

## **TUGAS AKHIR**

# **TINJAUAN PERENCANAAN DAN METODE PELAKSANAAN PONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK HOTEL IBIS MANADO**

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Studi  
Program Studi Diploma IV Konstruksi Bangunan Gedung  
Pada Jurusan Teknik Sipil

Oleh :

Wibowo Pratama Mokodompit

11 012 020



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
POLITEKNIK NEGERI MANADO  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
TAHUN 2016**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Manado adalah salah satu kota di Indonesia yang mengalami perkembangan dalam bidang konstruksi bangunan gedung, hal ini dapat dilihat dari padatnya kota dengan gedung-gedung yang berdiri maupun sedang didirikan. Salah satu bangunan yang sedang didirikan adalah Hotel Ibis Manado. Gedung tersebut berfungsi sebagai penginapan, restoran, meeting.

Bangunan tingkat tinggi tentunya harus direncanakan dengan baik dan efisien. Salah satu bagian terpenting pada bangunan tingkat tinggi adalah pondasi. Pondasi merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke lapisan tanah dasar. Pondasi harus cukup kuat menahan beban dari struktur atas agar tidak terjadi hal yang merugikan, berdasarkan hal-hal tersebut tugas akhir ini dibuat untuk membahas tinjauan perencanaan pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan hotel Ibis Manado.

Tinjauan perencanaan meliputi penyelidikan daya dukung tanah, perhitungan jumlah tiang, dan pile cap serta membandingkan kondisi existing dilapangan.

### **1.2. Maksud dan Tujuan**

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir adalah meninjau kembali perencanaan pondasi tiang pancang yang digunakan pada pembangunan Hotel Ibis Manado dan membandingkan hasil tinjauan dengan kondisi existing di lapangan.

### **1.3. Pembatasan Masalah**

Tinjauan perencanaan hanya dilakukan pada struktur bawah bangunan yaitu pondasi tiang pancang dan *pilecap*, karakteristik material, dimensi konstruksi yang digunakan berdasarkan data perencanaan, dan keadaan lapangan. Klasifikasi dan definisi tanah yang akan digunakan yaitu data hasil uji laboratorium dan lapangan. Analisa struktur atas menggunakan bantuan software ETABS untuk mempermudah perhitungan nilai reaksi tumpuan titik tinjauan, namun proses daripada analisa tersebut tidak akan dibahas secara detail, hanya akan melampirkan parameter-parameter element struktur, pemodelan struktur, pembebanan gedung, dan hasil analisa tersebut.

### **1.4. Metodologi Penulisan**

Metodologi penulisan tugas akhir ini meliputi observasi, wawancara, studi literature terkait objek tinjauan. Selama praktek kerja lapangan dilakukan observasi terhadap tinjauan pada lokasi untuk mendapatkan suatu pemahaman. Mengadakan wawancara dengan pihak-pihak terkait pelaksanaan pekerjaan untuk melengkapi data-data yang ada dengan cara tanya jawab dengan pihak-pihak terkait proyek dan pihak-pihak yang paham tentang objek tinjauan. Melakukan pengumpulan referensi berupa buku, jurnal, pedoman, dan lainnya yang mempunyai sumber terpercaya, resmi, dan diakui.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini disusun secara sistematis yang diawali dengan pendahuluan, dasar teori yang digunakan, pembahasan, dan penutup. Penjelasan mengenai sistematika dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **a. Bab I Pendahuluan**

Memuat tentang latar belakang, maksud dan tujuan penulisan tugas akhir, pembatasan masalah sebagai batasan dalam mengarahkan penulisan kepada tujuan, metodologi penelitian berisi tentang metode yang dipakai dalam pengumpulan data, dan sistematika penulisan tiap dalam tugas akhir ini.

b. Bab II Dasar Teori

Berisikan tentang dasar teori dari pengumpulan data studi literatur yang dipercaya dan diakui sesuai ketentuan dan persyaratan yang berlaku.

c. Bab III Pembahasan

Berisikan tentang pembahasan dan pengolahan data-data hasil observasi, wawancara, dan studi literature yang disusun secara teratur untuk mendapatkan hasil yang dapat disimpulkan.

d. Bab IV Penutup

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tanah**

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

##### **2.1.1 Penyelidikan Tanah**

Pada perencanaan pondasi terlebih dahulu perlu diketahui susunan lapisan tanah yang sebenarnya pada suatu tempat dan juga hasil pengujian laboratorium dari sampel tanah yang diambil dari berbagai kedalaman lapisan tanah dan mungkin kalau ada perlu juga diketahui hasil pengamatan lapangan yang dilakukan sewaktu pembangunan gedung - gedung atau bangunan - bangunan lain yang didirikan dalam kondisi tanah yang serupa.

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya dan untuk menentukan metode konstruksi yang efisien dan juga diperlukan untuk menentukan stratifikasi (pelapisan) tanah dan karakteristik teknis tanah sehingga perancangan dan konstruksi pondasi dapat dilakukan dengan ekonomis.

##### **2.1.2 Kemampatan dan Konsolidasi Tanah**

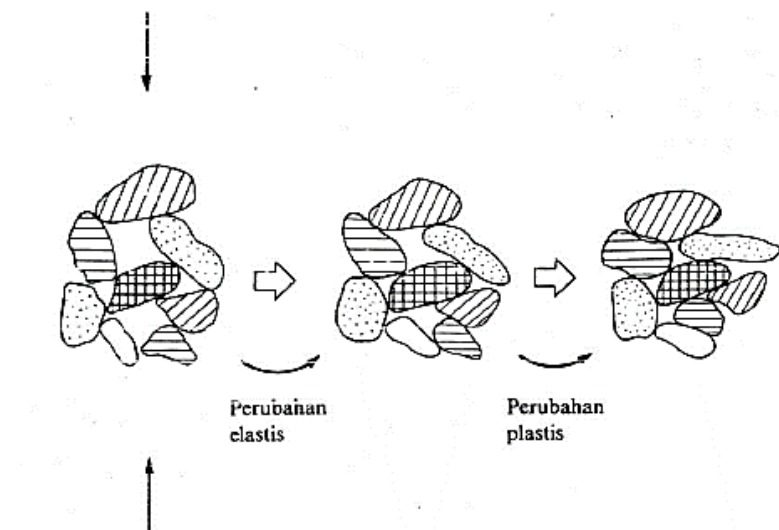
Tanah mempunyai sifat kemampatan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan konstruksi seperti baja atau beton. Baja dan beton itu adalah bahan yang tidak mempunyai air pori. Itulah sebabnya volume pemampatan baja dan beton tidak mempunyai masalah. Sebaliknya karena tanah mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang besar. Hal ini tentu akan mengakibatkan penurunan pondasi yang akan merusak konstruksi.

Berlainan dengan bahan-bahan konstruksi yang lain, karakteristik tanah itu didominasi oleh karakteristik mekanisme seperti permeabilitas tanah atau kekuatan geser yang berubah-ubah sesuai dengan pembebanan.

