

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan dalam bidang transportasi darat baik konstruksi utama maupun sarana pendukung lainnya merupakan salah satu program utama pemerintah untuk mendorong pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Pertumbuhan ekonomi yang disertai peningkatan jumlah penduduk, peningkatan jumlah kendaraan, peningkatan lalu lintas angkutan barang/jasa dan sebagainya, perlu diimbangi dengan penambahan dan perbaikan sarana prasarana.

Kabupaten Nias Utara dikenal sebagai salah satu daerah dari 33 Kabupaten di Provinsi Sumatera Utara. Kondisi lahan curam dan pegunungan di Kabupaten Nias Utara membuat banyak bahu jalan dan badan jalan yang mengalami longsor. Pemerintah kabupaten Nias Utara memiliki daerah rawan longsor pada beberapa ruas jalan kabupaten, terutama pada jalan di dataran tinggi seperti di wilayah Kecamatan Sitoluori. Geografis kecamatan sitoluori terletak pada  $1^{\circ}23'18''$  LU dan  $97^{\circ}27'34''$  LT. Jalan tersebut melalui punggung bukit dengan jurang ditepi kiri dan kanan. Rawan longsor disebabkan tergerusnya daerah milik jalan (DMJ) oleh kikisan air sungai atau saluran drainase saat musim hujan atau curah hujan tinggi, sehingga menyebabkan erosi atau setengah dari badan jalan tersebut amblas. Terjadinya kelongsoran pada ruas jalan kabupaten ini tentu sangatlah berakibat pada kelancaran lalu lintas jalur transportasi, perekonomian masyarakat bahkan berdampak terhadap sosial dan keamanan masyarakat.

Longsoran pada umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya, karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah (Syahwaner, et al., 2019). Kelongsoran lereng terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng, penurunan kuat geser tanah ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Oleh karena itu diperlukan suatu struktur tembok penahan yang berfungsi untuk menahan tanah longsor tersebut.

Penentuan tipe pondasi yang relevan dengan beban dan kondisi lapisan tanah di bawahnya. Tembok penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Pembangunan tembok penahan tanah di kecamatan situluori menggunakan pondasi utama yaitu pondasi *boredpile*. Jenis pondasi yang digunakan ini dipilih berdasarkan kondisi lapisan tanah yang ada di daerah tersebut. Pondasi *boredpile* yang digunakan untuk memikul tembok penahan tanah perlu dilakukan Analisa kapasitasnya supaya dapat diketahui apakah pondasi tersebut aman untuk digunakan.

Analisis kapasitas pondasi yang aman terhadap beban-beban yang bekerja di atasnya. Pondasi merupakan struktur bagian bawah dari konstruksi bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi sebagai pemikul beban bangunan dari atas dan akan menyalurkannya ke dalam tanah. Pondasi yang kuat adalah pondasi yang mampu menahan beban di atasnya dan menyalurkan beban ke

dalam tanah serta mampu untuk menahan gaya-gaya yang berasal dari luar seperti angin maupun gempa bumi(Hulu, 2015).

Skripsi ini menguraikan analisis pondasi yang memikul beban tembok penahan tanah dan beban tanah yang ada di belakang tembok penahan. Karakteristik tanah di belakang tembok penahan ditentukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis pondasi menggunakan data sondir yang diperoleh dari lapangan. Hasil yang diharapkan adalah analisis kapasitas pondasi *boredpile* yang mampu menahan beban di atasnya dan gaya-gaya yang bekerja pada tembok penahan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Penentuan tipe pondasi yang relevan dengan beban dan kondisi lapisan tanah di bawahnya.
2. Analisis kapasitas pondasi yang aman terhadap beban-beban yang bekerja di atasnya.

## **1.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan-batasan permasalahan dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Analisis tembok penahan digunakan untuk menentukan pembebanan pada pondasi *boredpile* tiang kelompok.
2. Menggunakan Metode Rankine, Mayerhoff, Converse-Labarre
3. Sifat fisik tanah di belakang tembok penahan tanah diuji di laboratorium.

4. Kapasitas tiang kelompok pada *boredpile* ditentukan berdasarkan data sondir.
5. Keamanan pondasi *boredpile* ditentukan berdasarkan beban-beban dari tembok penahan tanah.

#### **1.4 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah:

1. Mengetahui daya dukung tiang kelompok pada pondasi *boredpile*.
2. Mengetahui daya dukung tiang tunggal pada pondasi *boredpile*.

#### **1.5 Manfaat Penulisan**

Manfaat dari penulisan skripsi ini, antara lain:

1. Sebagai referensi untuk merencanakan tembok penahan tanah yang ditopang oleh pondasi *boredpile*.
2. Sebagai referensi untuk merencanakan pondasi *boredpile* yang menopang tembok penahan tanah.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pondasi

Menurut Gunawan (1983), pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain tanpa mengakibatkan terjadi keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah / pondasi yang berlebihan.

Menurut Frick (1980), menyatakan bahwa pondasi merupakan bagian bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah yang menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban hidup dan gaya – gaya luar terhadap gedung seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain – lain.

Menurut Bowles (1997), pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau bebatuan yang terletak dibawahnya.

Fungsi pondasi yaitu:

1. Sebagai kaki bangunan atau alas bangunan
2. Sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat

3. Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan tetap stabil (tetap)

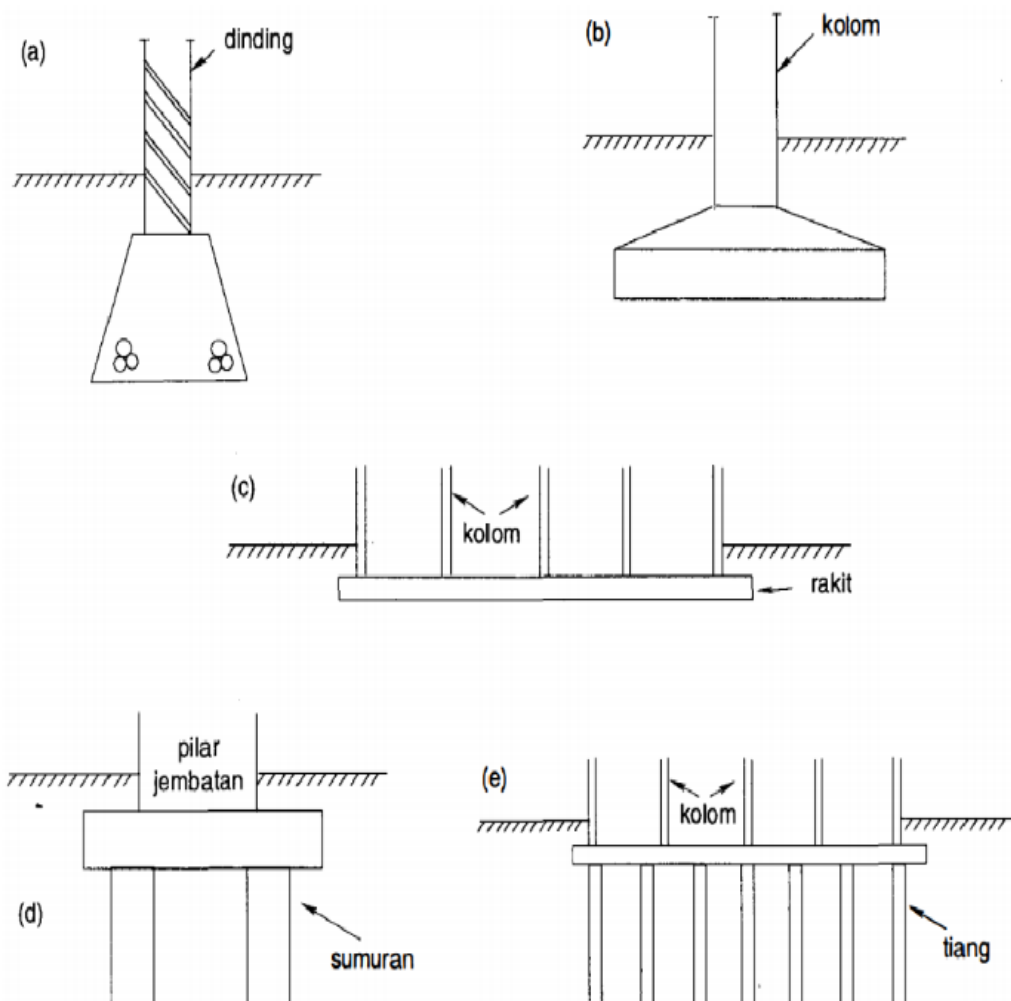
### **2.1.1 Jenis-Jenis Pondasi**

Menurut Zainal&Respati (1995), pondasi menerima beban vertikal dari bangunan di atasnya dan meneruskan ke tanah di bawahnya, maka fungsi dari pondasi adalah memindahkan atau membagi beban bangunan yang ada baik beban mati (beban sendiri dan beban tetap bangunan) maupun beban hidup (beban yang bergerak). Sehingga pondasi merupakan bagian konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah. Dengan memiliki daya dukung yang cukup yaitu lapisan tanah keras.

