturan yang dipakai adalah cara perencanaan pembeban untuk rumah dan gedung tahun 1983. Peraturan-peraturan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Pembebanan Tetap

Pembebanan Tetap:

a. Beban mati (*Dead Load/DL*):

$q_1 =$

- Berat sendiri *rafter*

$$\text{(asumsi WF 248 x 124)} \quad 29,6 \times \cos 15 = 28,59 \text{ Kg/m}$$

- Atap + glaswool = $6 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times \cos 15 = 34,77 \text{ Kg/m}$

- M/E = $2,6 \text{ Kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times \cos 15 = 15,06 \text{ Kg/m}$

- Gording C150 = $5 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times \cos 15 = 28,97 \text{ Kg/m} +$

Jumlah =

$$1007,39 \text{ Kg/m}$$

b. Beban hidup (*Live Load/LL*):

$$q_1 = 100 \times \cos 15 = 96,56$$

kg/m

Beban Sementara:

a. Beban Angin:

- Tekanan angin = 25 Kg/m^2

- Koefisien angin untuk sudut 15° ($\alpha < 65^\circ$)

- Dipihak angin = $0,02 \alpha - 0,4 = 0,2$

- Dibelakang angin = $- 0,4$

- Dipihak angin = $0,2 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 6 = 30 \text{ kg/m}$

- Dibelakang angin = $0,4 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 6 = 60 \text{ kg/m}$

b. Beban Gempa (*Earthquake/E*):

Waktu getar bangunan (T)

$$T_x = 0,06 \times H^{3/4} = 0,06 \times 11,97^{3/4} = 0,386 \text{ detik}$$

Daerah Bekasi termasuk wilayah gempa 3, dari $T = 0,386$ (asumsi tanah lunak) diambil $C = 0,45$ sehingga $V = 0,45 \times 1 \times 1 \times W_t = 0,45 W_t$

c. Berat Struktur (W_t):

- Atap = $23,75 \times 107,39 = 2.550,51 \text{ kg}$

- Kolom = $(2 \times 9 \times 36,7 \text{ kg/m}) = 660,6 \text{ kg}$

$(2 \times 10,94 \times 29,6 \text{ kg/m}) = 647,64 \text{ kg}$

- Beban hidup = $23,75 \times 120 \text{ kg/m} = 2.850 \text{ kg}$

\pm

Berat struktur = $6.708,75 \text{ kg}$

- $V = C \cdot I \cdot K \cdot W_t$

$$= 0,45 \times 1 \times 1 \times 6.708,75$$

$$= 3.018,993 \text{ kg}$$

4.2 Program SAP 2000 (*Structure Analysis Program*)

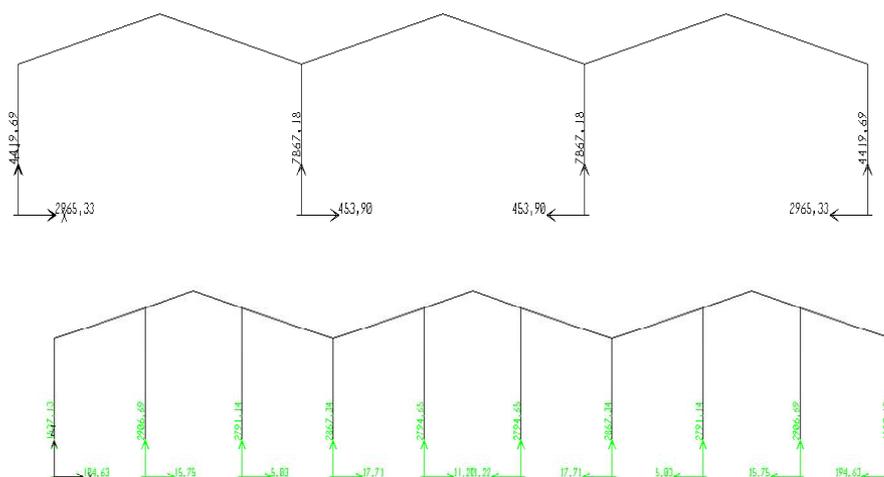
Program SAP (*Structure Analysis Program*) adalah suatu program aplikasi komputer yang sangat diperlukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang akan diterima oleh fondasi berdasarkan gaya-gaya yang bekerja sesuai perhitungan dan kombinasi beban yang telah dimasukkan dan pada akhirnya akan dapat diketahui bahwa bangunan tersebut bersifat aman atau tidak.

