

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

Kabupaten Rokan Hulu adalah salah satu Kabupaten di Provinsi Riau, Indonesia yang dijuluki dengan Negeri Seribu Suluk. Ibu kota Rokan Hulu adalah Pasir Pengaraian. Kabupaten Rokan Hulu memiliki wilayah yang terdiri dari 85% daratan dan 15% daerah perairan dan rawa. Secara geografis daerah ini berbatas dengan wilayah sebagai berikut:

Tabel 1. Batas Wilayah Rokan Hulu

Utara	kabupaten Padang Lawas Utara dan kabupaten Labuhanbatu
Selatan	kabupaten Kampar
Barat	kabupaten Pasaman dan kabupaten Pasaman Barat
Timur	kabupaten Bengkalis dan kabupaten Rokan Hilir

( sumber : Perbatasan Wilayah )

Di kabupaten Rokan Hulu terdapat beberapa sungai, 2 diantaranya adalah sungai yang cukup besar yaitu Sungai Rokan kanan dan Sungai Rokan Kiri. Selain sungai besar tersebut, terdapat juga sungai-sungai kecil antara lain Sungai Tapung, Sungai Dantau, Sungai Ngaso, Sungai Batang Lubuh, Sungai Batang Sosa, Sungai Batang Kumu, Sungai Duo (Langkut), dan lain-lain.

Jumlah penduduk kabupaten Rokan Hulu pada tahun 2014 adalah 568.576 jiwa. mayoritas penduduk asli Kabupaten Rokan Hulu adalah termasuk salah satu bagian dari Rumpun Minangkabau. Menurut sejarahnya, dahulu daerah Rokan Hulu disebut Rantau Rokan atau Luhak

Rokan Hulu karena merupakan daerah perantauan orang-orang Minangkabau pada masa lalu (Rantau nan Tigo Jurai). Pada masa itu diistilahkan sebagai 'Rantau Nan Tigo Kabuang Aie' yakni Rantau Timur Minangkabau di sekitar Kampar dan Kuantan sekarang.

Daerah-daerah tersebut meliputi daerah alur sungai menuju hilir dari sungai-sungai besar yang mengalir ke Pesisir Timur. Diantaranya adalah Sungai Rokan, Kampar dan Inderagiri (Kuantan), yang kini kesemuanya masuk di dalam Provinsi Riau.

Di sekitar daerah perbatasan bagian Timur dan Tenggara, bermukim pula sedikit Suku Melayu yang memiliki adat istiadat dan bahasa daerah mirip dengan tetangganya di Rokan Hilir dan Bengkalis. Namun di sekitar Rokan Hulu sebelah Utara dan Barat Daya, ditemukan penduduk asli yang memiliki kedekatan sejarah dengan etnis rumpun Batak di daerah Padang Lawas di Provinsi Sumatera Utara. Mereka telah mengalami proses Melayunisasi sejak berabad yang lampau, dan tidak banyak meninggalkan jejak sejarah untuk ditelusuri. Mereka umumnya mengaku sebagai orang Melayu. Selain itu juga banyak penduduk bersuku Jawa yang datang lewat program transmigrasi nasional sejak masa kemerdekaan maupun keturunan para perambah hutan asal Jawa yang masuk pada masa penjajahan lewat Sumatera Timur. Mereka tersebar di seluruh wilayah Rokan Hulu, terutama di sentra-sentra lokasi transmigrasi dan juga di areal perkebunan sebagai yang dahulunya sebagai tenaga buruh. Juga banyak bermukim para pendatang asal Sumatera Utara bersuku Batak yang umumnya bekerja di sektor jasa informal dan perkebunan. Di daerah-daerah perniagaan ditemukan banyak penduduk pendatang bersuku Minangkabau asal Sumatera Barat yang umumnya bekerja sebagai pedagang. Selain itu juga didapati berbagai etnis Indonesia lainnya yang masuk kemudian sebagai pendatang. Pada umumnya mereka bekerja sebagai buruh pada sektor perkebunan.

Universitas Pasir Pengaraian merupakan salah satu daerah yang memiliki deposit tanah lempung cukup besar. Tanah lempung umumnya menimbulkan banyak masalah yang berkaitan dengan konstruksi

teknik sipil. Pondasi bangunan yang terletak di atas tanah lempung dengan beban yang cukup besar, dapat menimbulkan retak-retak pada bangunan. Kondisi seperti ini harus mendapat perhatian lebih agar resiko fatal yang ditimbulkannya dapat dihindari. Bangunan-bangunan yang ada di Universitas Pasir Pengaraian pada umumnya dirancang hanya menggunakan pondasi dangkaldan tidak melalui penyelidikan tanah (*soil investigation*) terlebih dahulu. Pihak pelaksana pembangunan pada umumnya menganggap bahwa dimensi dan bentuk pondasi bisa berlaku dimana saja tanpa harus memperhitungkan besarnya beban yang bekerja dan kondisi tanah setempat. Kedalaman pondasi yang dijumpai bervariasi sampai dengan 2,0 m dibawah permukaan tanah. Kondisi inilah yang menjadi penyebab retak-retak pada dinding bangunan akibat tidak menumpunya pondasi pada tanah keras.

Berikut penjelasan mengenai kedalaman pondasi:

- 1) Bila kondisi tanah keras terletak pada permukaan tanah atau kedalaman pondasi antara 2-3 m di bawah permukaan tanah maka jenis pondasinya adalah pondasi dangkal. (misal: pondasi jalur, pondasi telapak atau pondasi *strauss pile*) Bila kondisi tanah lunak hingga kedalaman kurang lebih 6 meter maka jenis pondasi yang dapat di gunakan adalah pondasi *strauss pile* atau bor *pile manual*.
- 2) Bila tanah keras terletak pada kedalaman sekitar 10 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasinya adalah pondasi *bored pile*, pondasi sumuran atau pondasi *minipile*.
- 3) Bila tanah keras terletak pada kedalaman 20 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasinya adalah pondasi tiang pancang atau pondasi *bored pile*.

Seiring dengan terbentuknya Universitas Pasir Pengaraian menjadi sebuah kampus, dimana pembangunan berkembang cukup pesat maka pemerintah daerah menyadari akan tingginya tuntutan pembangunan gedung berlantai banyak sehingga pada awal tahun 2000-an pemerintah kota mewajibkan setiap bangunan yang dibangun lebih dari dua lantai wajib melakukan uji lapisantahan dengan sondir. Hal ini dimaksudkan

untuk meminimalisir resiko kegagalan bangunan dan memastikan bahwa pondasi bangunan benar-benar menumpu pada tanah keras.

Dilakukan dari penjelasan diatas maka penulis mengambil judul Analisa pemilihan dimensi pondasi telapak dikawasan kampus UPP dari *bearing layer*(tebal lapisan tanah keras) dibawah permukaan.

Dan penulis dapat merumuskan masalah diantaranya:

## **1.2. RUMUSAN MASALAH**

Dapat dirumuskan beberapa masalah:

- 1) Bagaimana cara menghitung analisis pondasi dangkal dari teori Terzaghi untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah berdasarkan data sondir?
- 2) Bagaimana cara menghitung pondasi telapak bentuk pondasi persegi di Universitas Pasir Pengaraian?
- 3) Bagaimana cara menganalisis dimensi ukuran pondasi berdasarkan data sondir?