Menurut Hardiyatmo (2011), pondasi bangunan pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*Shallow Foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*). Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. Di tunjukkan dalam Gambar 2.1.

- a. Pondasi telapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.
- b. Pondasi memanjang adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.

- c. Pondasi rakit (*raft foundation/mat foundation*), adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.
- d. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yang merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam.
- e. Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Demikian pula, bila pondasi bangunan terletak pada tanah timbunan yang cukup tinggi, sehingga bila bangunan diletakkan pada timbunan akan dipengaruhi oleh penurunan yang besar. Bedanya dengan pondasi sumuran adalah pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang.



Gambar 2.1. Macam-macam tipe pondasi  
 Sumber: Hardiyatmo, 1996

### 2.1.2 Dasar-Dasar Penentuan Jenis Pondasi

Pamungkas & Harianti (2013), menyatakan bahwa dalam pemilihan bentuk dan jenis pondasi yang memadai perlu diperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan pekerjaan pondasi tersebut. Ini karena tidak semua jenis pondasi dapat digunakan di semua tempat. Misalnya pemilihan jenis pondasi tiang pancang di tempat padat penduduk tentu tidak tepat walaupun secara teknik cocok dan secara

ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam penentuan jenis pondasi yaitu:

1. Keadaan tanah yang akan dipasang pondasi:
  - a. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2 – 3 meter di bawah permukaan tanah maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi tapak) dan pondasi strauss.
  - b. tanah keras terletak pada kedalaman hingga kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang minipile atau pondasi tiang pancang atau pondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah pondasi.
  - c. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang atau pondasi *boredpile* bilamana tidak akan terjadi penurunan. bila terdapat batu besar pada lapisan tanah, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
  - d. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi kaison terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat.
  - e. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 40 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

2. Batasan–batasan akibat konstruksi di atasnya (*upper structure*)

Kondisi struktur yang berada di atas pondasi juga harus diperhatikan dalam pemilihan jenis pondasi. Kondisi struktur tersebut dipengaruhi oleh fungsi

dan kepentingan suatu bangunan, jenis bahan bangunan yang dipakai (mempengaruhi berat bangunan yang ditanggung pondasi) dan seberapa besar penurunan yang diijinkan terjadi pada pondasi.

### 3. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan merupakan faktor yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana suatu konstruksi tersebut dibangun. Apabila suatu konstruksi direncanakan menggunakan pondasi jenis tiang pancang, tetapi konstruksi terletak pada daerah padat penduduk, maka pada waktu pelaksanaan pemancangan pondasi pasti akan menimbulkan suara yang mengganggu penduduk sekitar.

### 4. Waktu perjalanan

Waktu pelaksanaan pekerjaan pondasi juga harus diperhatikan agar tidak mengganggu kepentingan umum. Pondasi tiang pancang yang membutuhkan banyak alat berat mungkin harus dipertimbangkan kembali apabila dilaksanakan pada jalan raya dalam kota yang sangat padat karena akan menimbulkan kemacetan luar biasa.

### 5. Biaya

Jenis pondasi juga harus mempertimbangan besar anggaran biaya konstruksi yang direncanakan, tetapi harus tetap mengutamakan kekuatan dari pondasi tersebut agar konstruksi yang didukung oleh pondasi tetap berdiri dengan aman. Analisis jenis pondasi yang tepat dan sesuai dengan kondisi tanah juga bisa menekan biaya konstruksi. Misalnya konstruksi struktur pada lokasi dimana kondisi tanah bagus dan cukup kuat bila menggunakan pondasi telapak saja tidak perlu direncanakan menggunakan pondasi tiang. Penggunaan pondasi tiang

pancang jenis precast yang membutuhkan biaya yang tinggi dalam bidang pelaksanaan dan transportasi bisa diganti dengan pondasi tiang yang dicor di tempat dengan spesifikasi pondasi yang sama untuk menekan biaya.

Standar daya dukung tanah menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983 adalah:

1. Tanah keras (lebih dari  $5 \text{ kg/cm}^2$ )
2. Tanah sedang ( $2-5 \text{ kg/cm}^2$ )
3. Tanah lunak ( $0,5-2 \text{ kg/cm}^2$ )
4. Tanah amat lunak ( $0-0,5 \text{ kg/cm}^2$ )

Kriteria daya dukung tanah tersebut dapat ditentukan melalui pengujian secara sederhana. Misal pada tanah berukuran  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  yang diberi beban  $5 \text{ kg}$  tidak akan mengalami penurunan atau amblas maka tanah tersebut digolongkan tanah keras.

Ada tiga kriteria yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yakni:

- a. Pondasi harus ditempatkan dengan tepat, sehingga tidak longsor akibat pengaruh luar
- b. Pondasi harus aman dari kelongsoran daya dukung, dan
- c. Pondasi harus aman dari penurunan yang berlebihan.

### **2.1.3 Pondasi Bored pile(*Boredpile*)**

Pondasi berfungsi untuk meneruskan/mendistribusikan beban dari super struktur ke tanah agar keseluruhan bangunan dapat berdiri kokoh di atas tanah. Sedangkan pondasi bored pile digunakan untuk menjaga kestabilan lereng tembok

penahan tanah termasuk pada pondasi bangunan ringan yang dibangun di atas tanah lunak serta struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar. Pondasi bored pile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m. Pondasi tiang suatu konstruksi yang mampu menahan gaya *orthogonal* ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan.

Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi Sosarodarsono & Nakazawa (1983), perencanaan pondasi *boredpile* mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahap yang meliputi studi kelayakan dan perencanaan teknis, semua itu dilakukan supaya menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman serta ekonomis.

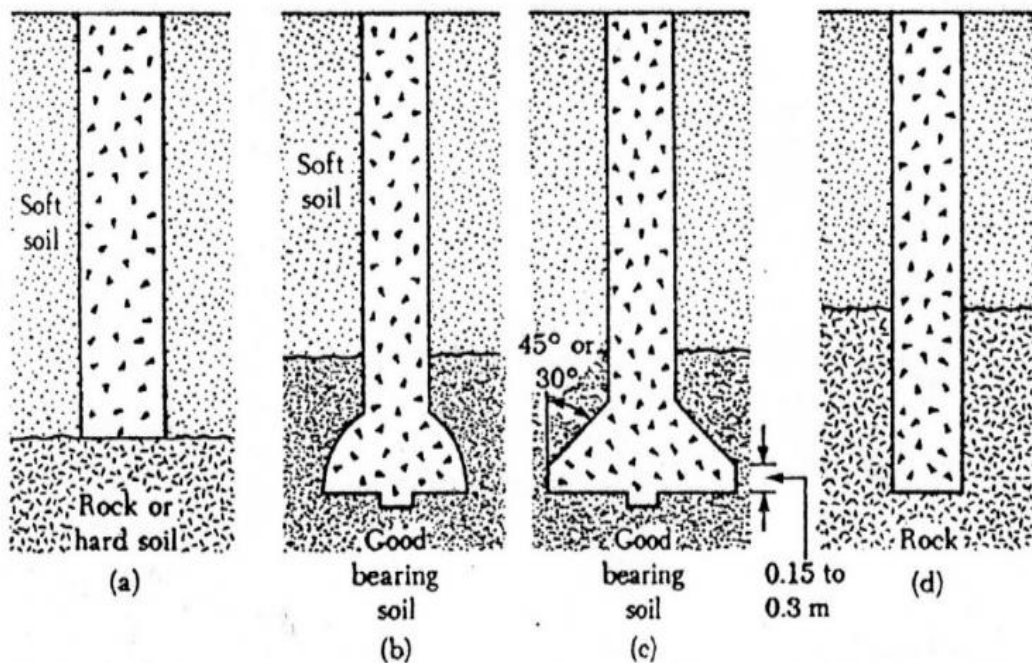
Daya dukung bored pile diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara bored pile dan tanah disekelilingnya. *Boredpile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung *boredpile* yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah

mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan daya dukung ujung tiang.