4.2.1 Input Data SAP

- a. Beban mati (*Dead Load/DL*)
- Beton bertulang = 2.400 kg/m³
 - Dinding bata = 250 kg/m²
 - Atap metal + Insulation = 6 kg/m²
 - Gording = 4 kg/m²
 - *Mechanical Electrical (M/E)* = 2,5 kg/m²
- b. Beban Hidup (*Live Load/LL*)
- Atap (air hujan) = 20 kg/m²
- c. Beban Angin (*Wind Load/ WL*)
- Tekanan tekan = 25 kg/m²
 - Koefisien dipihak angin = 0,2 kg/m²
 - Koefisien dibelakang angin = 0,4 kg/m²
- d. Beban Gempa (*Earthquake/E*)
- $$V = C \cdot I \cdot K \cdot Wt$$
- Dimana:
- V = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau
 - C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat. Daerah Bekasi termasuk wilayah gempa 3, diambil C = 0,75 (asumsi tanah lunak)
 - K = Faktor tipe bangunan, tipe bangunan baja, diambil K = 1
 - I = Faktor kepentingan bangunan gudang, diambil I = 1
 - Wt = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi gempa
- Sehingga $V = 0,45 \cdot 1 \cdot 1 \cdot Wt = 0,45 Wt$

4.2.2 Hasil Output SAP

Dari hasil *output* SAP 2000, didapatkan gaya-gaya akibat kombinasi beban yaitu gaya normal (P), gaya geser (H) dan momen (M) yang bekerja pada tiap-tiap kolom dasar, gaya pada kolom dasar inilah yang dipakai untuk beban rencana pada analisis fondasi tiang pancang. Hasil lengkap *output* SAP 2000 dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini

Gambar 4.5 Hasil *Output* SAP 2000

4.3 Hitungan Kapasitas Tiang

Yang dimaksud kapasitas tiang (pile capacity) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban, hitungan kapasitas tiang dapat dilakukan dengan cara pendekatan statis dan dinamis. Hitungan kapasitas tiang secara statis dilakukan menurut teori Mekanika Tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah. Sedang hitungan dengan cara dinamis dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang.

4.3.1. Data Fondasi Tiang pancang

Pada proyek Pembangunan Gudang PT. Widya Sakti Kusuma tanah keras dari data boring log (DB.4) terdapat pada kedalaman 8,00m tiang pancang yang dipakai adalah tiang pancang beton berbentuk persegi empat dengan panjang masing-masing sisinya 30cm dengan panjang tiang 9m.

4.3.2 Data Hasil Penyelidikan Tanah

Data penyelidikan tanah nya dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Hasil Penyelidikan Tanah Berdasarkan Uji Laboratorium

| Bor Hole | Kedalaman (m) | Jenis Tanah | γ_{sat} (t/m ³) | C_e | ϕ | C_u (t/m ²) | α | γ_b (t/m ³) | C (t/m ²) |
|----------|---------------|---------------|------------------------------------|-------|--------|---------------------------|----------|--------------------------------|-----------------------|
| IV | 0,50 - 3,50 | Lanau lempung | 1,234 | 0,415 | 14,94 | 4,15 | 0,75 | 1,695 | 1,1 |
| | 3,50 - 5,50 | Lanau lempung | 1,089 | 0,415 | 3,75 | 4,15 | 0,75 | 1,629 | 2,0 |
| | 5,50 - 20,00 | Lanau lempung | 1,132 | 0,415 | 3,75 | 4,15 | 0,75 | 1,695 | 2,0 |

Sumber: Laporan Penyelidikan Tanah Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, 2010

4.3.3 Analisis Fondasi Tiang Pancang Tunggal

Dalam menganalisis fondasi tiang pancang, beban yang bekerja pada kolom harus diketahui terlebih dahulu.