## **1.3. TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk:

- 1) Menganalisis daya dukung tanah untuk menentukan pondasi tapak berdasarkan data sondir di wilayah Universitas Pasir Pengaraian.
- 2) Untuk menghitung nilai dukung pondasi dangkal dari teori Terzaghi, untuk menentukan pondasi tapak bentuk pondasi persegi pada lapisan tanah di Universitas Pasir Pengaraian.
- 3) Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai lapisan tanah kepada perencana, pelaksana konstruksi, dan instansi teknis dalam membangun gedung di Universitas Pasir Pengaraian.

## **1.4. MAMFAAT PENELITIAN**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai lapisan tanah, daya dukung tanah dan dimensi pondasi telapak kepada

perencana, pelaksana konstruksi, dan instansi teknis dalam membangun gedung di Universitas Pasir Pengaraian.

## **1.2. BATASAN MASALAH**

Lingkup penelitian ini terbatas pada:

1. Lokasi penelitian di kampus Universitas Pasir Pengaraian.
2. Analisis pemilihan pondasi telapak dikawasan kampus Universitas Pasir Pengarayan dari *Bearing Layer* (tebal lapisan tanah keras) dibawah permukaan.
3. Analisa podasi telapak bentuk persegi dengan ukuran dimensi yang ditinjau ( 0,5 x 0,5 ), ( 0,8 x 0,8 ), ( 1,2 x 1,2).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. PENELITIAN TERDAHULU**

Tri Endah Utami dan Hermawan (2003) melakukan penelitian yang topik Perbandingan Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal Berdasarkan Data Sondir dan Parameter Tanah Pada Satuan Lempung Endapan Rawa (Qs). Didaerah Kabupaten Musi Banyuasin Bagian Timur Sumatera Selatan, yang diterbitkan Buletin Geologi Tata Lingkungan (*of Bulletin Environmental Geology*), Volume 13, Nomor 2, September 2003). Adapun maksud dan tujuan penelitian tersebut, bahwa perhitungan daya dukung tanah pondasi berdasarkan data sondir untuk menentukan nilai daya dukung tanah pondasi dan memperoleh gambaran umum daya dukung tanahnya pada satuan tersebut. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh, bahwa daya dukung pondasi dangkal pada kedalaman 0.60 m berdasarkan nilai sondir berkisar 0.45 dan 0.90 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan dari perhitungan berdasarkan hasil analisis laboratorium nilainya berkisar antara 0.92 dan 5.91 t/m<sup>2</sup>. Daya dukung pondasi dangkal ini secara umum termasuk rendah, namun nilai daya dukung yang diperoleh dan data laboratorium relatif besar. Perbedaan daya dukung dangkal dari hasil perhitungan menggunakan nilai tekanan konus (data sondir) dengan hasil laboratorium mekanika tanah ini relative cukup kecil, kemungkinan disebabkan terlalu lamanya contoh tanah dianalisis atau tidak segera dilakukan analisis setelah pengambilan contoh tanah sehingga telah kehilangan sebagian kandungan airnya dan mengeras. Meskipun selisih daya dukung dangkal berdasarkan sondir dan laboratorium tanah di daerah tersebut cukup kecil, sebaiknya lebih tepat digunakan perhitungan menggunakan data sondir.

Martini (2009) melakukan penelitian analisis daya dukung tanah pondasi dangkal dengan beberapa metode yang diterbitkan majalah ilmiah mektek tahun XI no. 2, mei 2009. Penelitian inicenderung berbeda. Tetapi metode Hansen dan Vesic pada variasi lebar pondasi (B) pada pondasi

bujursangkar dan lingkaran yaitu  $B > 0,5$  m terjadi penurunan nilai daya dukung tanah dan pada  $B \geq 1,5$  m meningkat kembali nilainya. Daya dukung tanah pada pondasi dengan beban sentris diperoleh hasil bahwa sebaiknya yang digunakan metode Terzaghi karena selain rumusnya yang sederhana, nilai daya dukung tanah yang relatif lebih kecil dibanding metode yang lain, sehingga dapat dikatakan lebih aman. Untuk beban miring sebaiknya digunakan perhitungan daya dukung tanah pada pondasi dangkal dengan metode Meyerhof karena memperoleh nilai daya dukung tanah yang relatif lebih stabil kenaikannya yaitu semakin besar lebar pondasi maka semakin besar pula daya dukungnya.

Medio Agustian Nusantara (2014) melakukan penelitian dengan topik analisa daya dukung pondasi dangkal pada tanah lempung menggunakan perkuatan anyaman bambu dan grid bambu dengan bantuan program plaxis yang diterbitkan jurnal teknik sipil dan lingkungan Vol.2.No.3,September 2014, jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya Palembang. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap daya dukung pondasi dangkal di atas tanah lempung (*clay*) dengan perkuatan anyaman bambu dan grid bambu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi pada tanah tanpa perkuatan dan tanah dengan beberapa lapis perkuatan dengan pemodelan menggunakan program. Penggunaan bahan perkuatan dengan anyaman bambu dan grid bambu adalah alternatif pengganti perkuatan dengan menggunakan geotextile yang umum digunakan sebagai bahan perkuatan agar lebih ekonomis dan mudah di dapat. Adapun kesimpulan yang bias diambil dari hasil pemodelan pondasi dangkal dengan bantuan program Plaxis versi 8.2 nilai daya dukung tanah tanpa perkuatan dengan parameter tanah lempung hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah jurusan Teknik Sipil Unsri adalah sebesar 53,796 kPa. Metode perhitungan daya dukung tanah Terzaghi memberikan selisih nilai yang mendekati dengan hasil pemodelan menggunakan program Plaxis dan persentase kenaikan daya dukung tanah tertinggi adalah 21,079 % yaitu dengan menggunakan variasi jarak perkuatan  $0,25 B$  dan jumlah lapis perkuatan tiga lapisan.

## **2.2.KEASLIAN PENELITIAN**

Penelitian dilaksanakan di Universitas Pasir Pengaraian dalam pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan bulan maret menggunakan alat uji sondir yang dimiliki oleh laboratorium geoteknik Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian.

Sejauh ini belum adanya informasi tentang adanya penelitian yang dilakukan terhadap kesetabilan tanah pada area Universitas Pasir Pengaraian dengan menggunakan alat uji sondir (*CPT*). Data yang didapat dari uji sondir akan dipergunakan sebagai landasan menentukan daya dukung tanah yang ada di area tersebut, serta sebagai data menentukan pondasi yang dipergunakan di area tersebut.

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. KARAKTERISTIS PONDASI

Menurut Nakazawa (2000), untuk memilih pondasi yang memadai perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan di lapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal lain yang perlu dipertimbangkan yaitu:

1. Keadaan tanah pondasi,
2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya (*superstructure*),
3. Batasan-batasan dari sekelilingnya,
4. Waktu dan biaya pekerjaan

Selain itu, Nakazawa (2000) telah menguraikan jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi bersangkutan, yaitu sebagai berikut:

1. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 m dibawah permukaan tanah, maka pondasi yang dapat digunakan adalah pondasi telapak (*spread foundation*),
2. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 m dibawah permukaan tanah, maka pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi. Apabila memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton cor di tempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang-tiang tersebut kurang panjang,
3. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 m di bawah permukaan tanah, maka pemilihan pondasinya tergantung penurunan (*settlement*) yang diizinkan. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*).

4. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 m di bawah permukaan tanah, maka dapat digunakan pondasi kaisan terbuka, tiang pancang beton, baja atau tiangcor di tempat. Kaisan tekanan dapat jugadigunakan apabila tekanan atmosfer yangada adalah kurang dari 3 kg/cm<sup>2</sup>,
5. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 m di bawah permukaan tanah, maka jenis pondasi yang sesuai adalah tiang baja dan tiang beton cordi tempat.

Nakazawa (2000) juga menjelaskan pentingnya batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya. Sebagai contoh penurunan jenis pondasi yang akan dipakai tergantung kepada apakhsifat bangunan itu mengizinkan atau tidak terjadinya penurunan pondasi. Akan tetapi dari segi pelaksanaan, terdapat beberapa keadaan dimana kondisi lingkungan tidak memungkinkan adanya pekerjaan yang baik dan sesuai dengan kondisi pada perencanaan. Hal ini dapat terjadi meskipun macam pondasi yang sesuai telah dipilih, dengan perencanaan yang memadai serta struktur pondasi telah dipilih dan dilengkapi dengan pertimbangan mengenai jenis tanah pondasi dan batasan struktur. Khususnya apabila pekerjaan-pekerjaan konstruksi dalam kota menjadi begitu aktif, ada beberapa keadaan dimana metode konstruksi tertentu kadang-kadang dilarang ditinjau dari segi sudut gangguan umum (Nakazawa, 2000).

Sebelum merencanakan sebuah pondasi, diusahakan melakukan penyelidikan tanah di lapangan (*in-situ test*). Salah satu jenis pengujian yang sering dilakukan adalah jenis *cone penetration test* atau biasa dikenal dengan sondir. Pengujian dilakukan untuk mengetahui besarnya perlawanan tanah pada konus.

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian di lapangan secara langsung. Pengujian di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh

kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan contoh (Hardiyatmo, 2010).

Penyondiran adalah proses pemasukan suatu batang tusuk ke dalam tanah, dengan bantuan manometer yang terdapat pada alat sondir tersebut kita dapat membaca atau mengetahui kekuatan suatu tanah pada kedalaman tertentu. Sehingga, dapat diketahui bahwa dari berbagai lapisan tanah memiliki kekuatan yang berbeda.

Penyelidikan dengan penyondiran disebut penetrasi, dan alat sondir yang biasa digunakan adalah *Dutch Cone Penetrometer*, yaitu suatu alat yang pemakaiannya ditekan secara langsung kedalam tanah. Ujung yang berbentuk konus (kerucut) dihubungkan pada suatu rangkaian stang dalam casing luar dengan bantuan suatu rangka dari besi dan dongkrak yang dijangkarkan ke dalam tanah.

### **3.2. DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL**

Dayadukung tanah adalah besarnya tekanan atau kemampuan tanah untuk menerima beban dari luar sehingga menjadi stabil. Kapasitas daya dukung pondasi dangkal berhubungan dengan perancangan dalam bidang geoteknik. Kriteria perancangan, Kapasitas daya dukung pondasi dangkal harus lebih besar atau sama dengan beban luar yang ditransfer lewat sistem pondasi ke tanah di bawah pondasi:

$$q(ult) > sc \text{ yang terbaik jika } q(ult) \geq 2 \text{ sampai } 5 \text{ kali } sc$$

### **3.3. TEORI TERZAGI**

Terzaghi mempersiapkan rumus daya dukung tanah yang diperhitungkan dalam keadaan *ultimate bearing capacity*, artinya: suatu batas nilai apabila dilampaui akan menimbulkan runtuh (*collapse*). Oleh sebab itu daya dukung yang diijinkan (*allowable bearing capacity*) harus lebih kecil daripada *ultimate bearing capacity*.

Dayadukung batas ( $q_{ult}$ , *ultimate bearing capacity*; kg/cm<sup>2</sup>, t/m<sup>2</sup>) suatu tanah yang berada dibawah beban pondasi akan tergantung kepada kekuatan geser (*shear strength*). Nilai daya dukung tanah yang diijinkan

( $q_a$ , *allowable bearing capacity*) untuk suatu rancang bangun pondasi ikut melibatkan faktor karakteristik kekuatan dan deformasi. Beberapa model keruntuhan dayadukung tanah untuk pondasi dangkal telah diprediksikan oleh beberapa peneliti (Lambe & Whitman, 1979; Koerner, 1984; Bowles, 1984; Terzaghi & Peck, 1993). Daya dukung ijin (*allowable bearing capacity*,  $q_a$ ) bergantung kepada seberapa besar Faktor Keamanan ( $F_s$ ) yang dipilih.

### 3.4. Rumus Terzaghi Mencari Daya Dukung

Bila memakai data pengujian Sondir

$$q_{ult} = q_c \cdot B \cdot (1 + D/B) \cdot 1/40 \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- $q_{ult}$  = Daya Dukung Ultimit Tanah
- $q_c$  = Nilai Conus
- $B$  = Lebar Pondasi (dianggap 1 meter)
- $D$  = Kedalaman Dasar Pondasi

Setelah kita mendapatkan nilai daya dukung Ultimit Tanah ( $q_{ult}$ ), Langkah selanjutnya menghitung dayadukung ijin tanah yaitu :

$$q = q_{ult} / S_f \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- $q$  = Daya Dukung ijin tanah
- $q_{ult}$  = Daya Dukung Tanah Ultimit
- $S_f$  = Faktor

Daya dukung ijin tanah dapat juga dihitung langsung dengan cara :

$$q = q_c / 40 \text{ (untuk besaran } B \text{ sembarang) } \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

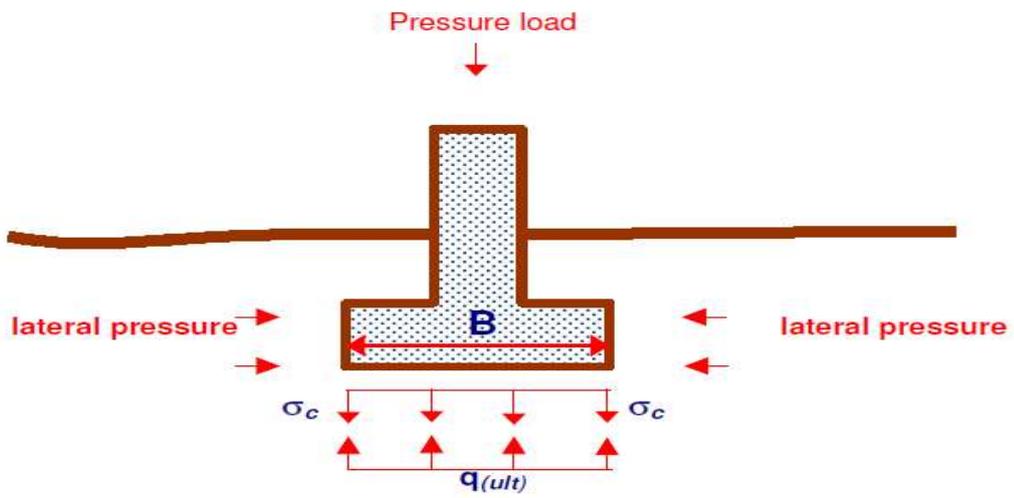
- $q$  = Daya Dukung ijin tanah
- $q_c$  = Nilai Konus