Mengingat kemampuan butir-butir tanah atau air itu secara teknis sangat kecil sehingga dapat diabaikan, maka proses deformasi tanah akibat beban luar dapat dipandang sebagai suatu gejala penyusutan pori. Gbr 2.1 menunjukkan, bahwa akibat dari beban yang bekerja pada tanah, susunan butir-butir tanah berubah atau kerangka struktur butir-butir tanah berubah sehingga angka perbandingan pori (void ratio) menjadi kecil yang mengakibatkan deformasi pemampatan.

Jika beban yang bekerja pada tanah itu kecil, maka deformasi itu terjadi tanpa pergeseran pada titik-titik antara butir-butir tanah. Deformasi pemampatan tanah yang terjadi memperlihatkan gejala yang elastis, sehingga bila beban yang itu diiadakan, tanah akan kembali pada bentuk semula. Umumnya beban-beban yang bekerja mengakibatkan pergeseran titik-titik sentuh antara butir-butir tanah, yang mengakibatkan perubahan susunan butir-butir tanah sehingga terjadi deformasi pemampatan, deformasi sedemikian disebut deformasi plastis, karena bilamana tanah diiadakan, tanah itu tidak akan kembali pada bentuk semula.

Air dalam pori pada tanah yang jenuh air perlu dialirkan keluar supaya penyusutan pori itu sesuai dengan deformasi atau sesuai dengan perubahan struktur butir-butir seperti yang diperlihatkan Gambar dibawah ini :



Gambar 2.1. Perubahan dalam struktur butiran

Mengingat permeabilitas tanah kohesif lebih kecil dari permeabilitas tanah pasiran, maka pengaliran keluar air itu membutuhkan waktu yang lama. Jadi untuk mencapai keadaan deformasi yang tetap sesuai dengan beban yang bekerja,

diperlukan suatu jangka waktu yang lama. Gejala demikian disebut konsolidasi. Maka dengan adanya pemadatan, berat isi dan kekuatan tanah akan meningkat.

### **2.1.3 Sondir Test/Cone Penetration Test (CPT)**

Pengujian CPT atau sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut  $60^\circ$  dan dengan luasan ujung  $1,54 \text{ in}^2$  ( $10 \text{ cm}^2$ ). Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap  $20 \text{ mm/detik}$ , sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi ( $q_c$ ) juga terus diukur.

Dilihat dari kapasitasnya, alat sondir dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sondir ringan ( $2 \text{ ton}$ ) dan sondir berat ( $10 \text{ ton}$ ). Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus sampai  $150 \text{ kg/cm}^2$ , atau kedalam maksimal  $30 \text{ m}$ , dipakai untuk penyelidikan tanah yang terdiri dari lapisan lempung, lanau dan pasir halus. Sondir berat dapat mengukur tekanan konus  $500 \text{ kg/cm}^2$  atau kedalaman maksimal  $50 \text{ m}$ , dipakai untuk penyelidikan tanah di daerah yang terdiri dari lempung padat, lanau padat dan pasir kasar.

Keuntungan utama dari penggunaan alat ini adalah tidak perlu diadakan pemboran tanah untuk penyelidikan. Tetapi tidak seperti pada pengujian SPT, dengan alat sondir sampel tanah tidak dapat diperoleh untuk penyelidikan langsung ataupun untuk uji laboratorium. Tujuan dari pengujian sondir ini adalah untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikator dari kekuatan tanahnya dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan tanah yang berbeda.

Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai selubung geser (bikonus) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrasi tersebut. Jadi pembacaan harga perlawanan ujung konus dan harga hambatan geser dari tanah dapat dibaca secara terpisah. Ada 2 tipe ujung konus pada sondir mekanis yaitu :

1. Konus biasa, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar, dimana besar perlawanan lekatnya kecil.
2. Bikonus, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan hambatan lekatnya dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir halus.

Hasil penyelidikan dengan alat sondir ini pada umumnya digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan besarnya nilai sondir yaitu perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus yang dinyatakan dalam gaya persatuan panjang. Dari hasil sondir diperoleh nilai jumlah perlawanan (JP) dan nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Hambatan Lekat (HL)} = (\text{JP} - \text{PK}) \cdot \text{A/B} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Jumlah Hambatan Lekat (JHL)} = \sum_{i=0}^n \text{JHL} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

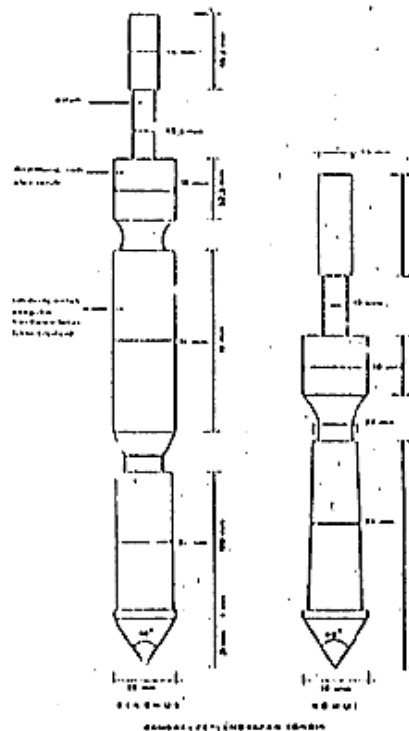
JP = Jumlah perlawanan, perlawanan ujung konus + selimut (kg/cm<sup>2</sup>)

PK = Perlawanan penetrasi konus, qc (kg/cm<sup>2</sup>)

A = Interval pembacaan (setiap kedalaman 20 cm)

B = Faktor alat = luas konus/luas torak = 10 cm

I = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)



(a). Konus (b). Bikonus

Gambar 2.2. Dimensi Alat Sondir Mekanis



Data sondir tersebut digunakan untuk mengidentifikasi dari profil tanah terhadap kedalaman. Hasil akhir dari pengujian sondir ini dibuat dengan menggambarkan variasi tahanan ujung ( $q_c$ ) dengan gesekan selimut ( $f_s$ ) terhadap kedalamannya. Bila hasil sondir diperlukan untuk mendapatkan daya dukung tiang, maka diperlukan harga kumulatif gesekan (jumlah hambatan lekat), yaitu dengan menjumlahkan harga gesekan selimut terhadap kedalaman, sehingga pada kedalaman yang ditinjau dapat diperoleh gesekan total yang dapat digunakan untuk menghitung gesekan pada kulit tiang.

Besaran gesekan kumulatif (total friction) diadaptasikan dengan sebutan jumlah hambatan lekat (JHL). Bila hasil sondir digunakan untuk klasifikasi tanah, maka cara pelaporan hasil sondir yang diperlukan adalah menggambarkan tahanan ujung ( $q_c$ ), gesekan selimut ( $f_s$ ) dan ratio gesekan ( $fR$ ) terhadap kedalaman tanah.

#### **2.1.4 Standard Penetration Test (SPT)**

Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Metode SPT merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 450 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63, 5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai  $N$ .