4.3.3.1 Analisis Tipe Jenis Tiang

Untuk menghitung angka kelangsingan dihitung dengan rumus:

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{i}$$

untuk $k = 1$ (jepit – sendi)

$$A = \text{sisi} \cdot \text{sisi} = 0,30 \cdot 0,30 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{1}{36} \cdot bh^3 = \frac{1}{36} \cdot 0,30 \cdot 0,30^3 = 0,000225 \text{ m}^4$$

$$i = \mu \cdot \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0,000225}{0,09}} = 0,050 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{i} = \frac{9 \cdot 1}{0,050} = 180 \text{ m}$$

Angka kelangsingan batas (λ_g) dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda_g = \mu \cdot \sqrt{\frac{E}{0,7 \cdot f'_c}}$$

$$\text{Dengan: } E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2; f'_c = 375 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_g = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{0,7 \cdot 375}} = 274,08$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g} = \frac{180}{274,08} = 0,65$$

Berdasarkan nilai λ_s maka tiang dengan $L = 9 \text{ m}$ tergolong sedang, karena menurut angka kelangsingan bila $0,183 < \lambda_s < 1$ masuk dalam kategori kolom sedang.

4.3.3.2 Analisis Distribusi Beban ke Tiap Tiang Pancang

Beban yang diterima tiap tiang (P_i) pada portal baja yang dikaji dibagi menjadi tiga kolom yang masing-masing dari ketiga kolom tersebut memiliki beban aksial yang besar nilai pada kolom yang dikaji tersebut dapat dilihat pada print out aksial SAP 2000 yang ada pada lampiran 3, untuk menghitung kapasitas distribusi pembebanan pada masing-masing kelompok tiang pancang dapat ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2}$$

Dengan:

M_x, M_y = Momen masing-masing disumbu x dan y

X, y = Jarak dari sumbu x dan y ke tiang

$\sum x^2, \sum y^2$ = Momen inersia dari kelompok tiang

V = Jumlah beban vertikal

a. Analisis distribusi beban pada tiang pancang di bawah kolom

$$V_{kl} = 49,99 \text{ ton}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= p \cdot m_i \cdot y_i \\
 &= (0,3 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 2,4) \cdot 2 \cdot 0,45 + 7 = 2,44 \text{ Tm} \\
 M_y &= p \cdot n_i \cdot x_i \\
 &= (0,3 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 2,4) \cdot 1 \cdot 0,277 + 0,32 = 0,85 \text{ Tm} \\
 \sum x^2 &= (0,45^2) \cdot 2 = 0,405 \\
 \sum y^2 &= 0
 \end{aligned}$$

$$P_1 = \frac{v}{n} + \frac{M_y \cdot x_c}{n} + \frac{M_x \cdot y_c}{n}$$

$$P_1 \text{ didapat} = \frac{v}{n} + \frac{(0,85 \times 0,45)}{0,405} + \frac{(2,44 \times 0)}{0} = 29,93 \text{ ton}$$

$$P_2 = \frac{v}{n} + \frac{M_y \cdot x_c}{n} + \frac{M_x \cdot y_c}{n}$$

$$P_2 = \frac{v}{n} + \frac{(0,85 \times 0,45)}{0,405} + \frac{(2,44 \times 0)}{0}$$

$$P_2 = \frac{49,99}{2,000} + 0,944 + 0 = 29,93 \text{ ton}$$

b. Analisis distribusi beban pada tiang pancang di bawah plat lantai

$$V_p \text{ Lantai} = 41,42 \text{ ton}$$

$$P_1 = \frac{V}{n} \quad P_1 = \frac{41,42}{n} = 41 \text{ (aman)}$$

$$P_1 = 41,42 \text{ ton} < Q_u = 86,07 \text{ ton}$$

4.3.3.3 Analisis Kekuatan Tiang Pancang

Data fondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

- Mutu beton untuk tiang pancang K 450 adalah $f'c = 37,35 \text{ MPa} = 3735 \text{ t/m}^2$
- Panjang tiang pancang adalah 9 m
- kekuatan tiang pancang dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\sigma_{ijin} = 0,33 \cdot f'c$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq \sigma_{ijin} = 0,33 \cdot f'c$$

$$A = p \cdot l = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 P &= A \cdot \sigma_{ijin} \\
 &= 0,09 \text{ m}^2 \cdot 0,33 \cdot 3735 \\
 &= 110,92 \text{ ton} > P_1 = 41,42 \text{ ton (aman)}
 \end{aligned}$$

4.3.3.4 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s).