Setelah kita mendapatkan nilai daya dukung ijin, Langkah selanjutnya menghitung factor keamanan tanah yaitu :

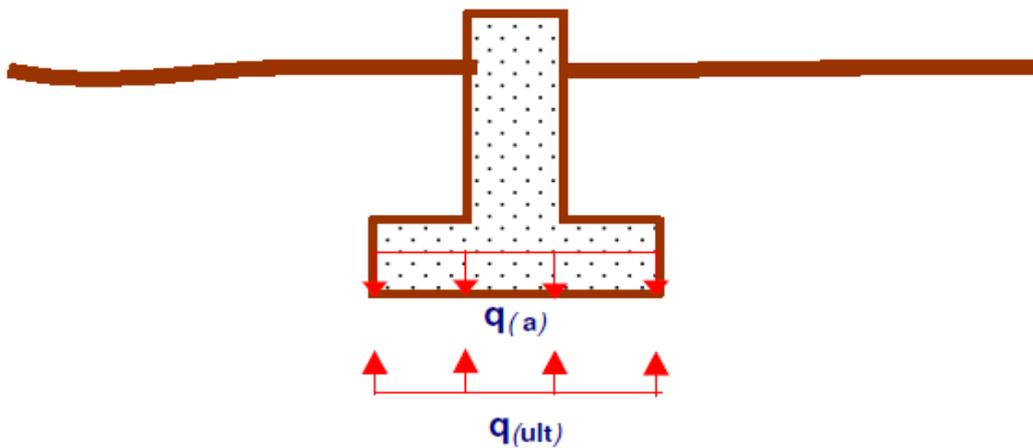
$$SF = Q_{ult} - Q_{all} \dots \dots \dots (4)$$

Pada tanah kohesif ( 20 )  
Dan tanah non kohesif (40)

Persamaan daya dukung terzaghi mengabaikan kuat geser tanah diatas pondasi dan hanya cocok untuk pondasi dangkal  $D_F < B$ . Oleh karena itu, kesalahan perhitungan untuk pondasi dalam menjadi besar.

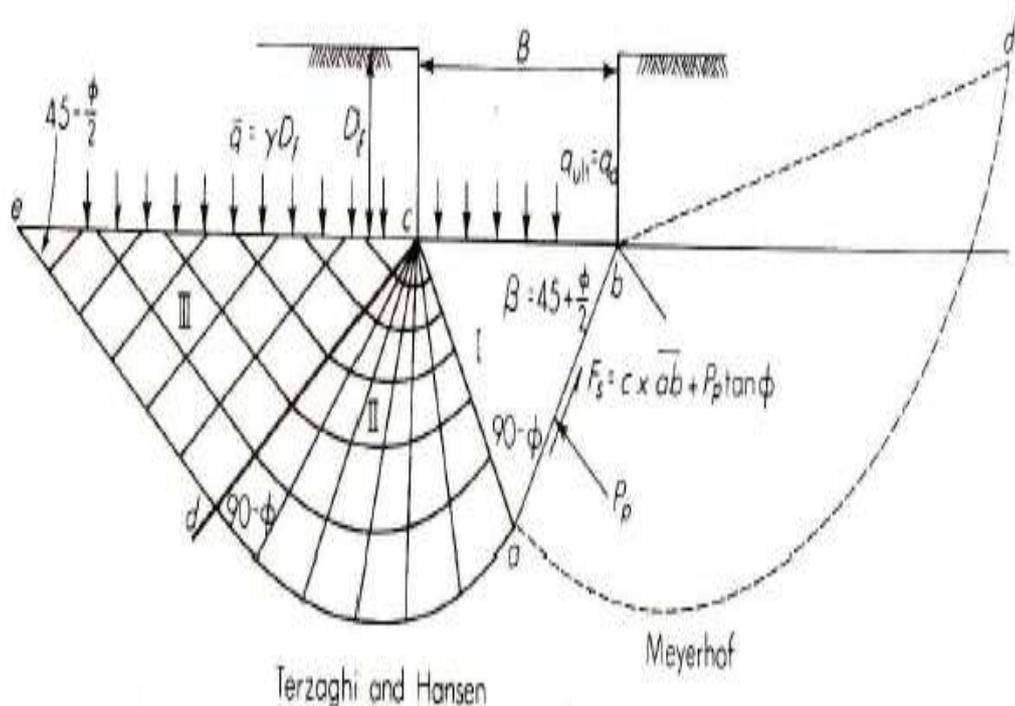


Gambar 3.1. Gaya yang bekerja dalam suatu sistem pondasi  
(sumber : Braja M Das. 1984)



Gambar 3.2. Hubungan  $q(a)$  dan  $q_{(ult)}$  dalam suatu sistem pondasi.

(sumber : Braja M Das. 1984)



Gambar 3.3. Skema kapasitas daya dukung tanah untuk jenis berbagai keruntuhan umum yang digunakan Terzaghi (menurut Terzaghi dalam Bowles, 1982).

(sumber : Braja M Das. 1984)

Jika  $F = 3$ , ini berarti bahwa kekuatan pondasi yang direncanakan adalah 3 kali kekuatan daya dukung batasnya, sehingga pondasi diharapkan aman dari keruntuhan. Dengan kondisi  $q_a < q_{ult}$  maka tegangan kontak ( $s_c$ ) yang terjadi akibat transfer beban luar ke tanah bagian bawah pondasi menjadi kecil (sengaja dibuat kecil) bergantung nilai  $F$  yang diberikan. Pondasi dikategorikan dangkal bila manalebar fondasi ( $= B$ ), sama atau lebih besar dari jarak level muka tanah ke pondasi atau  $D$ , kedalaman pondasi (Terzaghi & Peck, 1993; Bowles, 1984). Berdasarkan eksperimen dan perhitungan beberapa peneliti terdahulu yaitu : Meyerhof, Hansen, Bala, Muhs dan Milovic (dalam Bowles, 1984), terungkap bahwa hasil perhitungan daya dukung metode Terzaghi menghasilkan nilai terkecil terutama pada kondisi sudut geser dalam  $> 30^\circ$ . Nilai terkecil tersebut dinilai aman dalamantisipasi keruntuhan tanah atau kegagalan pondasi (Bowles, 1984).

Pada eksperimen Miloniv (dalam Bowles, 1984) dengan sudut-geser dalam kurang dari  $30^0$ , didapatkan hasil yang tak jauh berbeda dengan hasil perhitungan nilai secara teoritis cara Terzaghi.