Beberapa jenis pondasi *boredpile* seperti terlihat pada Gambar 2.2 yaitu:

- a. *Boredpile* lurus untuk tanah keras
- b. *Boredpile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
- c. *Boredpile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium
- d. *Boredpile* lurus untuk tanah berbatu-batuan

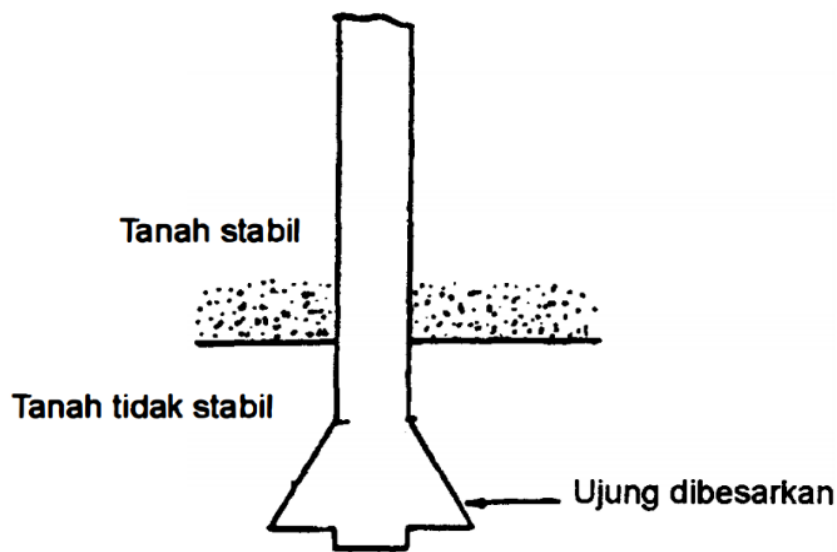


Gambar 2.2. Jenis-jenis pondasi bored pile

Sumber: Prakasa, A. G., & Rijaluddin, A. (2016)

*Boredpile* dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Tiang ini, biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk

membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Pondasi bored pile

*Sumber: Hardiyatmo, 2008*

Keuntungan penggunaan *boredpile*, antara lain:

1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium
4. Tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak

5. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan

Kerugian:

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik
3. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir

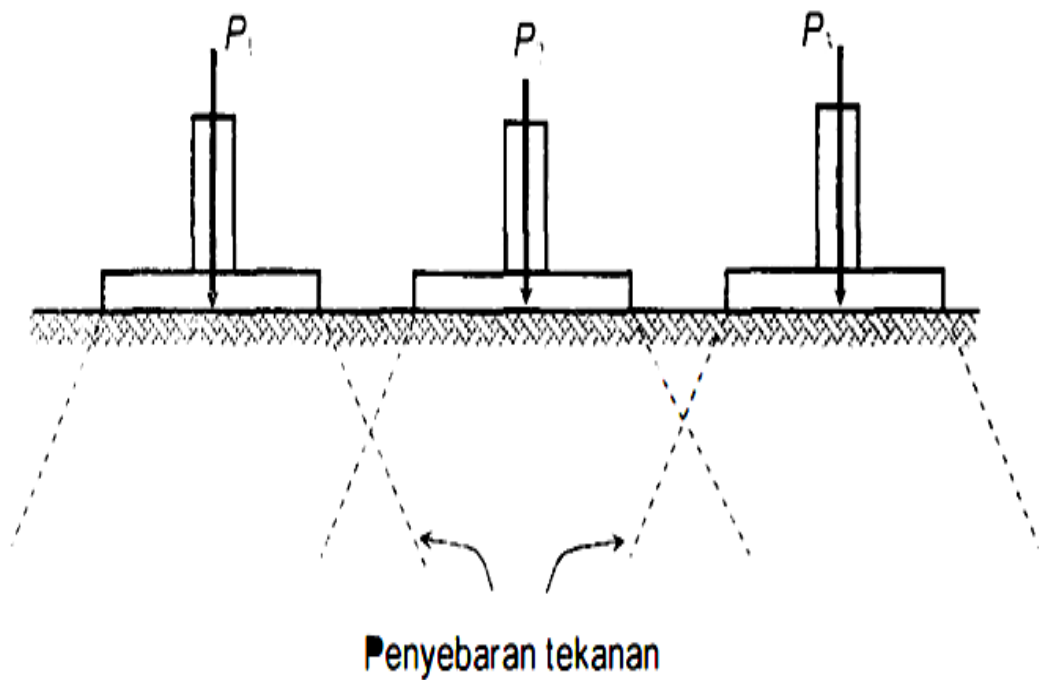
#### **2.1.4 Pondasi pada Tanah Lempung**

Nilai kapasitas dukung ultimit lempung, umumnya tidak bergantung pada lebar pondasi berbeda pada pondasi tanah pasir yang kapasitas dukungnya bertambah besar bila lebar pondasi bertambah. Kapasitas dukung ijin lempung lunak umumnya lebih ditentukan oleh besarnya penurunan yang terjadi, terutama penurunan tak seragam. Hitung kapasitas dukung pondasi pada tanah lempung dilakukan pada tinjauan analisis tegangan total atau di gunakan kuat geser *terdrainasi* ( $c_u$ ) dengan  $\phi_u = 0$ . Kuat geser tanah yang digunakan dapat diperoleh dari uji triaksial UU atau dari uji tekan bebas. Jika lempung tidak mengandung pasir atau lanau, nilai  $c_u$  dapat diperoleh dari uji geser kipas (*vane shear test*) di lapangan. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap kedalaman 30 cm di sepanjang garis vertikal di bawah dasar pondasi.

Perancangan pondasi dangkal pada pengambilan contoh tanah saat pengeboran, contoh tanah tak terganggu (*undisturbed sample*) diambil mulai dasar pondasi sampai pada kedalaman minimum  $(D_f+1,5N)$ , dengan  $D_f$  adalah kedalaman dasar pondasi dari muka tanah dan  $B$  adalah lebar pondasi. Contoh-contoh tanah yang diperoleh, selain di gunakan untuk uji kuat geser tanah, juga di gunakan untuk uji konsolidasi. Nilai-nilai  $c_u$  hasil uji di laboratorium ataupun di lapangan yang diperoleh dari contoh tanah pada tiap-tiap lubang bor diambil nilai rata-ratanya dan di ambil nilai terkecil.

Analisis kapasitas dukung ijin untuk pondasi terpisah hanya dapat digunakan jika jarak pondasi cukup jauh sedemikian hingga pengaruh penyebaran tekanan masing-masing pondasi ke tanah di bawahnya tidak berpengaruh satu sama lain. Jika jarak pondasi kecil, penyebaran tekanan ke tanah di bawahnya akan identik dengan penyebaran beban kelompok pondasi sebagai satu kesatuan sehingga kapasitas dukung ijin harus dipertimbangkan terhadap pengaruh tekanan kelompok pondasi tersebut.

Mengestimasi kuat geser tanah lempung pada kedalaman yang dangkal agak sulit, karena lempung yang terletak di dekat permukaan tanah, akan di pengaruhi oleh perubahan iklim dan akar tumbuh-tumbuhan. Dengan alasan ini, dasar pondasi sebaiknya di letakkan agak dalam, sehingga terhindar dari pengaruh tersebut.



Gambar 2.4. Tumpang tindih penyebaran tekanan akibat letak pondasi berdekatan

*Sumber: Hardiyatmo, 2011*

Untuk hitungan kapasitas dukung ultimit sebaiknya digunakan kuat geser tanah minimum yang terletak di bawah dasar pondasi. Jika kuat geser tanah tiap-tiap lapisan dalam interval kedalaman  $2/3 B$  di bawah pondasi tidak menyimpang lebih dari 50% dari nilai rata-rata pada kedalaman ini. Namun jika variasinya lebih dari 50%, yang digunakan dalam perancangan adalah nilai kuat geser minimum. Jika cara terakhir ini yang dipilih, nilai faktor amannya dapat dikurangi dari nilai yang biasanya di gunakan Skempton (1951), maka nilai rata-ratanya ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Tanah lempung *alluvial* secara geologis merupakan endapan yang baru. Yang terdiri dari material lanau dan lempung di daerah sekitar sungai, muara, dan dasar laut. Tanah ini termasuk terkonsolidasi normal (*normally consolidated*).

Oleh karena itu, kuat gesernya bertambah bila kedalaman bertambah, yaitu lunak pada bagian permukaan, dan kaku dibagian bawah. Pengaruh cuaca menyebabkan tanah lempung *alluvial* mempunyai sifat kaku di dekat permukaan tanah.

Kapasitas dukung yang sedang, dengan tanpa atau sedikit penurunan, dapat diperoleh pada pondasi tidak begitu lebar, yang terletak pada lapisan atas (tanah permukaan). Pada kondisi ini, tekanan pondasi yang disebarkan kelapisan lunak di bawahnya tidak besar. Jika pondasi lebar dan dalam, kapasitas dukung menjadi kecil. Untuk hal ini, dapat digunakan tipe pondasi rakit mengapung atau pondasi tiang yang menembus sampai lapisan keras yang dapat mendukung bebannya (Peck, et al., 1974).

Pondasi yang dirancang pada tanah lempung, harus diperhitungkan pada kondisi terjelek (kuat geser minimum), yaitu pada kadar air saat jenuh. Perancangan harus hati-hati jika pondasi yang terletak pada tanah keras, dimana lapisan keras ini terletak pada lapisan lempung lunak. Jika dasar pondasi terletak dekat dengan lapisan lunak, pondasi akan dapat melesat kebawah, sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan. Oleh karena itu, hitungan kapasitas dukung tanah perlu diperhitungkan terhadap pengaruh penyebaran beban pada lapisan lunak dibawahnya.