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Jenis tanah pada ujung tiang adalah tanah lempung, maka kapasitas dukung ujung tiang dihitung menggunakan metode Meyerhof berikut ini:

- Berdasarkan data uji laboratorium

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (C_u \cdot N_c + q \cdot N_q)$$

Dimana $Q_p = A_p \cdot 9 \cdot C_u$ bilamana ϕ terlalu kecil atau tidak diperhitungkan

Dengan :

$$A_p = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$Q = \sum L \cdot \gamma$$

Untuk lapisan tanah yang ada di bawah lapisan permukaan tanah, maka dipakai:

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$q = 3 \cdot (1,234 - 1) + 2 (1,089 - 1) + 14,5 (1,132 - 1) = 2,794 \text{ t/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot (C_u \cdot N_c^* + q \cdot N_q^*)$$

Untuk mendapatkan N_c^* dan N_q^* dengan $\phi = 14,94^\circ$

Dari tabel 2.2 didapatkan $N_c^* = 20$ dan $N_q^* = 6,85$

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \cdot \{(4,15 \cdot 20) + (2,794 \cdot 6,85)\} \\ &= 0,09 \cdot (83 + 19,13) \\ &= 9,19 \text{ ton} \end{aligned}$$

2). Berdasarkan data SPT

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

$$Q_p = 40 \text{ N} \frac{L_b}{D} \leq 400 \text{ N}$$

$$N = \frac{8D+3D}{2}$$

$$\text{sehingga } N = \frac{24+9}{2} = 16,5 \text{ ton}$$

$$L_b = 20,45 - 9,00 = 11,45 \text{ m}$$

$$Q_p = A_p \cdot 40 (16,5) \frac{11,45}{0,3} \leq 400 (16,5)$$

$$= 0,09 \cdot 660 \cdot 38,166 \leq 6.600 \text{ KN} = 660 \text{ ton}$$

$$Q_p = 226,7 \text{ ton}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Jenis tanah pada selimut tiang adalah tanah lempung berlanau, tanah pasir dan lempung, maka kapasitas dukung selimut dihitung menggunakan rumus:

$$Q_s = \sum A_s \cdot F$$

$$A_s = p \cdot \Delta L$$

Pondasi tiang pancang di bawah kolom

Dengan: $P = 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,3 = 1,2 \text{ m}$

c. Kedalam 0,5 – 3,5 m adalah tanah lempung

$$A_{s1} = p \cdot \Delta L_1$$

$$P = 1,2$$

$$A_{s1} = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ m}^2$$

$$f_1 = \alpha \cdot C_u$$

$$= 0,75 \cdot 4,15$$

$$= 3,22$$

$$Q_{s1} = A_{s1} \cdot f_1$$

$$= 3,6 \cdot 3,22 = 11,20 \text{ ton}$$

d. Kedalam 3,5 – 5,5 m adalah tanah lempung

$$A_{s2} = p \cdot \Delta L_2$$

$$P = 1,2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s2} &= 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ m}^2 \\
 F_2 &= \alpha \cdot C_u \\
 &= 0,75 \cdot 4,15 \\
 &= 3,22 \\
 Q_{s2} &= A_{s2} \cdot f_2 \\
 &= 2,4 \cdot 3,22 = 7,728 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

e. Kedalam 5,5 – 20 m adalah tanah lempung

$$\begin{aligned}
 A_{s3} &= p \cdot \Delta L_3 \\
 P &= 1,2 \\
 A_{s3} &= 1,2 \cdot 14,5 = 17,4 \text{ m}^2 \\
 F_3 &= \alpha \cdot C_u \\
 &= 0,75 \cdot 4,15 = 3,22 \\
 Q_{s3} &= A_{s3} \cdot f_3 = 17,4 \cdot 3,22 = 56,02 \text{ ton} \\
 Q_s \text{ total} &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \\
 &= 11,2 + 7,72 + 56,02 = 74,94 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c. **Kapasitas Dukung Ultimit Tiang (Q_u)**