Tujuan dari percobaan SPT ini adalah untuk menentukan kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung sehingga diketahui jenis tanah dan ketebalan tiap-tiap lapisan kedalaman tanah dan untuk memperoleh data yang kualitatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasa sulit diambil sampelnya. Percobaan SPT ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan SPT yang dipergunakan seperti : mesin bor, batang bor, split spoon sampler, hammer, dan lain – lain.
2. Letakkan dengan baik penyanggah tempat bergantungnya beban penumbuk.

3. Lakukan pengeboran sampai kedalaman testing, lubang dibersihkan dari kotoran hasil pengeboran dari tabung segera dipasangkan pada bagian dasar lubang bor.
4. Berikan tanda pada batang peluncur setiap 15 cm, dengan total 45 cm.
5. Dengan pertolongan mesin bor, tumbuklah batang bor ini dengan pukulan palu seberat 63,5 kg dan ketinggian jatuh 76 cm hingga kedalaman tersebut, dicatat jumlah pukulan untuk memasukkan penetrasi setiap 15 cm (N value).  
 Contoh :       $N_1 = 10$  pukulan/15 cm  
                    $N_2 = 5$  pukulan/15 cm  
                    $N_3 = 8$  pukulan/15 cm
6. Maka total jumlah pukulan adalah jumlah  $N_2$  dengan  $N_3$  adalah  $5 + 8 = 13$  pukulan = nilai N.  $N_1$  tidak diperhitungkan karena dianggap 15 cm pukulan pertama merupakan sisa kotoran pengeboran yang tertinggal pada dasar lubang bor, sehingga perlu dibersihkan untuk memperkecil efisiensi gangguan.
7. Hasil pengambilan contoh tanah dari tabung tersebut dibawa ke permukaan dan dibuka. Gambarkan contoh jenis - jenis tanah yang meliputi komposisi, struktur, konsistensi, warna dan kemudian masukkan ke dalam botol tanpa dipadatkan atau kedalaman plastik, lalu ke core box.
8. Pengujian dihentikan bila nilai  $SPT \geq 50$  untuk 4x interval.

## **2.2 Pondasi**

Pondasi dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya keruntuhan geser tanah dan differential settlement pada sistem strukturnya.

### **2.2.1 Tiang Pancang**

Tiang pancang adalah bagian – bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan / atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban – beban permukaan ke tingkat – tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1993).

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya

dukung (*bearing capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam (Sardjono HS, 1996).

Tiang pancang berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban – beban dari konstruksi di atasnya (*uper structure*) kelapisan tanah. Dalam pelaksanaan pemancangan, pada umumnya dipancang tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancang miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya - gaya horizontal yang bekerja. Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga, dimana terdapat tekanan kesamping dari kapal dan perahu.

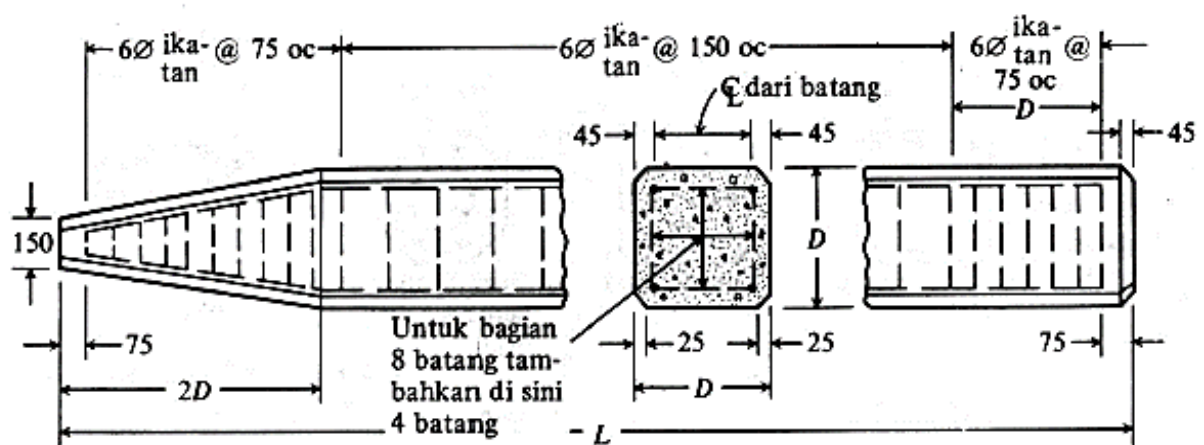
Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya. Tiang pancang pada umumnya digunakan :

1. Untuk membawa beban – beban konstruksi di atas tanah, ke dalam atau melalui sebuah lapisan tanah. Di dalam hal ini beban vertikal dan beban lateral dapat terlihat.
2. Untuk menahan gaya desakan ke atas, atau gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bawah bidang batas air jenuh atau untuk kaki – kaki menara terhadap guling.
3. Memampatkan endapan tak berkohesi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
4. Mengontrol penurunan bila kaki – kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah tepi atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
5. Membuat tanah di bawah pondasi mesin menjadi kaku untuk mengontrol amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari sistem tersebut.
6. Sebagai faktor keamanan tambahan di bawah tumpuan jembatan dan / atau pir (tiang), khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
7. Dalam konstruksi lepas pantai untuk meneruskan beban – beban di atas permukaan air melalui air dan ke dalam tanah yang mendasari air tersebut. Hal seperti ini adalah mengenai tiang pancang yang ditanamkan sebagian dan yang terpengaruh baik oleh beban vertikal (dan tekuk) maupun beban lateral (Bowles, 1993).
8. Tiang pancang seringkali digunakan untuk mengontrol pergerakan tanah

### 2.2.2 Tiang pancang beton

Tiang pancang jenis ini terbuat dari beton seperti biasanya. Salah satu jenis tiang pancang beton adalah *Precast Reinforced Concrete Pile*. *Precast Reinforced Concrete Pile* adalah tiang pancang beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting) yang setelah cukup keras kemudian diangkat dan dipancangkan. Karena tegangan tarik beton kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri beton besar, maka tiang pancang ini harus diberikan penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan.

Tiang pancang ini dapat memikul beban yang lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiang, hal ini tergantung pada jenis beton dan dimensinya. *Precast Reinforced Concrete Pile* penampangnya dapat berupa lingkaran, segi empat, segi delapan dapat dilihat pada (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Tiang pancang beton precast concrete pile (Bowles, 1991)

### 2.3 Pembebanan Pada Struktur Bangunan Gedung

Besar dan macam beban yang bekerja pada struktur sangat tergantung dari jenis struktur. Berikut ini akan disajikan jenis-jenis beban, data beban serta faktor-faktor dan kombinasi pembebanan sebagai dasar acuan bagi perhitungan struktur.

#### 1. Beban mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang bekerja akibat gravitasi yang bekerja tetap pada posisinya secara terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur

didirikan. Yang termasuk beban mati adalah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

2. Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan barang-barang yang dapat berpindah, mesin dan peralatan lain yang dapat digantikan selama umur gedung.