Dalam teori daya dukung persamaan Terzaghi telah sangat luas digunakan, karena persamaan tersebut merupakan usulan yang pertama dan cukup konservatif, sehingga didapatkan sebuah sejarah pemakaian yang berhasil. Persamaan Terzaghi bila memakai data lapangan untuk pondasi dengan bentuk lingkaran adalah sebagai berikut :

Untuk pondasi lingkaran ,

$$Q_u = 1,3.C.N_c + p_o.N_q + 0,3.y.B.N_y p_o = (D_f.y) \dots \dots \dots ( 5 )$$

Untuk pondasi bujur sangkar,

$$Q_u = 1,3.C.N_c + p_o.N_q + 0,4.y.B.N_y \dots \dots \dots ( 6 )$$

Untuk pondasi dalam,

$$Q_{ult} = Q_{ujung} + Q_{selimut} \\ = Q_u + (K \times F_s \times D) \dots \dots \dots ( 7 )$$

Keterangan :

$q_{ult}$  = ultimate soil bearing capacity

$c$  = kohesi tanah

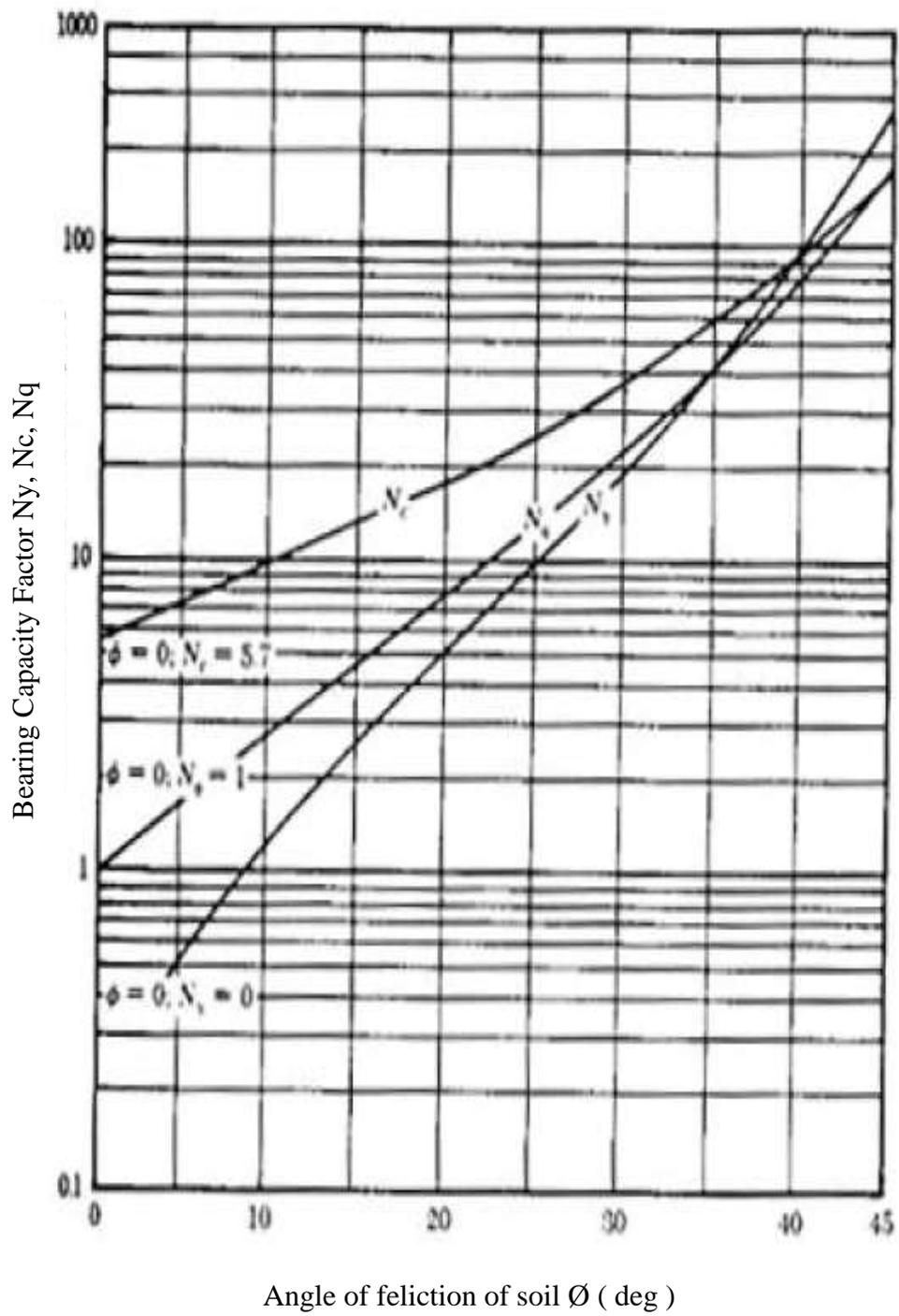
$q$  =  $g \times D$  (bobot satuan isi tanah x kedalaman)

$B$  = dimensi lebar atau diameter pondasi

$f$  = sudut geser dalam

$N_c, N_q, N_y$ . Adalah Faktor dayadukung tanah yang bergantung kepada  $\emptyset$

Persamaan daya dukung Terzaghi mengabaikan kuat geser diatas pondasi dan cocok untuk pondasi dangkal  $D_f < B$ . Oleh karena itu, kesalahan untuk pondasi yang dalam menjadi besar.



Gambar 3.4. Grafik hubungan  $\phi$  dan  $N_y, N_c, N_q$ . Menurut Terzaghi.

(sumber : Braja M Das. 1984)

Tabel 3.1. Nilai-nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c'$	$N_q'$	$N_\gamma'$
0	5.7	1.0	0.0	5.7	1	0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5.0	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35.0	23.7	11.7	9
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

(Sumber: <https://rahmadsgit.files.wordpress.com/2013/04/daya-dukung.doc>)

Atau dapat digunakan rumus untuk penentuan faktor daya dukung tanah terzaghi dengan rumus sebagai berikut:

$$N_c = \frac{228 + 4,3\phi}{40 - \phi} \dots\dots\dots (9)$$

$$N_c = \frac{40 + 5\phi}{40 - \phi} \dots\dots\dots (10)$$

$$N_c = \frac{6\phi}{40 - \phi} \dots\dots\dots (11)$$

### 3.5. JENIS PONDASI

Pengertian umum untuk pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lainnya di atasnya. Pondasi harus di perhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban - beban bangunan (beban isi bangunan), gaya – gaya luar seperti: tekanan angin, gempa bumi,dan lain-lain. Disamping itu tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang diijinkan.

Secara umum, terdapat dua macam pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

#### 1) Pondasi Dangkal.

Pondasi dangkal digunakan bila bangunan yang di atasnya tidak terlalu besar.Rumah sederhana misalnya. Pondasi ini juga bisa di pakai untuk bangunan umum lainnya yang berada di atas tanah yang keras. Yang termasuk dalam pondasi dangkal ialah pondasi batu kali setempat, pondasi lajur batu kali, pondasi tapak/pelak setempat(beton), pondasi lajur beton, pondasi *strauspile* dan pondasi tiang pancang kayu.