Hitungan kapasitas dukung, dapat dilakukan dengan menganggap beban pondasi disebarkan menurut aturan 2V:1H (1 Horizontal: 2 Vertikal) pada lapisan lunak. Untuk ini, tekanan pada tanah lunak harus tidak melampaui kapasitas dukung ijin dari lapisan lunaknya. Dengan anggapan tersebut, tanah kuat yang berada diatas berfungsi sebagai pondasi rakit bagi beban pondasi sebenarnya.

Menurut Terzaghi & Peck (1948), nilai pendek atau hubungan antara nilai  $N$  dari  $SPT$ , konsistensi tanah, dan perkiraan kapasitas dukung aman ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Nilai kapasitas dukung ultimit dihitung dengan mengalikan kapasitas dukung aman pada Tabel 2.1. sebanyak 3 kali. Tanah dengan konsistensi sangat lunak, penurunan pondasi yang terjadi biasanya besar.

Tabel 2.1. Hubungan  $N$  konsistensi tanah dan perkiraan kapasitas dukung aman untuk pondasi pada lempung

Konsistensi	$N$	Kapasitas dukung aman ( $q_s$ ) ( $kN/m^2$ )	
		Bujur sangkar	Memanjang
Sangat lunak	0-2	0-30	0-22
Lunak	2-4	30-60	22-45
Sedang	4-8	60-120	45-90
Kaku	8-15	120-240	90-180
Sangat kaku	15-30	240-480	180-360
Keras	>30	480	360

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Jika jarak pondasi telapak satu sama lain relative berjauhan, maka masih di mungkin untuk mengurangi tekanan pondasi pada tanah lunak tersebut, yaitu dengan jalan memperlebar pondasi. Sebaliknya jika jarak pondasi sangat dekat, penyebaran beban masing-masing pondasi akan saling tumpang tindih. Jika dari hitungan, nilai kapasitas dukung ijin terlampaui, lebih baik dipakai pondasi rakit

atau pondasi memanjang (jika sumbu kolom satu garis). Kalau dengan cara ini kapasitas dukungnya tidak memenuhi, dapat dipakai pondasi tiang yaitu nilai-nilai perkiraan kapasitas dukung aman untuk lempung, kapasitas dukung lempung bergantung pada konsistensi atau kuat gesernya.

## 2.2 Jenis-jenis Tembok Penahan Tanah

### 2.2.1 Tembok Penahan Tanah *Gravity*

Dinding penahan tanah *gravity* akan menggunakan massanya untuk menahan tekanan dari belakang. Dinding ini akan bersandar ke tanah yang tertahan untuk meningkatkan stabilitasnya. Untuk dinding lansekap pendek, mereka sering dibuat dari batu tanpa mortar atau unit beton segmental. Dinding penahan tanah *gravity* yang ditumpuk kering lebih fleksibel dan tidak memerlukan pijakan yang kaku.

Awalnya, dinding penahan tanah *gravity* biasanya terbuat dari beton atau batu dalam jumlah yang besar. Saat ini, dinding penahan *gravity* sering dibuat menggunakan material komposit seperti: geosintetik, *gabion* (wadah kawat yang diisi dengan batu, pecahan beton, atau bahan lain), dan dinding *crib*.



Gambar 2.5 Tembok Penahan Tanah *Gravity*

## 2.2.2 Tembok Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah kantilever dibuat dari batang internal beton bertulang, semen, atau pasangan bata yang diberi mortar (seringkali dalam bentuk T terbalik). Dinding penahan tanah kantilever ini dapat menahan pijakan struktural yang besar, mengubah tekanan horizontal dari belakang dinding menjadi tekanan vertikal di tanah di bawah.

Terkadang, dinding penahan tanah kantilever ditopang di bagian depan, atau dilengkapi *counterfort* di bagian belakang, untuk meningkatkan kekuatannya dalam menahan beban tinggi. Penopangnya adalah dinding sayap pendek yang tegak lurus pada tren utama dinding. Dinding-dinding ini membutuhkan pijakan beton yang kaku di bawah tanah. Jenis dinding ini menggunakan bahan yang jauh lebih sedikit daripada jenis *gravity* tradisional.



Gambar 2.6 Tembok Penahan Tanah Kantilever

## 2.2.3 Tembok Penahan Tanah Diafragma

Dinding penahan tanah diafragma merupakan jenis dinding penahan tanah yang sangat kaku dan umumnya kedap air. Dinding penahan tanah diafragma

terbuat dari rangkaian besi beton bertulang dan dicor dengan sistem modular. Dinding ini biasa digunakan pada area perkotaan, terutama untuk membangun *basement*.



Gambar 2.7 Tembok Penahan Tanah Diafragma

#### **2.2.4 Tembok Penahan Tanah *Sheet Pile***

Dinding penahan tanah *sheet pile* biasanya digunakan pada tanah yang lunak dan memiliki luas yang sempit. Dinding penahan tanah *sheet pile* dibangun dengan didorong ke tanah dan terdiri dari berbagai macam bahan termasuk baja, vinil, aluminium, *fiberglass*, atau papan kayu. Material biasanya didorong 1/3 di atas tanah, dan 2/3 di bawah tanah, tetapi ini dapat diubah tergantung pada lingkungannya.

Dinding penahan tanah *sheet pile* yang lebih tinggi akan membutuhkan jangkar pengikat, atau biasa disebut "*dead man*", yang ditempatkan di tanah pada jarak di belakang permukaan dinding, yang diikat ke dinding, dengan kabel atau *rod*. Jangkar tersebut kemudian ditempatkan di belakang bagian yang rentan runtuh di dalam tanah.



Gambar 2.8 Tembok Penahan Tanah *Sheet Pile*

### 2.2.5 *Contiguous Pile dan Soldier Pile*

Dua kategori dinding ini mirip tapi punya karakteristik yang berbeda. *Contiguous* dan *soldier pile* sama-sama dibuat dengan mengkombinasikan rangkaian *bored pile* dan *bentonite cement pile*. Tapi di sisi lain perbedaannya adalah jenis *contiguous pile* bersifat sementara dan kedap air, sedangkan *soldier pile* tidak demikian.



Gambar 2.9 *Contiguous Pile dan Soldier Pile*

### 2.2.6 Tembok Penahan Tanah Beton

Metode lain untuk membuat dinding penahan (*retaining wall*) adalah dengan mendirikan kumpulan blok balok beton. Metode konstruksi dinding

penahan yang satu ini secara khusus menggunakan alat pengunci antar blok untuk memastikan tidak ada beton yang bergerak selama pemasangan di lokasi.



Gambar 2.10 Tembok Penahan Tanah Beton

#### 2.2.7 Tembok Penahan Tanah Gabion

Dinding penahan yang dikenal sebagai gabion juga ada. Itu dibangun dari sejumlah balok dan terbuat dari kawat bronjong yang dilengkapi dengan pecahan batu dan disusun secara vertikal. Jenis ini sering digunakan untuk meningkatkan konsentrasi resapan air ke dalam tanah selain berfungsi sebagai dinding penahan tanah.



Gambar 2.11 Tembok Penahan Tanah Gabion

### **2.3. Kapasitas Dukung *Boredpile***

Aturan didalam SNI 8460 (2017), menjelaskan bahwa daya dukung izin tanah, dimana pondasi tersebut akan dibangun, akibat beban kerja harus diambil yang terkecil dari:

- a. kapasitas ultimit tanah dengan faktor keamanan yang cukup terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan.
- b. suatu nilai yang memberikan deformasi pondasi akibat beban yang bekerja masih dalam batas-batas yang diizinkan oleh bangunan tersebut, atau bangunan di sekitarnya.

Metode untuk mendapatkan daya dukung izin lapisan tanah pondasi terdiri dari:

#### **1. Metode rasional**

Metode rasional yang digunakan untuk menghitung kapasitas ultimit pondasi harus dilakukan berdasarkan data-data tanah yang diperoleh dari penyelidikan lapangan maupun laboratorium pada lokasi pekerjaan menggunakan:

- a. Metode analitik yang sudah baku (misalnya Terzaghi, Meyerhoff, Hansen, Vesic, Reese) yang memperhitungkan kondisi lapisan tanah yang ada serta geometri dari pondasi
- b. Metode empiris yang sudah baku (terbukti). Daya dukung izin pondasi diperoleh dari daya dukung ultimit pondasi tersebut dibagi dengan suatu faktor keamanan yang besarnya minimum 3 untuk pondasi dangkal atau minimum 2,5 untuk pondasi dalam

## 2. Metode pengujian pembebanan

Daya dukung izin pondasi dapat juga diperoleh dari hasil uji pembebanan pondasi pada lokasi pekerjaan. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengaruh skala dari uji pembebanan terhadap dimensi pondasi yang sebenarnya
- b. variasi lapisan tanah tempat dilakukannya uji pembebanan terhadap lokasi pondasi yang sebenarnya
- c. durasi pembebanan pada uji pembebanan dibandingkan dengan umur pondasi

Uji pembebanan yang dilaksanakan pada suatu pelat uji (*individual test plate*) ataupun tiang tunggal hanya akan memberikan gambaran mengenai daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) tanah pada lokasi pengujian tersebut akibat beban uji yang diberikan. Dengan demikian hasil yang diperoleh dari uji pembebanan ini belum tentu menggambarkan karakteristik daya dukung (*bearing capacity*) pondasi yang sebenarnya atau kondisi daya dukung di lapangan secara keseluruhan.