Kapasitas dukung ultimit tiang dihitung berdasarkan rumus 3.21 sebagai berikut:

d. Metode Statis

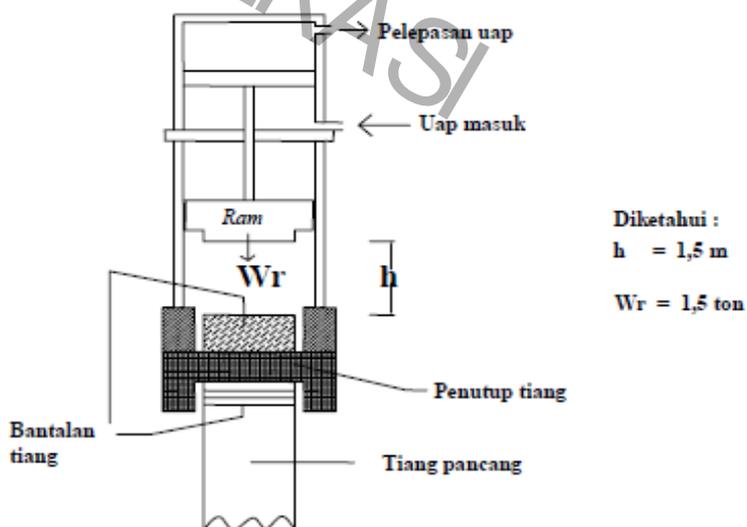
e. Berdasarkan uji laboratorium

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W \\
 &= 9,19 + 74,94 - 1,94 \\
 &= 86,07 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

f. Berdasarkan data SPT

$$Q_u = Q_p = 226,7 \text{ ton}$$

e. Metode Dinamis



Gambar 4.6 Pemukul Tiang

Kapasitas dukung ultimit dihitung berdasarkan rumus modifikasi Engineering News Record (ENR) dan Danish berikut ini:

Diketahui:

$$W_r = 1,5 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= A_p \cdot L \cdot \text{berat jenis tiang} \\
 &= (0,3 \cdot 0,3) \cdot 9 \cdot 2,4 = 1,94 \text{ ton} \\
 H &= 1,5 \text{ m} \\
 S &= \frac{2,5 \text{ cm}}{10} = 0,25 \\
 C &= 1 \text{ inc} = 0,254 \\
 E &= 0,8 \\
 N &= 0,45 \\
 H_e &= W_r \cdot h = 1,5 \text{ ton} \cdot 150 \text{ cm} = 225 \text{ T.cm} \\
 L &= 9 \text{ m} = 900 \text{ cm} \\
 A_p &= 0,3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ m}^2 = 900 \text{ cm}^2 \\
 E_p &= 2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 = 2 \cdot 10^2 \text{ T/cm}^2
 \end{aligned}$$

a) Modifikasi Engineering News Record (ENR)

$$Q_u = \frac{W_r \cdot H \cdot E}{S + C} \cdot \frac{W_r + n^2 \cdot W_p}{W_r + W_p}$$

$$Q_u = \frac{(1,5 \cdot 150 \cdot 0,8)}{(0,25 + 0,254)} \cdot \frac{(1,5 + 0,45^2 \cdot 1,94)}{(1,5 + 1,94)} = 196,42 \text{ ton}$$

b) D
anish

$$Q_u = \frac{E \cdot H_e}{S + \sqrt{\frac{E \cdot H_e \cdot L}{2 \cdot A_p \cdot E_p}}}$$

$$Q_u = \frac{0,8 \cdot 225}{0,25 + \sqrt{\frac{0,8 \cdot 225 \cdot 900}{2 \cdot 900 \cdot 2 \cdot 10^2}}} = 195,6 \text{ ton}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Kapasitas dukung ijin tiang dapat dihitung dengan berdasarkan rumus sebagai berikut:

1) Metode Statis

a) Berdasarkan data laboratorium.