#### 2) Pondasi Dalam.

pondasi dalam ialah pondasi yang dipakai pada bangunan diatas tanah lembek. Pondasi ini juga dipakai pada bangunan dengan bentangan yang cukup lebar (jarak antar kolom 6m) dan bangunan bertingkat. Yang termasuk didalamnya antara lain pondasi tiang pancang(beton, besi, pipa baja), pondasi sumuran, pondasi borpile dan lain- lain.

Untuk merencanakan suatu pondasi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Konstruksi harus kuat dan kokoh untuk mendukung bangunan di atasnya.
- 2.Berat sendiri bangunan termasuk berat pondasinya.
- 3.Beban berguna.
- 4.Bahan yang dipakai untuk konstruksi pondasi harus tahan lama dan tidak mudah hancur, sehingga diharapkan bila terjadi kehancuran bukan karena pondasinya yang tidak kuat.

5. Hindarkan pengaruh dari luar, misalnya kondisi dari air tanah maupun cuaca baik panas maupun dingin.
6. Pondasi harus terletak pada dasar tanah yang keras, sehingga kedudukan pondasi tidak mudah bergerak baik kesamping, kebawah maupun terguling.
7. Pondasi yang menerima beban berbeda harus dibuat terpisah.

Prinsip pondasi :

1. Harus sampai ke tanah keras.
2. Apabila tidak ada tanah keras harus ada pemadatan tanah/perbaikan tanah.

Pondasi merupakan bagian struktur dari bangunan yang sangat penting, karena fungsinya adalah menopang bangunan di atasnya, maka proses pembangunannya harus memenuhi persyaratan utama sebagai berikut:

1. Cukup kuat menahan muatan geser akibat muatan tegak kebawah.
2. Dapat menyesuaikan pergerakan tanah yang tidak stabil (tanah gerak) tahan terhadap pengaruh perubahan cuaca.
3. Tahan terhadap pengaruh bahan kimia.

Struktur bawah bangunan pondasi terdiri dari pondasi dan tanah pendukung pondasi. Pondasi berfungsi untuk mendukung seluruh beban dan meneruskan beban bangunan tersebut kedalam tanah dibawahnya. Suatu sistem pondasi dapat menjamin, harus mampu mendukung beban yang ada di atasnya, termasuk gaya-gaya luar seperti gaya angin, gempa, dll. Untuk itu pondasi harus kuat, stabil, aman, agar tidak mengalami penurunan, tidak mengalami patah, karena akan sulit untuk diperbaiki suatu sistem pondasi.

Akibat penurunan atau patahnya pondasi, maka akan terjadi :

1. Kerusakan pada dinding, retak-retak, miring dan lain-lain.
2. Lantai pecah, retak dan bergelombang.
3. Penurunan atap dan bagian-bagian lain.

Beban-beban lain dan beban-beban yang diakibatkan gaya-gaya Pembuatan pondasi dihitung berdasarkan hal-hal berikut :

- 1) Berat bangunan yang harus dipikul berikut beban-beban hidup, mati serta eksternal.
- 2) Jenis tanah dan daya dukung tanah.
- 3) Bahan pondasi yang tersedia atau mudah diperoleh ditempat.
- 4) Alat dan tenaga kerja yang tersedia.
- 5) Lokasi dan lingkungan tempat pekerjaan.
- 6) Waktu dan biaya pekerjaan.

Hal yang juga penting berkaitan dengan pondasi adalah apa yang disebut *soil investigation* , atau penyelidikan tanah. Pondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras dan padat. Untuk memenuhi syarat tersebut perlu diperhatikan beberapa hal dalam pekerjaan pondasi :

1. Dasar pondasi harus mempunyai lebar yang cukup dan harus diletakkan pada lapisan tanah keras.
2. Harus dihindarkan memasang pondasi sebagian pada tanah keras, sebagian pada tanah lembek.
3. Pondasi harus dipasang dipasang menerus dibawah seluruh dinding bangunan dan dibawah kolom-kolom pendukung yang berdiri bebas.
4. Apabila digunakan pondasi setempat, pondasi- pondasi itu harus dirangkai satu dengan balok pengikat (balok *sloof*).
5. Pondasi harus dibuat dari bahan yang awet berada dalam tanah dan kuat menahan gaya-gaya yang bekerja padanya terutama gaya desak.
6. Apabila lapisan tanah tidak sama kedalamannya tapi untuk seluruh panjang pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang sama.

Dilihat dari system penyaluran ada tiga jenis pondasi :

1. Pondasi setempat ; penyaluran beban dengan sistem titik.
2. Pondasi memanjang ; penyaluran beban dengan system garis/beban merata.
3. Pondasi bidang ; penyaluran beban dengan sistem bidang.

### **3.6. CONE PENETRATION TEST (CPT)**

Alat kerucut penetrometer (*Cone Penetration Test*) adalah sebuah alat yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan ujung 10 cm<sup>2</sup>. Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/detik, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi ( $q_c$ ) juga terus menerus diukur. Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai selubung geser (*biconus*) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrometer. Salah satu keuntungan utama dari alat ini ialah bahwa tidak perlu diadakan pemboran tanah untuk penyelidikan tanah. Tes pada umumnya dilakukan pada tanah kohesif (Braja M. Das, 2010).

## BAB IV METODOLOGI

### 4.1. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian langsung di lapangan (*in situ test*). Data yang diperlukan adalah data primer dan sebagian data sekunder hasil pengujian di lapangan. Program kerja yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah mencakup seluruh tahapan proses penelitian mulai dari pemilihan lokasi (*sampling*) sampai dengan pemetaan, kemudian pemilihan jenis dan model pondasi. Jenis pondasi yang dipilih ialah pondasi dangkal, dengan jenis pondasi telapak bentuk persegi bujur sangkar.

Alat Uji:

1. Alat sondir yang digunakan kapasitas 2,5 ton.
2. Pipa sondir lengkap dengan batang dalam.
3. Manometer 2 buah dengan kapasitas sesuai dengan sondir ringan yaitu 0 – 60 kg/cm<sup>2</sup> dan 0 – 250 kg/cm<sup>2</sup>.
4. Alat bikonus.
5. Angker dengan perlengkapannya.

Ujung alat ini terdiri dari kerucut baja yang mempunyai sudut kemiringan 60° dan berdiameter 35,7 mm atau mempunyai luas penampang 10 cm<sup>2</sup>. Kecepatan penetrasi kira-kira 10 mm/detik. Pembacaan dilakukan tiap penurunan 20 cm dan dihentikan pada kedalaman maksimum yang diinginkan atau sampai batas maksimum pembacaan 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Salah satu macam alat sondir dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengukur tahanan ujung dan tahanan gesek dari selimut silinder mata sondirnya. Cara menggunakan alat ini, dengan menekan pipa penekan dan mata sondir secara terpisah melalui alat penekan mekanis atau dengan tangan yang memberikan gerakan ke bawah. Kecepatan penetrasi kira-kira 10 mm/detik. Pembacaan tahanan kerucut statis atau tahanan konus dilakukan dengan melihat arloji pengukur. Nilai *qc* adalah besarnya

tahanan kerucut dibagi dengan luas penampangnya (10 cm<sup>2</sup>). Pembacaan arloji pengukur dilakukan pada tiap-tiap penetrasi sedalam 20 cm. Tahanan ujung serta tahanan gesek selimut alat sondir dicatat. Dari sini diperoleh grafik tahanan kerucut statis atau tahanan konus yang menyajikan nilai keduanya.