3. Beban gempa (*Earthquake Load*)

Besarnya beban gempa dasar nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI – 03 – 1726 – 2002), dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} \times W_i \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

V : beban gempa dasar nominal (beban gempa rencana)

W<sub>i</sub> : kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C : faktor respons gempa, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur (Gambar 2)

I : faktor keutamaan struktur

R : faktor reduksi gempa

Tabel 2.1. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Tabel 2.2. Parameter daktilitas struktur gedung

Taraf kinerja struktur gedung	$\mu$	R pers.( $\phi$ )
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
5,0	8,0	
Daktail penuh	5,3	8,5

Karena besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, maka perlu dihitung berat dari masing – masing lantai bangunan. Berat dari bangunan dapat berupa beban mati yang terdiri dari berat sendiri material-material konstruksi dan elemen-elemen struktur, serta beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan. Karena kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan beban hidup yang bekerja penuh pada bangunan adalah kecil, maka beban hidup yang bekerja dapat direduksi besarnya.

Berdasarkan standar pembebanan yang berlaku di Indonesia, untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa pada struktur bangunan gedung, beban hidup yang bekerja dapat dikalikan dengan faktor reduksi sebesar 0,3.

a) Faktor Respons Gempa (C)

Setelah dihitung waktu getar dari struktur bangunan pada arah – X ( $T_x$ ) dan arah – Y ( $T_y$ ), maka harga dari Faktor Respons Gempa (C) dapat ditentukan dari Diagram spektrum respons gempa rencana (Gambar 2.5) sesuai dengan wilayah gempa dan kondisi tanahnya untuk waktu getar alami fundamental. Lokasi gedung hotel yang berada di Kota Manado – Sulawesi Utara berada pada zona gempa 5 (Gambar 2.4) dan termasuk jenis tanah sedang dengan elastik penuh, maka digunakan spektrum respon untuk wilayah gempa 5 (Gambar 2).

Faktor respon gempa C ditentukan oleh persamaan – persamaan berikut :

$$\text{Untuk } T \leq T_c : C = A_m \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Untuk } T > T_c : C = \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :

$$A_m = 2,5 A_o \dots\dots\dots (6)$$

$$A_r = A_m \cdot T_c \dots\dots\dots (7)$$

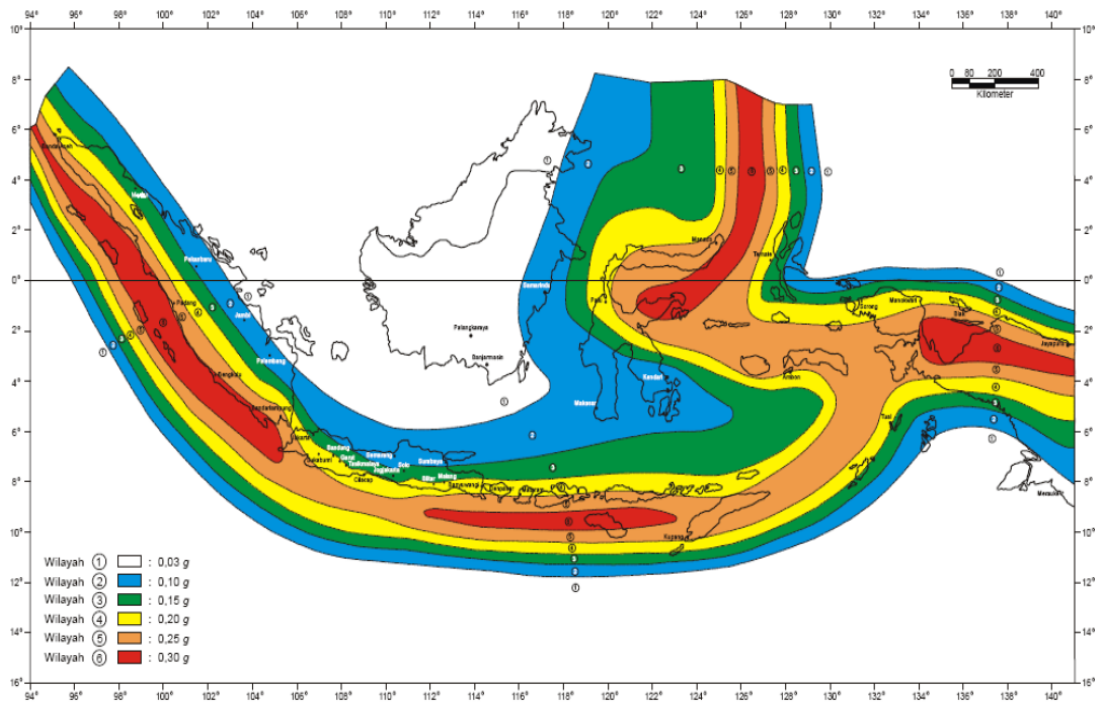
Dalam Tabel 1 dan 2, nilai  $A_o$ ,  $A_m$  dan  $A_r$  dicantumkan untuk masing – masing wilayah gempa dan jenis tanah.

Tabel 2.3. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan muka tanah

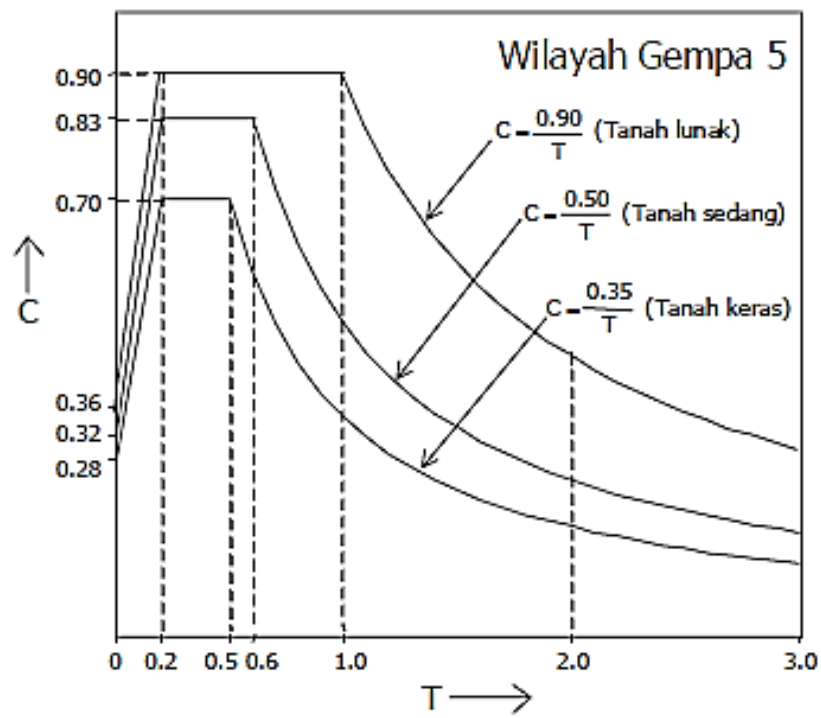
Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah $A_o$ ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Tabel 2.4. Spektrum respon gempa rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det.		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det.		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ det.	
	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95



Gambar 2.4. Wilayah Gempa Indonesia



Gambar 2.5. Respons spektrum gempa rencana untuk wilayah gempa 5



### 2.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang

Kapasitas Tiang (*pile capacity*) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban. Salah satu cara menentukan kapasitas tiang dapat dilakukan dengan cara :

1. Kapasitas tiang secara statis dengan menggunakan sifat-sifat teknis tanah dari Teori Mekanika Tanah

#### 2.4.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Hasil Cone Penetration Test (CPT)

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data hasil *Cone Penetration Test* / Sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Meyerhoff. Daya dukung ultimit pondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \dots \dots \dots (8)$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

$Q_c$  = Tahanan ujung sondir.