### **2.3.1 Analisis Gaya yang Bekerja Pada Tiang**

Pondasi tiang mempunyai bentuk yang sebenarnya sama, hanya berbeda didalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja ke tanah dasar pondasi diteruskan melalui ujung tiang, lekatan atau gesek pada dinding tiang. Sedangkan beban luar yang diterima oleh bangunan diteruskan melalui tiang, bila kapasitas dukung tiang rendah, maka bangunan akan terperosok masuk ke dalam tanah, sedang bila kapasitas dukung tiang terlalu besar, bangunan tersebut kurang ekonomis. Selain

itu beban yang bekerja dapat dikelompokkan sebagai beban terbagi rata, beban sentris terhadap pusat berat kelompok tiang, beban eksentris atau beban momen.

### 2.3.2 Kapasitas Tiang Tunggal

Untuk menentukan kapasitas dukung satu tiang digunakan metode pendekatan analitis dari hasil pengujian karakteristik fisik tanah di laboratorium dan kemudian didekati dengan formula klasik dan metode empiris dengan menggunakan hasil pengujian lapangan. Adapun metode-metode tersebut adalah metode Meyerhof yaitu

Kapasitas *boredpile* Dari Uji Sondir:

$$Pu = 1/3 \times q_c \times Ap + 1/2 \times K \times JHP \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

$q_c$  = tahanan ujung konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

$Ap$  = luas penampang tiang ( $\text{cm}^2$ )

$K$  = keliling tiang (cm)

$JHP$  = Jumlah hambatan pelekak ( $\text{kg/cm}$ )

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 per satuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus

yang dinyatakan dalam gaya per satuan panjang. Dari hasil sondir diperoleh nilai jumlah hambatan pelekatan (JHP)

$$q_c = \text{rata-rata } (q_{c2} + q_{c1}) \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

$q_c$  = tahanan konus rata-rata

$q_{c1}$  = nilai tahanan konus pada 8d di bawah dasar tiang

$q_{c2}$  = nilai tahanan konus pada 4d di atas dasar tiang

Luasan dan Keliling Tiang bentuk Bulat:

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times (d)^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

$$K = \pi \times d \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

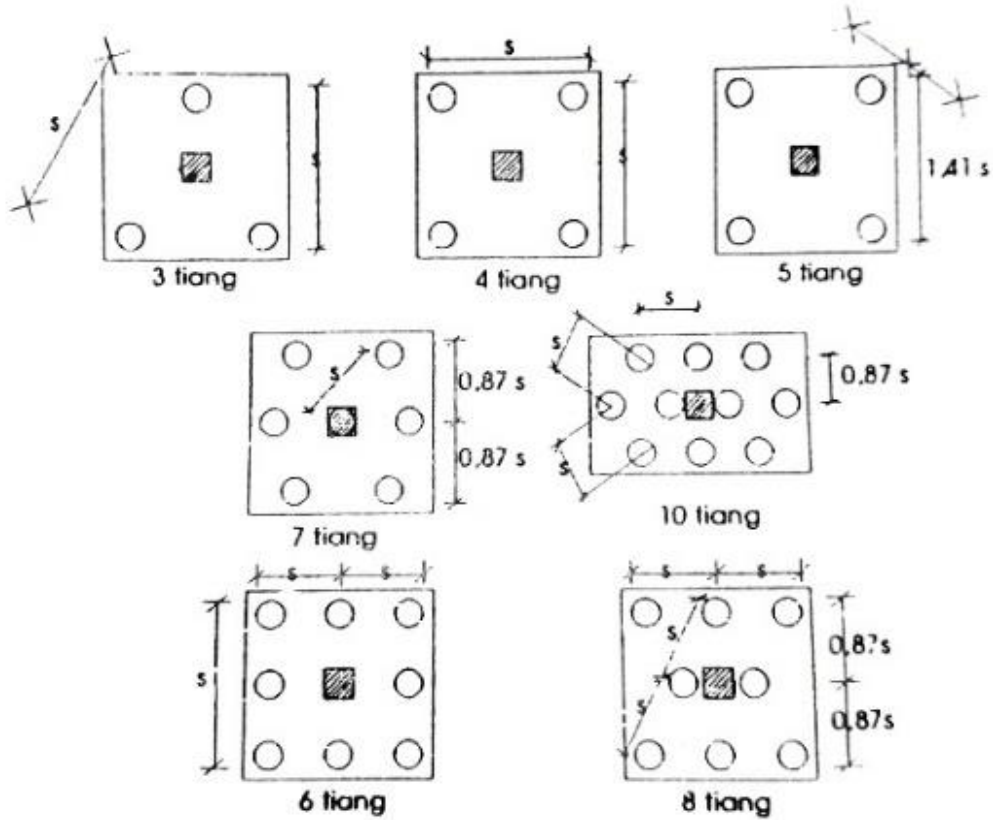
$\pi$  = 3,14

$d$  = diameter tiang (cm)

### 2.3.3 Susunan Kelompok Tiang

Susunan tiang atau denah tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah poer (*pile cap*), yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah poer akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak. Susunan tiang seperti terlihat pada Gambar 2.12.

Beberapa metode didalam menyusun letak tiang didasarkan jumlah tiang yang digunakan dan jarak tiang, sehingga diperoleh ukuran denah poer paling ekonomis. Dibawah ini diberikan cara penyusunan denah tiang, untuk menghemat poer.



Gambar 2.12. Susunan tiang

Sumber: Suryolelono, 1994

### 2.3.4 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

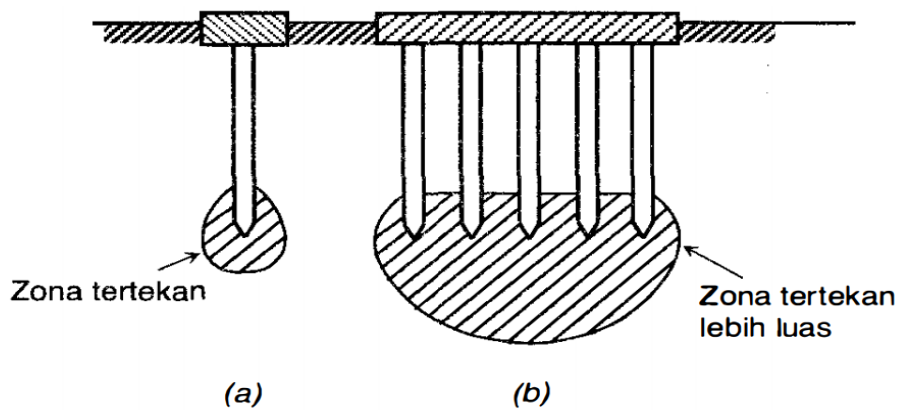
Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat, namun di bawahnya terdapat lapisan lunak. Dalam kondisi tersebut, stabilitas kelompok tiang tergantung dari dua hal, yaitu:

1. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur

## 2. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang

Cara pemasangan tiang, seperti dipancang, dibor, digetarkan atau ditekan, akan berpengaruh kecil pada kedua hal tersebut di atas. Penurunan kelompok tiang sama dengan penurunan tiang tunggal, jika dasar kelompok tiang terletak pada lapisan keras.

Tiang-tiang dipancang pada lapisan yang agak kuat tapi dapat mampat (misalnya lempung kaku), atau dipancang pada lapisan yang tidak mudah mampat (misalnya pasir padat), tetapi lapisan tersebut berada di atas lapisan tanah lunak, maka kapasitas kelompok tiang mungkin lebih rendah dari jumlah kapasitas masing-masing tiang. Hal ini, karena kapasitas dukung ijin pondasi tiang akan dibatasi oleh penurunan toleransi.