#### **4.2. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN**

Waktu pelaksanaan penelitian pada periode Maret–Oktober, pengujian di Universitas Pasir Pengaraian dengan memperhatikan beberapa lokasi yang memiliki kondisi tanah lempung.

#### **4.3. DESAIN PENELITIAN**

Pengujian lapangan (*in situ test*) dilakukan dengan melakukan survey awal terlebih dulu. Hal ini untuk memastikan letak/posisi pondasi bangunan. Pengujian dilakukan pada tempat-tempat dengan kondisi tanah lempung, hal utama untuk mendirikan sebuah pondasi/bangunan.

#### 4.4. BAGAN ALIR PENELITIAN



Gambar 4.1. Bagan Alir

#### **4.5. TEKNIK PENGUMPULAN DATA**

Data sekunder berupa data pengujian sondir yang dilakukan disekitar kampus Universitas Pasir Pengaraian yang tersebar, sementara data primer dilakukan pada lokasi yang belum diuji.

#### **4.6. Tinjauan Umum**

Data yang dijadikan bahan acuan dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Skripsi ini adalah data sekunder yang dapat diklasifikasikan dalam dua jenis data, yaitu :

- a) Data Utama.
- b) Data Penunjang ( literatur ).

#### **4.7. Data Sekunder**

Data Sekunder merupakan data pendukung yang dipakai dalam proses pembuatan dan penyusunan Laporan Skripsi ini. Data sekunder ini didapatkan melalui pengamatan secara langsung di lapangan. Yang termasuk dalam klasifikasi data sekunder ini antara lain adalah literature-literatur penunjang, grafik, tabel dan peta/tanah yang berkaitan erat dengan proses perancangan pondasi yang berada kampus Universitas Pasir Pengarayan.

#### **4.8. Data Penunjang**

##### **a. Data Teknis**

Adalah data yang berhubungan langsung dengan perencanaan struktur gedung seperti data tanah, bahan bangunan yang digunakan, data beban rencana yang bekerja, dan sebagainya.

## **b. Data Non Teknis**

Adalah data yang berfungsi sebagai penunjang dan perencanaan, seperti kondisi dan letak lokasi proyek. Data yang harus dilengkapi dalam perencanaan struktur antara lain terdiri dari:

1. Lokasi/letak bangunan.
2. Kondisi/sistem struktur bangunan sekitar.
3. Wilayah gempa dimana bangunan itu didirikan.
4. Data pembebanan.
5. Data tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah.
6. Mutu bahan yang digunakan.
7. Metode analisis yang digunakan.
8. Standar dan referensi yang digunakan dalam perencanaan.

Langkah yang dilakukan setelah mengetahui data-data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan datanya. Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan adalah :

### **a. Evaluasi**

Adalah pengumpulan data melalui evaluasi dari pengamatan, penyelidikan, penelitian, peninjauan pada data sekunder.

### **b. Studi Pustaka**

Adalah pengumpulan data dengan data-data dari hasil penyelidikan, penelitian, tes atau uji laboratorium, pedoman, bahan acuan, maupun standar yang diperlukan dalam perencanaan bangunan melalui perpustakaan ataupun instansi-instansi pemerintah yang terkait. Acuan - acuan pendukung tersebut dapat berupa literature penunjang, peta kegempaan, grafik dan tabel beton, serta standar - standar yang berlaku dalam perencanaan struktur bangunan seperti : SNI - 03 - 1726 - 2002 standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, peraturan pembebanan indonesia untuk gedung 1983, PBI 1971 NI -2. Setelah diperoleh data yang diperlukan, maka selanjutnya dapat dilakukan proses perhitungan.

#### **4.9. Analisa Kualitatif Penentuan Tipe Pondasi**

Salah satu bagian penting suatu bangunan adalah pondasi yang berfungsi melimpahkan beban bangunan kedalam tanah. Suatu perencanaan pondasi bangunan tanpa mengetahui nilai – nilai karakteristik tanah dimana pondasi itu akan diletakkan dapat menghasilkan suatu perencanaan yang over-dimensi sehingga kurang ekonomis biaya pelaksanaannya atau sebaliknya didapat dimensi yang terlalu kecil sehingga faktor keamanan bangunan kurang terjamin, maka perencanaan didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut , yaitu :

##### **1. Keadaan tanah pondasi**

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

##### **2. Kondisi konstruksi di atasnya**

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).

##### **3. Faktor Lingkungan**

Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.

##### **4. Faktor waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan**

Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan. Sedangkan beberapa persyaratan umum yang harus dipenuhi pondasi antara lain :

##### **1. Terhadap tanah dasar**

- a) Pondasi harus mempunyai bentuk, ukuran dan struktur yang sedemikian rupa sehingga tanah dasar mampu memikul gaya – gaya yang bekerja.

- b) Penurunan yang terjadi tidak boleh terlalu besar atau tidak merata.
  - c) Bangunan tidak boleh bergeser atau mengguling.
2. Terhadap struktur pondasi sendiri
- a) Struktur pondasi harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja.
- Pada gedung berat atau bertingkat, pondasi dibuat di bawah masing-masing kolom dengan atau tanpa tiang, tergantung kedalaman tanah keras.

#### **4.10. Pondasi Telapak**

Secara garis besar, pondasi telapak dapat di bedakan menjadi 5 macam, yaitu sebagai berikut:

1) Pondasi dinding

Pondasi dinding ini sering di sebut pondasi lajur

2) Pondasi telapak tunggal

Pondasi telapak tunggal sering disebut dengan pondasi kolom tunggal, artinya setiap kolom mempunyai pondasi sendiri-sendiri, pondasi telapak tunggal dapat berbentuk bujur sangkar, lingkaran dan persegi panjang