$A_p$  = Luas penampang tiang.

$JHL$  = Jumlah hambatan lekat.

$K$  = Keliling tiang

#### 2.4.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Hasil Standart Penetration Test (SPT)

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Broms. Dengan melihat grafik SPT terlampir, diasumsikan sendiri tanah dibagi menjadi beberapa lapisan dimana dalam setiap lapisan memiliki kecenderungan nilai  $N$  yang sama. Semakin banyak pembagian lapisan maka ketelitian untuk mendapatkan nilai  $N$  rerata menjadi semakin akurat.

##### 1. Koreksi Nilai $N$ (SPT)

Data SPT yang ada kemudian dikoreksi terhadap tekanan overburden yaitu tekanan tanah terhadap dinding tiang, persamaan koreksi overburden yang digunakan adalah :

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{Po'}{Pr}} \dots\dots\dots(9)$$

Jika  $Z_c \leq 20$  . D Maka,  $Po' = \gamma \cdot Z$  .....(10)

Jika  $Z > Z_c$  Maka  $Po' = \gamma \cdot Z_c$  .....(11)

Sehingga nilai N dari data SPT menjadi :

$$N' = C_N \cdot N \dots\dots\dots(12)$$

Jika  $N > 15$  maka nilai N dikoreksi lagi menjadi :

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2} \cdot (N-15) \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

$C_N$  = nilai koreksi overburden

$Po'$  = tekanan overburden efektif (KN/m<sup>2</sup>)

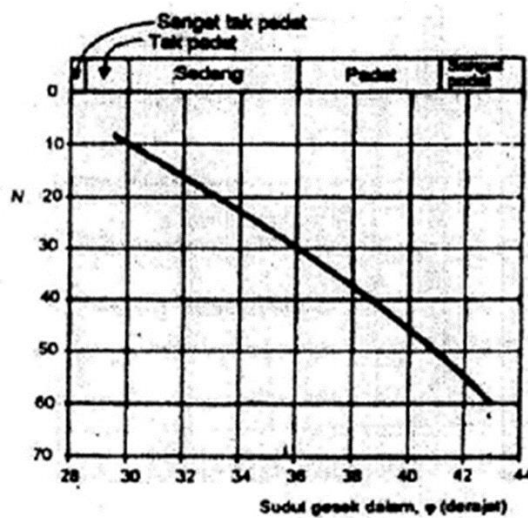
$Pr$  = tegangan efektif referensi = 100 KN/m<sup>2</sup>.

$Z_c$  = kedalaman kritis

$Z$  = kedalaman yang ditinjau

**2. Hubungan N dan Sudut Geser**

Untuk menentukan jenis kepadatan tanah dan sudut gesek ( $\phi'$ ) yang didasarkan pada nilai N dapat dilakukan dengan cara grafis dengan memplot nilai N kedalam gambar hubungan antara angka penetrasi standard dengan sudut geser dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir (Das, 1985).



Gambar 2.6. Grafik Hubungan  $\phi$  dan N-SPT

### 3. Kapasitas Dukung Ijin Tiang Terhadap Gaya Desak ( $Q_a$ )

Perhitungan kapasitas dukung tiang terhadap gaya desak didasarkan pada Metode Broms yang didasarkan pada nilai-nilai pendekatan dari  $\delta$  dan  $K_d$ .  $K_d$  adalah koefisien tekanan tanah yang bergantung pada kondisi tanah. Nilai  $K_d$  untuk tanah lunak = 1, tanah sedang = 1.50, sedangkan tanah padat = 2.

Das (1966) mengusulkan nilai-nilai  $\delta$  yang dapat digunakan dalam menghitung tahanan gesek seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut. Pada tabel ini bahan tiang yang terbuat dari beton dan kayu, nilai  $\delta$  ditentukan dari hubungan sudut gesek dari hubungan sudut gesek dalam efektif tanah ( $\phi'$ ).

Dari nilai-nilai dalam tabel tersebut,  $K_d$  untuk tg d akan berkisar Antara 0,3 untuk pasir longgar dan 1 untuk pasir padat, Broms menyarankan hubungan  $K_d$  dengan tipe bahan tiang untuk tiang di dalam tanah granuler, seperti pada tabel berikut :

### 4. Tahanan gesek ( $Q_s$ )

Dalam pengamatan Vesic menunjukkan bahwa tahanan gesek dinding akan mencapai maksimum pada penetrasi tiang yang berkisar antara  $10d - 20d$ , sehingga nilai  $f_s$  maksimum kemungkinan tidak akan aman jika kedalaman tiang lebih besar dari  $20D$ . Oleh sebab itu, tahanan gesek yang digunakan pada tiang dibatasi maksimum  $107 \text{ KN/m}^2$  (Tomlinson, 1977).

Daya Dukung Gesek (*Friction Bearing Capacity*) Teori Brom adalah sebagai berikut :

$$Q_s = \sum A_s \cdot K_d \cdot \tan \delta \cdot P_o'' \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :

$Q_s$  = tahanan gesek ultimit tiang (kN)