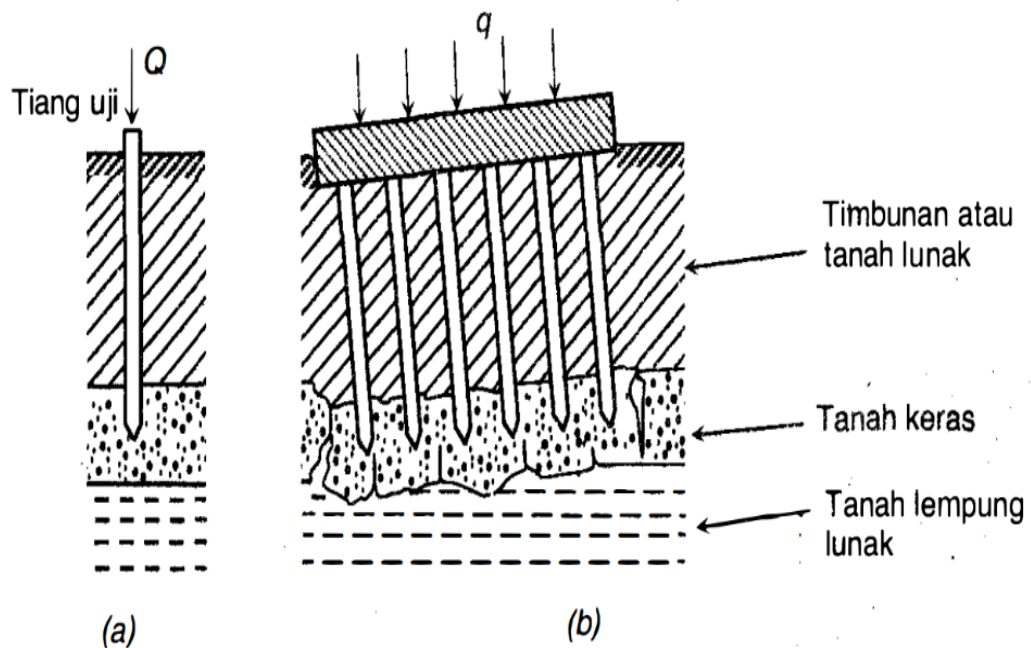
Gambar 2.13. Perbandingan zona tanah tertekan

*Sumber: Hardiyatmo, 2011*

Penurunan kelompok tiang lebih besar dari penurunan tiang tunggalnya, pada beban struktur yang sama. Hal ini, karena pada tiang tunggal luas zona tertekan pada bagian bawah tiang sangat lebih kecil dari pada luas zona tertekan

untuk kelompok tiang, sehingga penurunan kelompok tiang menjadi lebih besar dari pada penurunan tiang tunggal terlihat pada Gambar 2.13.

Menurut Tomlinson (1997), menjelaskan perbedaan pengaruh tekanan tiang pada tanah pendukung untuk tiang tunggal dan kelompok tiang, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Dalam gambar ini, dibandingkan antara sebuah tiang dari kelompok tiang yang dibebani (dalam uji beban tiang) dengan kelompok tiang saat beban total bangunan telah bekerja (Gambar 2.14). Tiang-tiang didukung oleh lapisan tanah kuat, yang berada di atas lapisan lunak.



Gambar 2.14. Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung

*Sumber: Hardiyatmo, 2011*

Lapisan tanah padat tidak mengalami tekanan yang besar pada tiang tunggal (Gambar 2.14) tetapi ketika seluruh tiang pada kelompok tiang dibebani, zona tertekan berkembang sampai tanah lunak sehingga dapat mengakibatkan

penurunan yang besar atau bahkan keruntuhan bangunan yang didukung oleh kelompok tiang tersebut.

Kasus di mana pondasi tiang secara keseluruhan berada dalam tanah lempung lunak, maka tiang-tiang dalam mendukung beban sebagian besar didukung oleh tahanan geseknya. Kondisi pondasi tiang semacam ini, disebut pondasi tiang apung (*floating pile*).

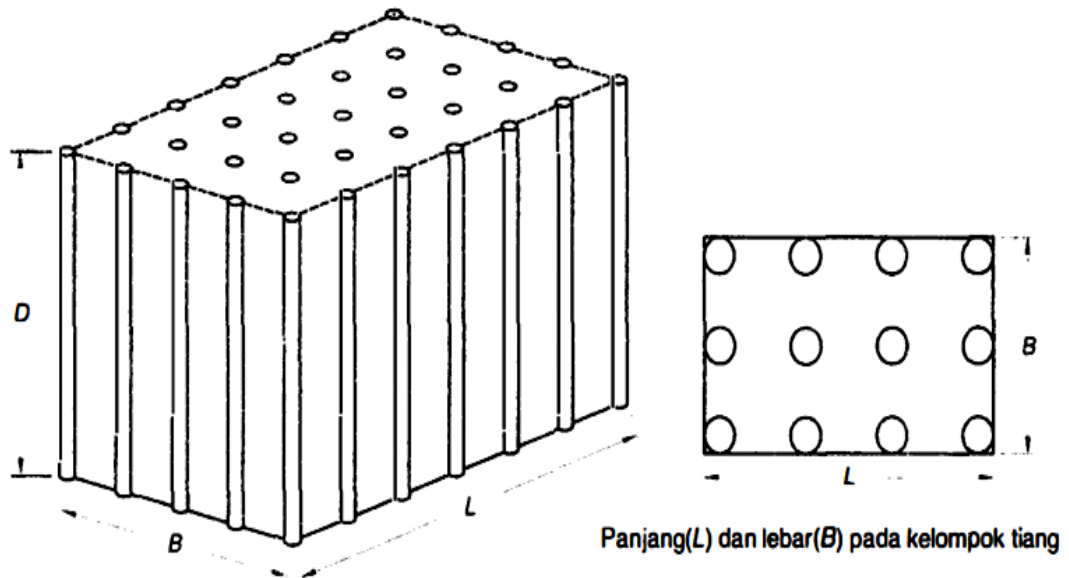
Menurut Coduto (1994), Kapasitas kelompok tiang apung dipengaruhi oleh salah satu faktor berikut ini:

1. Jumlah kapasitas tiang tunggal dalam kelompok tiang, bila jarak tiang jauh, atau
2. Tahanan gesek tiang yang dikembangkan oleh gesekan antara bagian luar kelompok tiang dengan tanah di sekelilingnya, jika jarak tiang terlalu dekat

Tiang yang dipasang pada jarak yang besar, tanah di antara tiang tidak bergerak sama sekali, ketika tiang bergerak ke bawah oleh akibat beban yang bekerja (Gambar 2.15 a). Tetapi, jika jarak tiang-tiang terlalu dekat, saat tiang turun oleh akibat beban, tanah di antara tiang-tiang juga ikut bergerak turun. Pada kondisi ini, kelompok tiang dapat dianggap sebagai satu tiang besar yang dibentuk oleh kelompok tiang dan tanah yang terkurung di dalamnya, dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang.



tiang-tiang terlihat pada (Gambar 2.16 a) Jarak kritis tiang-tiang bertambah, jika jumlah tiang dalam kelompoknya bertambah.



Gambar 2.16. Kelompok tiang dalam tanah lempung yang bekerja sebagai blok

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Menghitung kapasitas tiang yang berkaitan dengan keruntuhan blok.

Terzaghi & Peck (1948), mengambil asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Pelat penutup tiang (*pile cap*) sangat kaku
2. Tanah yang berada didalam kelompok tiang-tiang berkelakuan seperti blok padat

Dengan asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai pondasi dalam dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh persamaan (Terzaghi & Peck, 1948).

$$Q_g = 2D(B+L) c + 1,3c_b N_c BL \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana:

$Q_g$  = Kapasitas daya dukung ultimate kelompok tiang, nilainya harus tidak melampaui  $nQ_u$  (dengan  $n$  = jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)

$c$  = Kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$c_b$  = Kohesi tanah dibawah dasar kelompok tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  = Lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

$L$  = Panjang kelompok tiang (m)

$D$  = Kedalaman tiang dibawah permukaan tanah (m)

$N_c$  = Faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1.3 pada suku persamaan ke-2 adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk-bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi untuk pondasi dangkal.

Hitungan kapasitas kelompok tiang maka dipilih dari hal-hal berikut:

Jika kapasitas kelompok tiang ( $Q_g$ ) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiang  $nQ_u$ , maka kapasitas dukung pondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompoknya ( $Q_g$ )

Sebaliknya, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang ( $Q_g$ ) lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya ( $nQ_u$ )

Umumnya, model *keruntuhan blok* terjadi bila rasio jarak tiang dibagi diameter ( $s/d$ ) kurang lebih sekitar 2. Whitaker (1957), memperlihatkan bahwa keruntuhan blok terjadi pada jarak  $1,5d$  untuk kelompok tiang yang berjumlah 3 x 3, dan lebih kecil dari  $2,25d$  untuk tiang yang berjumlah 9 x 9. Untuk jarak tiang yang lebih besar, keruntuhan akan berupa keruntuhan tiang tunggal.

### 2.3.5 Efisiensi Tiang dalam Tanah Kohesif

Kapasitas dukung tiang gesek (*friction pile*) dalam tanah lempung akan berkurang jika jarak tiang semakin dekat. Beberapa pengamatan menunjukkan, bahwa kapasitas dukung total dari kelompok tiang gesek (*friction pile*), khususnya tiang dalam tanah lempung, sering lebih kecil daripada hasil kali kapasitas dukung tiang tunggal dikalikan jumlah tiang dalam kelompoknya. Jadi, besarnya kapasitas dukung total menjadi tereduksi dengan nilai reduksi yang tergantung dari ukuran, bentuk kelompok, jarak, dan panjang tiangnya. Nilai pengali terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang, disebut efisiensi tiang ( $E_g$ ).