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{86,07}{2} = 43,035 \text{ ton}$$

b) Berdasarkan SPT

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{226,7}{2} = 113,35 \text{ ton}$$

2) Metode Dinamis

a) Modifikasi Engineering News Record (ENR)

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{196,42}{2} = 98,21 \text{ ton}$$

b) Metode Danish

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{195,6}{2} = 97,8 \text{ ton}$$

Diketahui dari SAP, beban aksial dari masing-masing kolom adalah sebagai berikut:

K1 = 7,867 ton dan K2 = 2,792 ton. Sehingga diambil K1 sebagai perencanaan fondasi.

a) Beban total pada kolom 1 (K1)

| | |
|---|-------------------|
| 1) Beban aksial kolom (P1) | = 7,86 ton |
| 2) Berat pile cap = 1,5 . 0,6 . 0,5 . 2,4 | = 1,08 ton |
| 3) Berat tiang = 0,3 . 0,3 . 9 . 2,4 | = 1,94 ton |
| 4) Berat plat lantai = 0,2 . 1 . 3 . 2,4 | = 1,44 ton |
| 5) Berat Ground beam = 0,4 . 0,25 . 1 . 2,4 | = 0,16 ton |
| 6) <u>Beban hidup = 10 t/m² . 1,25 . 3</u> | <u>= 37,5 ton</u> |
| Beban total (P _t) | = 49,98 ton |

$$N = \frac{\sum p_t}{Q_a} = \frac{49,98}{43,035} = 1,16, \text{ memakai 2 tiang}$$

b. Beban total pada kolom 2 (K2)

| | |
|---|--------------------|
| 1) Beban aksial kolom (P2) | = 2,79 ton |
| 2) Berat pile cap = 0,5 . 0,5 . 0,5 . 2,4 | = 0,3 ton |
| 3) Berat tiang = 0,3 . 0,3 . 9 . 2,4 | = 1,94 ton |
| 4) Berat plat lantai = 0,2 . 1 . 3 . 2,4 | = 1,44 ton |
| 5) Berat Ground beam = 0,4 . 0,25 . 1 . 2,4 | = 0,16 ton |
| 6) <u>Beban hidup = 10 t/m² . 1,25 . 1,5</u> | <u>= 18,75 ton</u> |
| Beban total (P _t) | = 25,38 ton |

$$N = \frac{\sum p_t}{Q_a} = \frac{25,38}{43,035} = 0,589, \text{ memakai 1 tiang}$$

Kapasitas dukung kelompok tiang untuk tanah lempung berdasarkan data uji laboratorium dapat dihitung dengan dua rumus:

$$\begin{aligned}
 e. \quad Q_u &= m \cdot n (Q_p + Q_s) \\
 &= 1 \cdot 2 (9,19 + 74,94) = 168,26 \text{ ton} \\
 f. \quad Q_u &= L_g \cdot B_g \cdot Q_p + \sum (2 (L_g + B_g) \cdot \Delta L \cdot f_s) \\
 &= 1,5 \cdot 6 \cdot 9,19 + \sum (2 (1,5 + 0,6) \cdot 9 \cdot 3,22) \\
 &= 204,42 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari kedua rumus di atas maka diambil nilai kapasitas dukung yang lebih kecil, sebagai perbandingan nilai kapasitas dukung kelompok tiang yang terkecil mampu menahan berat total kolom, (sumber: Braja. M. Das dalam D.C Chandra, 2008), sehingga $Q_u = 168,26 \text{ ton} > P_t = 49,98 \text{ ton}$ (aman).

4.3.4 Analisis Penurunan Fondasi Tiang

Analisis penurunan (settlement) pada fondasi tiang pancang dapat dibedakan menjadi dua yaitu penurunan fondasi tiang tunggal dan penurunan fondasi tiang kelompok, tetapi pada tanah lempung hanya terdapat penurunan tiang kelompok saja dan efisiensi tiang hanya terdapat pada tanah pasir.

Tahapan menghitung penurunan konsolidasi:

a. Menentukan jumlah lapisan dari tanah lempung, semakin banyak makin teliti.