3) Pondasi gabungan

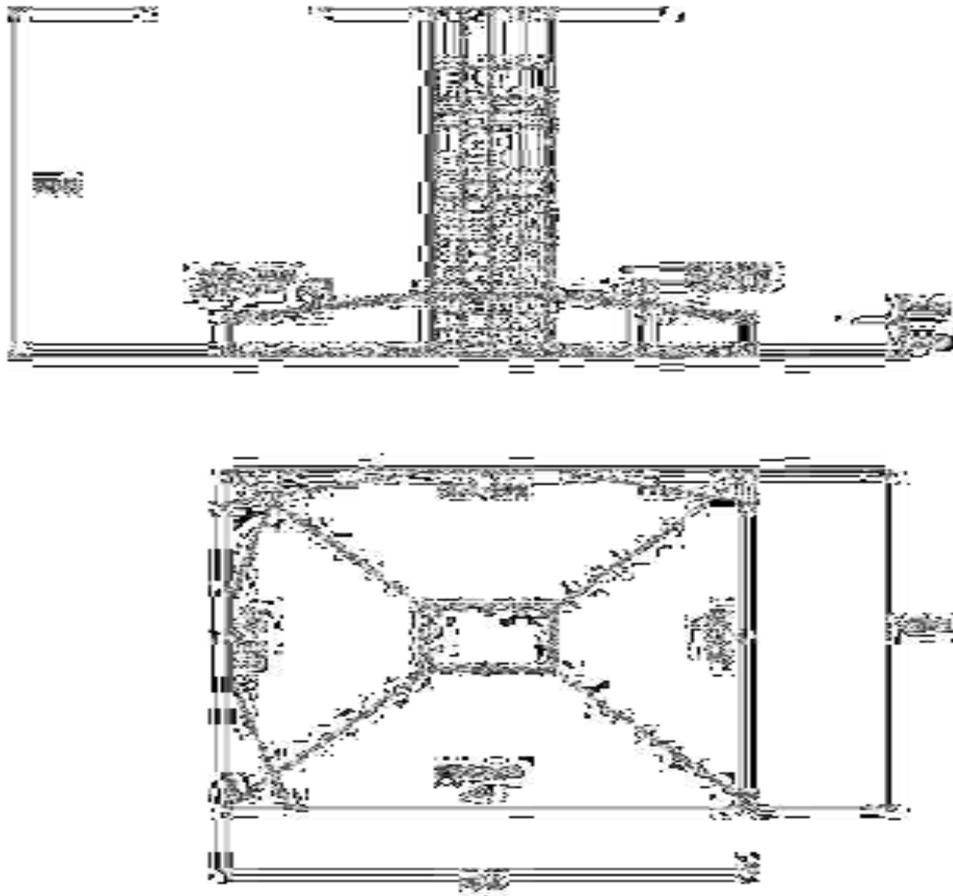
Jika letak kolom relatif dekat, pondasinya di gabung menjadi satu. Bentuk pondasi berupa persegi panjang atau trapesium

4) Pondasi telapak menerus

Jika letak kolom berdekatan dengan daya dukung tanah relatif, lebih baik di buat pondasi telapak menerus. Agar kedudukan kolom lebih kokoh dan kuat, maka antara kolom satu dan lainnya dijepit oleh balok *sloof*. Balok *sloof* di cor bersamaan dengan pondasi

5) Pondasi mat

Pondasi mat sering disebut pondasi pelat, dipasang dibawah seluruh bangunan, karena daya dukung tanahnya sangat kecil



Gambar 4.2. Pondasi Telapak  
 (Sumber : [kontemporer2013.blogspot.com](http://kontemporer2013.blogspot.com))

pondasi telapak / *footing* yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dan berkualitas baik yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah.

Untuk perencanaan dimensi secara langsung, dapat ditentukan dengan rumus  $D/B \leq 1 - 4$ , di mana  $D$  = kedalaman pondasi diukur dari alas pondasi sampai permukaan tanah dan  $B$  = lebar alas pondasi. Sedangkan luas alas pondasi dihitung sedemikian rupa sehingga tekanan yang terjadi pada tanah dasar tidak melampaui kapasitas dukung ijin tanah  $\sigma \leq \sigma -$ , dan luas alas pondasi ditentukan dengan rumus  $A = P / \sigma$ , dengan  $A$  = luas alas pondasi,  $P$  = beban yang bekerja pada kolom yang didukung pondasi (beban normal) dan  $\sigma$  = tekanan yang terjadi pada tanah. Perencanaan dimensi pondasi dangkal paling hemat apabila dibuat

sedemikian rupa sehingga resultan gaya-gaya yang bekerja melalui pusat berat alas pondasi.

Secara geometrik, bentuk dari pondasi telapak ini dapat dibuat dengan dua macam bentuk, yaitu dengan bentuk bujur sangkar atau persegi panjang. Pondasi dengan bentuk bujur sangkar biasanya digunakan jika beban yang bekerja pada pondasi berupa beban tekan sentris ( $P$ ) dan tanpa momen ( $M$ ), (atau jika ada tapi momennya kecil). Namun apabila beban yang bekerja pada pondasi berupa beban tekan sentris ( $P$ ) dan momen ( $M$ ) secara bersamaan, maka biasanya digunakan pondasi persegi panjang.

#### **4.10.1. Perencanaan Pondasi Telapak**

Peraturan untuk perencanaan pondasi telapak tercantum pada pasal 1.12 dan pasal 7 SNI 03-2847-2002. Perencanaan pondasi harus mencakup segala aspek agar terjamin keamanannya sesuai dengan persyaratan yang berlaku, misalnya: penentuan dimensi telapak pondasi, tebal pondasi dan jumlah/jarak tulangan yang harus dipasang pada pondasi. (Pamungkas dan Harianti, 2013) Menentukan ukuran pondasi. Ukuran panjang dan lebar telapak pondasi harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tidak melampaui daya dukung tanah di bawahnya.

#### **4.11. Kohesi dan Sudut Geser Dalam**

Kohesi dan sudut geser dalam adalah suatu parameter mekanika tanah dan batuan yang sangat sering dijadikan acuan dalam suatu design, pengujian serta analisis suatu rancangan.

##### **4.11.1 .kohesi**

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan

normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir ( $q_c$ ) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi ( c )} = q_c/20 \dots\dots\dots( 6 )$$

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

#### 4.11.2. Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabelberikut :

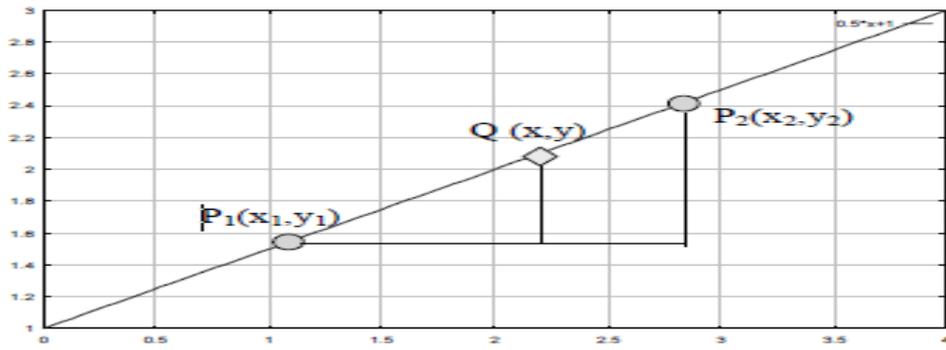
Tabel 4. 1. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\theta$ )
Kerikil kepasiran	$35^\circ - 40^\circ$
Kerikil kerakal	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir padat	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir lepas	$30^\circ$
Lempung kelanauan	$25^\circ - 30^\circ$
Lempung	$20^\circ - 25^\circ$

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

#### 4.12. Interpolasi Linier

Interpolasi linear adalah cara mendapatkan nilai di antara dua data berdasarkan persamaan linear. Interpolasi linier merupakan metoda untuk penentuan nilai fungsi persamaan linear berdasarkan hukum kesebandingan.



Gambar 4.3. Kurva untuk interpolasi linier

(sumber : Braja M Das. 1984)

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik  $P_1(x_1, y_1)$  dan  $P_2(x_2, y_2)$  dapat dituliskandengan:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \dots \dots \dots (8)$$