Menurut Coduto (1994), efisiensi tiang ( $E_g$ ) bergantung pada beberapa faktor, antara lain:

1. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang
2. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung)
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang
4. Urutan pemasangan tiang
5. Macam tanah
6. Waktu setelah pemasangan tiang
7. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah
8. Arah dari beban yang bekerja

Beberapa persamaan efisiensi tiang telah diusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan-persamaan yang diusulkan didasarkan pada susunan tiang, jarak relatif

dan diameter tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Salah satu dari persamaan-persamaan efisiensi kelompok tiang tersebut, yang disarankan oleh *Converse-Labarre formula*, sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n' - 1).m + (m - 1).n'}{90.m.n'}$$

dimana:

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$m$  = Jumlah baris tiang

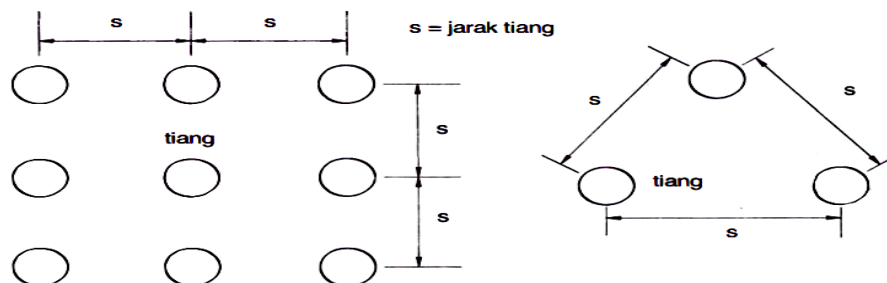
$n$  = Jumlah tiang dalam satu baris

$\theta$  =  $\tan^{-1} \frac{d}{s}$  dalam derajat

$s$  = jarak ke pusat tiang (cm)

$d$  = diameter tiang (cm)

Untuk definisi jarak  $s$  dalam hitungan efisiensi tiang ditunjukkan dalam Gambar 2.17..



Gambar 2.17. Definisi jarak  $s$  dalam hitungan efisiensi tiang

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana:

$Q_g$  = kapasitas daya dukung ultimate kelompok tiang

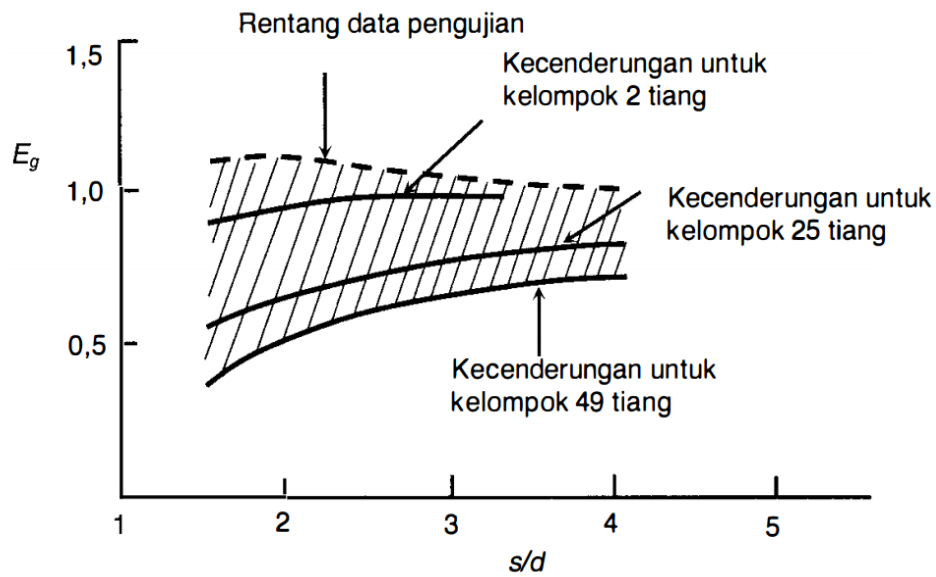
$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$n$  = Jumlah tiang dalam satu baris

$Q_u$  = Kapasitas ultimit tiang tunggal

$N_c$  = Faktor kapasitas dukung

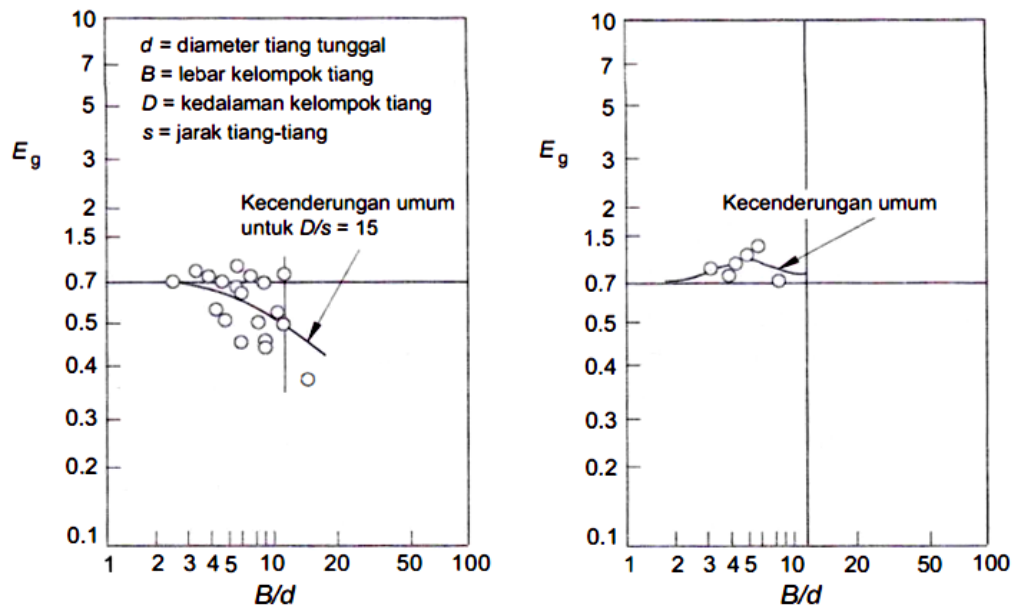
Kerusakan struktur tanah saat proses pemancangan (tiang pancang) atau pengeboran (*boredpile*), relatif kecil di sekeliling dan ujung tiang. Untuk ini, Tomlinson (1963), menyarankan kohesi (*cu*) tanah dasar sebaiknya diambil dari kuat geser tanah asli. Jika tiang dirancang untuk mendukung beban penuh pada waktu yang pendek sesudah pemancangan, maka pengambilan kohesi untuk tahanan gesek keliling kelompok tiang dihitung dengan mempertimbangkan pengaruh waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan kembali kuat geser tanah. Atau, bila digunakan kuat geser asli, beban penuh struktur dapat ditunda paling sedikit sampai 6 bulan. Efisiensi kelompok tiang pada tanah kohesif ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Efisiensi kelompok tiang pada tanah kohesif

Sumber: Hardiyatmo, 2011

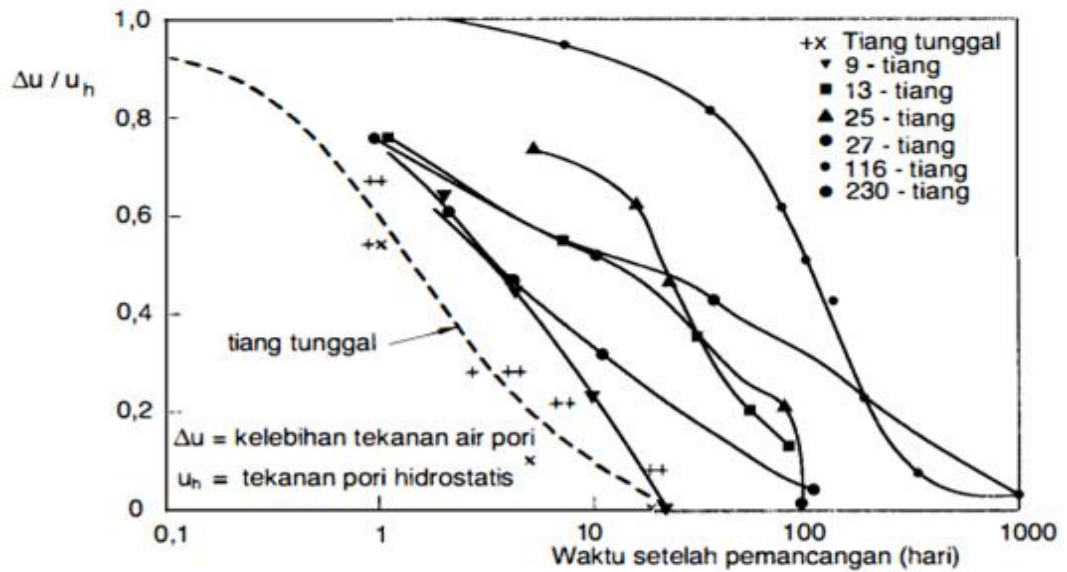
Menurut O'Neill (1983), mengumpulkan beberapa faktor efisiensi dari beberapa uji model tiang dalam tanah kohesif seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.18. Terlihat bahwa faktor efisiensi selalu lebih kecil dari 1. Hasil pengumpulan data dari uji model skala penuh diperlihatkan dalam Gambar 2.18. Hasil ini mempunyai kesamaan kecenderungan dengan uji model untuk pelat penutup tiang (*pile cap*) yang tidak menyentuh tanah. Tetapi, untuk pelat penutup tiang yang menyentuh tanah, efisiensi bertambah besar. Hal ini, karena jika pelat penutup tiang menyentuh tanah keruntuhan tiang menuju ke keruntuhan blok, sehingga meningkatkan kapasitas dukungnya. Namun penurunan yang dibutuhkan untuk terjadinya keruntuhan blok lebih besar.