$A_s$  = luas selimut tiang =  $\pi \cdot d \cdot h$

$H$  = kedalaman yang ditinjau tiap ketebalan tanah

$K_d$  = koefisien tekanan tanah yang bergantung pada kondisi tanah

$\delta$  = sudut gesek dinding efektif antara dinding tiang dan tanah

$P_o''$  = tekanan vertikal efektif rerata di sepanjang tiang

Nilai  $\delta$  untuk tiang beton Mayerhof mengusulkan  $\delta = 0.75 \phi'$

## 5. Tahanan Ujung Ultimit (Qb)

Tahanan ujung ultimit (Qb) untuk tiang pancang menurut Broms adalah :

$$Q_b = A_b \cdot P_o \cdot N_q \dots \dots \dots (15)$$

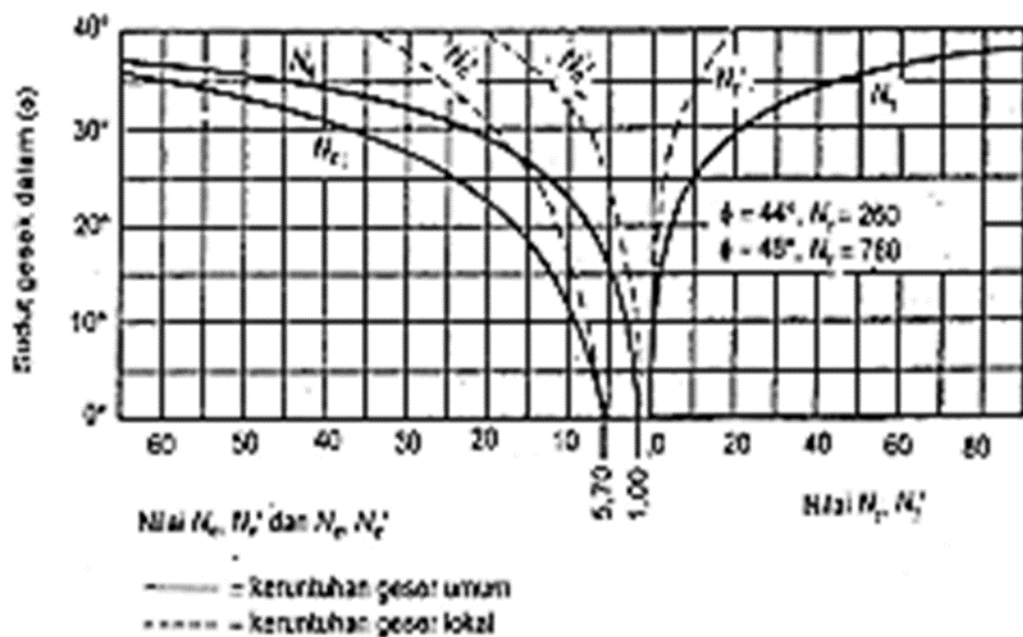
Dimana :

Qb = tahanan ujung ultimit

Po = tekanan vertikal efektif pada ujung tiang

Nq = faktor kapasitas dukung Terzaqhi (Sudut Geser Ujung Tiang)

Ab = luas dasar tiang pancang



Gambar 2.7. Grafik Faktor Kapasitas Daya Dukung Terzaqhi

## 6. Tahanan Ujung ijin (Q ijin)

Untuk menghitung tahanan ujung ijin tiang menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_{\text{ijin}} = (Q_b/SF1) + (Q_s/SF2) - W_p \dots \dots \dots (16)$$

Dimana :

Qb = Tahanan Ujung Ultimit

Qs = Tahanan Gesek

SF1 = Faktor Keamanan = 3

SF2 = Faktor Keamanan = 2

Wp = Berat Tiang Pancang

### 7. Tahanan Ujung Terpusat Tiang ( $R_u$ )

Daya dukung tiang pancang pada tanah pondasi diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R_u = (q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i) \cdot n \dots\dots\dots(17)$$

$R_u$  = daya dukung batas pada tanah pondasi

$Q_d$  = daya dukung terpusat tiang

$A$  = Luas ujung tiang

$U$  = Keliling penampang tiang

$l_i$  = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

$f_i$  = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

Perhitungan nilai  $N$  rata-rata pada ujung tiang :

$$N' = (N_1 + N_2) / 2 \dots\dots\dots(18)$$

$N'$  = Harga  $N$  rata-rata untuk perencanaan pondasi tiang

$N_1$  = Harga  $N$  pada ujung tiang

$N_2$  = harga rata – rata  $N$  pada jarak  $4D$  dari ujung tiang

### 8. Tahanan Geser Tiang ( $f_i$ )

Besarnya gaya geser maksimum ( $f_i$ ) dinding tiang diperkirakan dari tabel 6.7 (Teknik Pondasi dan Mekanika Tanah, Suyono) berdasarkan macam tiang dan sifat tanah pondasi. Untuk jenis tiang pracetak dengan ketentuan sebagai berikut :

Tabel 2.5. Intensitas gaya geser dinding tiang ( $f_i$ )

Jenis tanah pondasi	Tiang pracetak
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} \leq 10$
Tanah kohesif	$c$ atau $N \leq 12$

Gaya geser maksimum dinding tiang ( $f_i$ )

$$f_i = U \cdot \sum l_i \cdot f_i \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

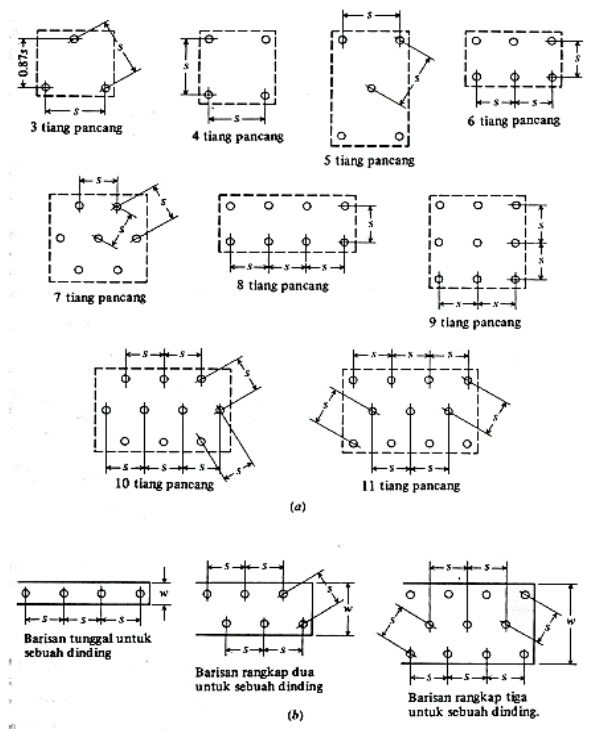
$N$  = Nilai N-SPT rata - rata pada kedalaman yang ditinjau

$c$  = 0,5  $q_u$  (kohesi tanah disekitar tiang)

**2.5 Tiang Pancang Kelompok (Pile Group)**

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali didapatkan tiang pancang yang berdiri sendiri (*Single Pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang pancang dalam bentuk kelompok (*Pile Group*) seperti dalam Gambar 2.8. Untuk mempersatukan tiang-tiang pancang tersebut dalam satu kelompok tiang biasanya diatas tiang tersebut diberi poer (footing). Dalam perhitungan poer dianggap/dibuat kaku sempurna, sehingga :

1. Bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan, maka setelah penurunan bidang poer tetap merupakan bidang datar.
2. Gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang.