- b. Menghitung tegangan yang terjadi dengan menggunakan rumus sebagai berikut di bawah ini:

$$\Delta p = \frac{Q}{B_g \cdot L_g} = \frac{7,867}{,5 \cdot 0,6} = 8,74 \text{ t/m}^2$$

- c. Menghitung tegangan vertikal efektif di tengah masing-masing lapisan lempung.

$$P'o = \Sigma H \cdot \gamma$$

$$P'o = 1 (1,695) + 3,5 (1,531) + 2 (1,629) + 4,95 (1,695) = 18,70 \text{ t/m}^2$$

- d. Hitung settlement (penurunan) pada lapisan lempung yang terjadi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta s (i) = \frac{C_c \cdot \Delta H}{1 + e^o} \cdot \text{Log} \left[\frac{P'o + \Delta p}{P'o} \right]$$

(O_c) = Lempung dengan konsolidasi normal

$$\Delta s (i) = \frac{C_c \cdot \Delta H}{1 + e^o} \cdot \text{Log} \left[\frac{P'o + \Delta p}{P'o} \right]$$

$$\Delta s (i) = \frac{2 + 4,95}{1 + 1,178} \text{Log} \frac{18,67 + 8,74}{18,7}$$

$$= 3,191 \cdot \log 1,467$$

$$= 0,531 \text{ cm}$$

$$\Delta s (i) = 0,00531 \text{ m}$$

Dimana penurunan total $S = \Delta s (1) + \Delta s (2) + \dots \dots \dots \Delta s (n)$

Sehingga didapat penurunan total $s = 0,0053 \text{ m}$ atau $5,3 \text{ mm}$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut ini.

5.1 Kesimpulan

- Dimensi tiang pancang yang dipakai adalah berbentuk persegi empat dengan panjang sisi 30 x 30cm, panjang terdiri dari dua ukuran yaitu 6m dan 3m.
- Dari analisis dan perhitungan kapasitas dukung tiang pancang yang dihitung berdasarkan data (laboratorium) dan data lapangan (SPT) maka dapat diperoleh hasil-hasil perhitungan sebagai berikut:
 - Kapasitas ultimit tiang pancang pada Pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi berdasarkan metode Statis dari data laboratorium diperoleh kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u) = 86,07ton, kapasitas ijin tiang (Q_a) = 98,21ton, untuk data lapangan (SPT) diperoleh (Q_u) = (Q_p) sebesar 226,7 ton dan (Q_a) = 113,35ton.
 - Berdasarkan metode Dinamis analisis kapasitas dukung dihitung dengan dua rumus modifikasi yaitu Modifikasi *Engineering News Record* (ENR) dan *Danish*, dari (ENR) diperoleh kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u) = 196,42ton, kapasitas ijin tiang (Q_a) = 98,21ton. Dari rumus modifikasi *Danish* diperoleh (Q_u) = 195,6ton, untuk (Q_a) = 97,8ton
- Berdasarkan perhitungan analisis penurunan tiang pada Pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi, maka diperoleh dari hasil penurunan konsolidasi tiang

kelompok, dan didapatkan total penurunan kelompok tiang sebesar 0,0053m.

- d. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode statis dan dinamis maka diperoleh kapasitas dukung kelompok tiang sebesar 168,26ton > Pt (berat total bangunan) = 49,99ton sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan pada Pembangunan Gudang di Kawasan Pergudangan PT. Widya Sakti Kusuma, Pondok Ungu Bekasi adalah aman.

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan analisis perbandingan kapasitas dukung tiang pancang dengan variasi diameter terhadap jumlah tiang.
- b. Perlu dilakukan analisis perbandingan kapasitas tiang pancang dengan menggunakan program ETAB.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2003, *Teknik Fondasi II*, Penerbit BETA OFFSET, Yogyakarta.
- Chandra, D.C., 2008, *Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Pembangunan Pabrik Coil Spring Plant PT. APM Armada Suspension di Karawang*, Skripsi Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta.
- Das. Braja M., 1986, *Mekanika Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H.C., 1996, *Teknik Fondasi I*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sardjono, H.S, 1988, *Fondasi Tiang Pancang*, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- Suryolelono, K.B., 1994, *Teknik Fondasi Bagian II*, Penerbit Nafiri, Yogyakarta
- Suyono Sodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1990, *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.