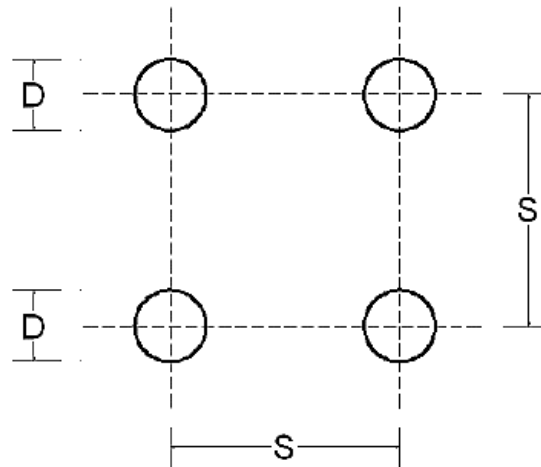
Gambar 2.8. Pola-pola kelompok tiang pancang khusus :  
 (a) Untuk kaki tunggal, (b) Untuk dinding pondasi (Bowles, 1991)

### 2.5.1 Jarak antar tiang dalam kelompok

Berdasarkan pada perhitungan disyaratkan :

$$S \geq 2,5 D \dots\dots\dots (20)$$

$$S \geq 3 D \dots\dots\dots (21)$$



Gambar 2.9. Syarat jarak antar tiang dslsm kelompok

Dimana :

S = Jarak masing-masing.

D = Diameter tiang

Biasanya jarak antara 2 tiang dalam kelompok disyaratkan minimum 0,60 m dan maximum 2,00 m. Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

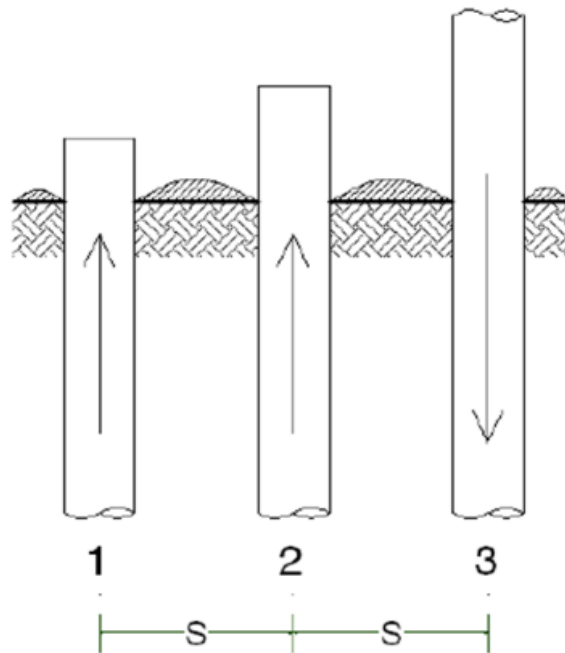
1. Bila  $S < 2,5 D$

Pada pemancangan tiang no. 3 (Gambar 2.8) akan menyebabkan :

- a) Kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipancang terlalu berdekatan.
- b) Terangkatnya tiang-tiang di sekitarnya yang telah dipancang lebih dahulu.

2. Bila  $S > 3 D$

Apabila  $S > 3 D$  maka tidak ekonomis, karena akan memperbesar ukuran/dimensi dari poer (*footing*). Pada perencanaan pondasi tiang pancang biasanya setelah jumlah tiang pancang dan jarak antara tiang-tiang pancang yang diperlukan kita tentukan, maka kita dapat menentukan luas poer yang diperlukan untuk tiap-tiap kolom portal.



Gambar 2.10. Pengaruh tiang akibat pemancangan

### 2.5.2 Daya Dukung Ijin Kelompok Tiang

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi. Effisiensi tiang pancang dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$$\eta = 1 - \frac{\phi}{90} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right] \dots\dots\dots (22)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{d}{s} \right) \dots\dots\dots (23)$$

Dimana :

- s = jarak antar tiang
- d = diameter tiang
- $\phi$  = arctan (d/s), dalam derajat
- n = jumlah tiang dalam 1 kolom
- m = jumlah tiang dalam 1 baris
- $\eta$  = efisiensi



Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai :

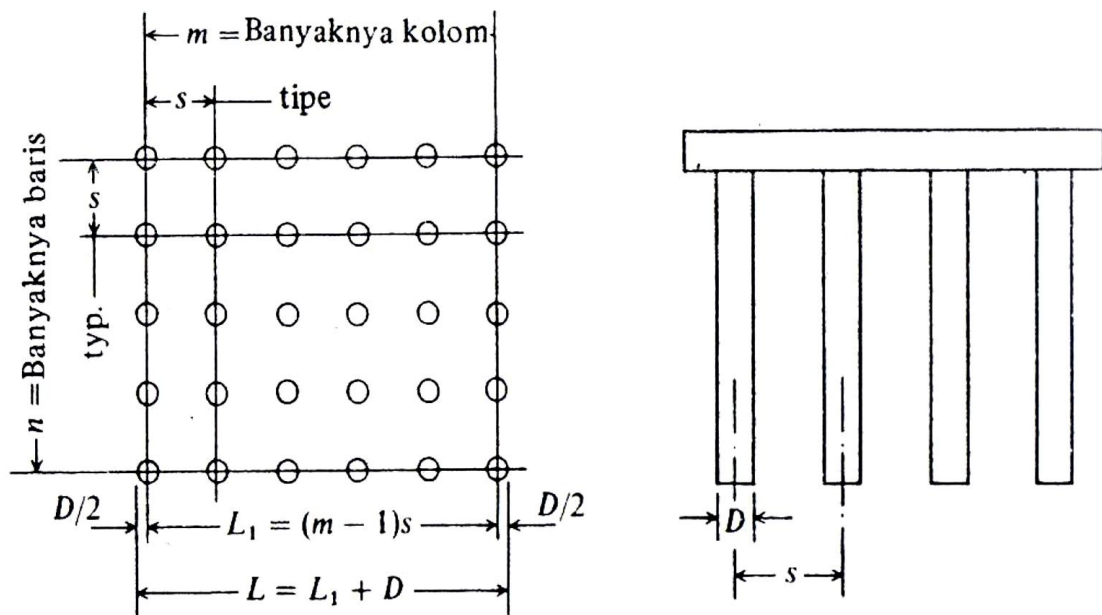
$$E_g = Q_g / (n \cdot Q_u) \dots \dots \dots (24)$$

$E_g$  = efisiensi kelompok tiang

$Q_g$  = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

$Q_u$  = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan

$n$  = jumlah tiang dalam kelompok



Gambar 2.11. Efisiensi Tiang Pancang Kelompok

### 2.5.3 Gaya Lateral Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang sering harus dirancang dengan memperhitungkan beban-beban horisontal dan lateral, seperti beban angin, tekanan tanah lateral yang harus didukung pondasi tiang bergantung pada rangka bangunan yang mengirim gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah. Jika tiang dipasang vertikal dan dirancang untuk mendukung beban horisontal yang cukup besar, maka bagian atas dari tanah pendukung harus mampu menahan gaya tersebut, sehingga tiang-tiang tidak mengalami gerakan lateral yang berlebihan.

Gaya lateral yang terjadi pada tiang bergantung pada kekakuan atau tipe tiang, macam tanah, penanaman ujung tiang kedalam pelat penutup kepala tiang, sifat gaya-gaya dan besar defleksi. Jika gaya lateral yang harus didukung tiang sangat besar, maka dapat digunakan tiang miring.

1. Perhitungan Tekanan Tanah Lateral Pada Tiang Group

Perhitungan menurut Foundation of Structure oleh Dun Hanma, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman  $(L_d) = (1/4 - 1/3) \cdot L_p$ .....(25)

2. Perhitungan Koefisien Tanah Pasif ( $K_p$ )

Perhitungan koefisien tanah pasif menggunakan rumus tersebut :

$$K_p = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi) \dots\dots\dots(26)$$

Dimana :

$K_p$  = Koefisien tanah pasif

$\phi$  = Sudut geser tanah

3. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif statis sepanjang kedalaman dapat dihitung dengan rumus tersebut :

$$P_p = K_p \cdot \gamma \cdot l_i \cdot B \dots\dots\dots(27)$$

Dimana :

$P_p$  = Tekanan tanah pasif statis sepanjang kedalaman tanah

$K_p$  = Koefisien tanah pasif

$\gamma$  = berat volume tanah

$l_i$  = kedalaman tinjauan

$B$  = lebar pile cap

4. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif Efektif Yang Terjadi

Tekanan tanah pasif efektif dapat dihitung dengan rumus tersebut :

$$P_{pE} = P_p \cdot (l_i / L_d) \dots\dots\dots(28)$$

Dimana :

$P_{pE}$  = Tekanan Tanah Pasif Efektif

$P_p$  = Tekanan tanah pasif statis sepanjang kedalaman tanah

$l_i$  = kedalaman tinjauan sampai kedalaman titik jepitan

$L_d$  = kedalaman titik jepitan

5. Perhitungan Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang

Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus tersebut :

$$P = \frac{1}{2} \cdot (PpE \cdot li) \dots\dots\dots(29)$$

Dimana :

P = Gaya lateral

PpE = Tekanan Tanah Pasif Efektif

li = kedalaman tinjauan

6. Perhitungan Gaya Lateral yang diijinkan :

$$P_{tot} \cdot L_z = P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + \dots + \dots\dots\dots(30)$$

Dimana :

P<sub>tot</sub> = Total gaya lateral yang terjadi pada tiang pancang

L<sub>z</sub> = Titik tangkap gaya lateral

#### 2.5.4 Perencanaan Kepala Tiang Pancang (Pilecap)

Pile cap atau penutup tiang adalah salah satu bagian struktur bawah yang berfungsi sebagai pengikat untuk pondasi tiang. Perencanaan pile cap terdiri dari penentuan dimensi dan tulangan pile cap.

a. Pelindung Tulangan Beton

Selimut beton berfungsi memberi perlindungan terhadap tulangan dari kondisi luar. Penentuan ketebalan selimut beton untuk pelat satu arah ditentukan berdasarkan SNI-03-2847-2002 Pasal 9.7.1 Pelindung tulangan beton yang berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah dengan tulangan D16mm sesuai table berikut :

Tabel 2.6. Tebal Selimut Beton Minimum

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
Batang D-19 hingga D-56.....	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil .....	40

## b. Tebal efektif

Tebal efektif pelat ( $d$ ) ditentukan dengan tebal pelat ( $h$ ) dikurangi selimut beton ( $p$ ) dikurang setengah diameter tulangan. Maka tebal efektif pelat dapat ditentukan persamaan dibawah ini :

$$d = h - p - 1/2 \Phi \dots\dots\dots(31)$$

c. Persyaratan pembatasan rasio tulangan ( $\rho_{min}$  dan  $\rho_{max}$ )

Rasio digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan struktur beton bertulang. Rasio tulangan pelat beton bertulang sesuai ketentuan SNI-03-2847-2002 yaitu :

$$\rho_{min} = 1.4/f_y \dots\dots\dots(32)$$

$$\rho_b = ((0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c)/f_y) \cdot (600/(600+f_y)) \dots\dots\dots(33)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots(34)$$

d. Perhitungan momen nominal ( $M_n$ )

Momen nominal ( $M_n$ ) merupakan momen yang digunakan untuk perencanaan tulangan. momen nominal diambil sebesar 80% dari momen ultimate ( $M_u$ ) ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$M_n = M_u \cdot \phi \quad \text{dimana } \phi = 0.8 \dots\dots\dots(35)$$

e. Perhitungan koefisien ketahanan ( $R_n$ )

Koefisien ketahanan ( $R_n$ ) ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2) \dots\dots\dots(36)$$

f. Perhitungan rasio tulangan ( $\rho$ )

Rasio tulangan ( $\rho$ ) ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \dots\dots\dots(37)$$

$$m = f_y / (0,85 \cdot f'_c) \dots\dots\dots(38)$$

## g. Kontrol rasio tulangan

Kontrol rasio tulangan digunakan untuk menentukan rasio tulangan yang akan digunakan agar kebutuhan tulangan yang direncanakan ekonomis dan efisien. Kontrol rasio tulangan ditentukan dengan syarat berikut ini :

h.  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ 

## i. Menentukan tebal pile cap tebal pile cap akan dipilih sedemikian agar dapat memenuhi ketentuan yakni :

$$\phi V_c > V_u \text{ .....(39)}$$

Dimana :

$V_u$  = beban aksial pada kolom

$$V_c = \frac{1}{3} \times \phi \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \text{ .....(40)}$$

$$b_o = 2 \times \{(b + h) + (2 \times d)\} \text{ .....(41)}$$

### 2.5.5 Perencanaan Tulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan maupun pengaruh pemukulan pada saat pemancangan. Penulangan tiang berdasarkan metode pengangkatan etr bagi dua yaitu berdasarkan pengangkatan tiang lurus, dan berdasarkan pengangkatan miring.

#### 1. Momen Pengangkatan Lurus

$$M_1 = 1/2 \cdot q \cdot a^2 \text{ .....(42)}$$

$$M_2 = 1/8 \cdot q \cdot (L - 2 \cdot a)^2 - 1/2 \cdot q \cdot a^2 \text{ .....(43)}$$

#### 2. Momen Pengangkatan Miring

$$M_1 = 1/2 \cdot q \cdot a^2 \text{ .....(44)}$$

$$M_2 = 1/8 \cdot q \cdot (L - 2 \cdot a)^2 - 1/2 \cdot q \cdot a^2 \text{ .....(45)}$$

#### 3. Rasio Tulangan

$$F_{\max} = \beta \cdot 450 / (600 + f_y) \text{ .....(46)}$$

$$F_{\min} = 1,4 \cdot R_1 \text{ .....(47)}$$

$$K_{\max} = F_{\max} \cdot (1 - (F_{\max} / 2)) \text{ .....(48)}$$

$$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_1) \text{ .....(49)}$$

$$F = 1 - \sqrt{(1-2K)} \text{ .....(50)}$$

#### 4. Kebutuhan Tulangan Tiang Pancang

$$A_{s1} = F \cdot b \cdot d \cdot R_1 / f_y \text{ .....(51)}$$