Gambar 2.19. Efisiensi kelompok tiang pada tanah kohesif dari uji tiang skala penuh pada beban vertikal

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Efisiensi kelompok tiang dalam tanah kohesif sangat dipengaruhi oleh kelebihan tekanan air pori (*excess pore pressure*) yang timbul akibat pemancangan, walaupun kelebihan tekanan air pori yang besar hanya terjadi di dekat tiang. Untuk tiang tunggal, kelebihan tekanan air pori hilang hanya beberapa hari setelah selesai pemancangan, sedang untuk kelompok tiang dapat sampai bertahun-tahun, seperti yang dilaporkan oleh (O'Neill, 1983) dalam Gambar 2.20



Gambar 2.20. Pengukuran tekanan kelebihan tekanan air pori di sekitar kelompok tiang

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Deformasi aksial yang dibutuhkan untuk memobilisasi tahanan gesek di sekeliling kelompok tiang sangat kecil dibandingkan dengan deformasi yang dibutuhkan untuk mobilisasi tahanan dasar kelompok tiang (yaitu sekitar 5 - 10% atau lebih dari lebar kelompok tiang). Deformasi ini sangat besar dan tak mungkin digunakan dalam perancangan kapasitas dukung tanah di dasar kelompok tiang. Karena itu, disarankan agar dalam hitungan kapasitas kelompok tiang apung (*floating pile*), tahanan dasar dari kelompok tiang sebaiknya diabaikan dan dengan pertimbangan ini faktor aman yang relatif rendah dapat digunakan.

Tiang gesek dalam tanah lempung, menurut Kerisel (1967), mengusulkan nilai efisiensi, seperti yang disajikan dalam Tabel 2.2. *Canadian National*

*Building Code* menyarankan nilai efisiensi  $E_g=0,7$  untuk tiang yang berjarak  $2,5d$  sampai  $4d$ .

Menambah nilai  $E_g$ , maka jarak tiang harus relatif jauh. Namun perlu diperhatikan bahwa jika jarak tiang besar, maka akan dibutuhkan pelat penutup kepala tiang (*pile cap*) yang tebal, sehingga tidak ekonomis. Karena itu, agar ekonomis, Terzaghi & Peck (1948), menyarankan jarak tiang sebaiknya  $< 3,5d$ .

Tabel 2.2. Faktor efisiensi untuk kelompok tiang dalam tanah lempung

Jarak pusat ke pusat tiang	Faktor efisiensi $E_g$
$10d$	1
$8d$	0,95
$6d$	0,90
$5d$	0,85
$4d$	0,75
$3d$	0,65
$2,5d$	0,55

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Dalam kasus-kasus tertentu, terutama jika tiang-tiang terletak pada lempung lunak, kapasitas dukung tiang lebih dipengaruhi oleh pertimbangan *penurunan konsolidasi* dan *penurunan seketika (immediate settlement)* dari kelompok tiangnya. Untuk kasus ini, pengaruh efisiensi kelompok tiang hanya sebagai petunjuk awal untuk mengetahui jumlah tiang yang dibutuhkan pada beban penuh dari struktur.

## 2.4 Tembok penahan tanah

Tembok penahan tanah adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi-kondisinya tidak membolehkan massa bahan untuk memiliki kemiringan alaminya (*its natural slope*) dan biasanya digunakan untuk menahan atau menopang peninggian tanah (*soil bank*), onggokan batu bara atau onggokan biji tambang, dan air (Bowles, 1984)

### 2.4.1 Kegunaan Tembok penahan tanah

Tembok penahan tanah sudah digunakan secara luas dalam hubungannya dengan jalan raya, jalan kereta api, jembatan, kanal dan lainnya. Aplikasi yang umum menggunakan tembok penahan tanah antara lain sebagai berikut:

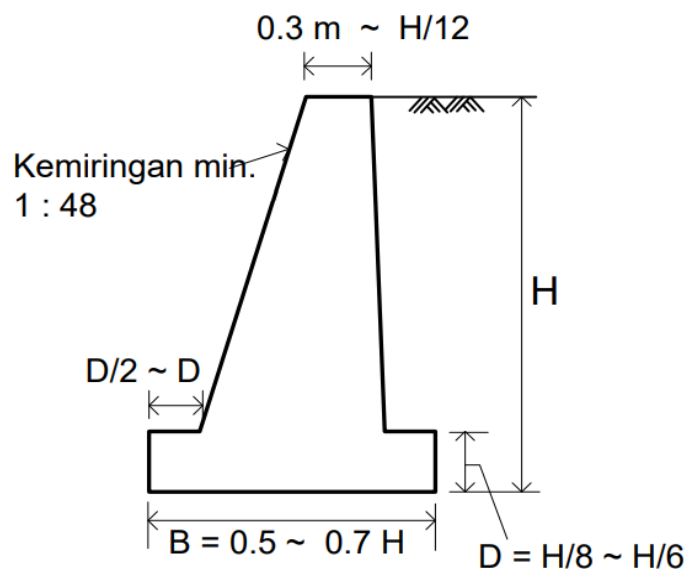
- a. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibangun di daerah lereng
- b. Jalan raya atau jalan kereta api yang ditinggikan untuk mendapatkan perbedaan elevasi
- c. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibuat lebih rendah agar didapat perbedaan elevasi
- d. Tembok penahan tanah yang menjadi batas pinggir kanal
- e. Dinding khusus yang disebut *flood walls*, yang digunakan untuk mengurangi/menahan banjir dari sungai
- f. Tembok penahan tanah yang digunakan untuk menahan tanah pengisi dalam membentuk suatu jembatan. Tanah pengisi ini disebut *approach fill* dan tembok penahan disebut *abutments*

- g. Tembok penahan yang digunakan untuk menahan tanah di sekitar bangunan 6 lantai atau gedung-gedung
- h. Tembok penahan tanah yang digunakan sebagai tempat penyimpanan material seperti pasir, biji besi, dan lain-lain

### 2.4.2 Tipe-Tipe Tembok penahan tanah

Dalam hal ini, tembok penahan tanah memiliki tipe atau juga bentuk-bentuk yang berbeda dan fungsinya. Tipe – tipe tembok penahan tanah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

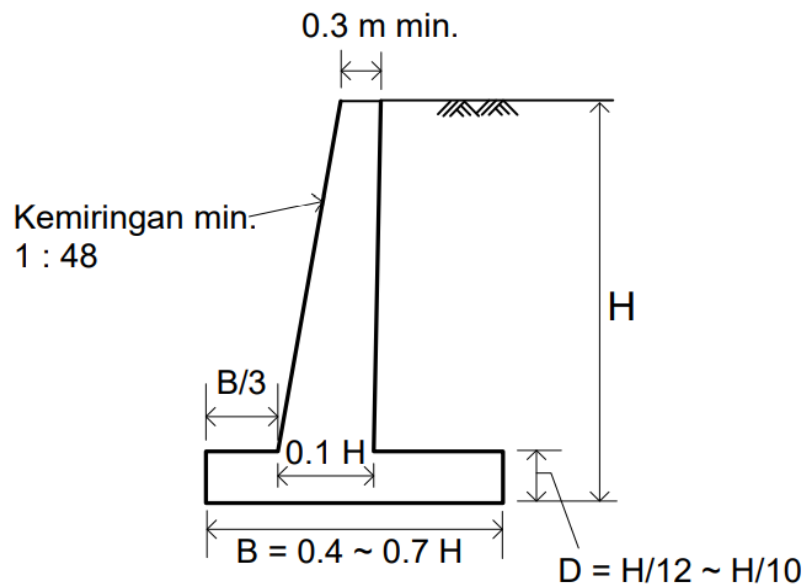
- a. Tembok penahan tanah tipe gravitasi dan semi gravitasi adalah tembok penahan tanah yang terbuat dari pasangan batu kali atau beton, dimana stabilitasnya tergantung pada berat tembok itu sendiri dan tanah yang duduk di atas bagian dari dinding itu



Gambar 2.21. Tembok penahan tanah tipe gravitasi dan semi gravitasi

Sumber: SNI 8460:2017

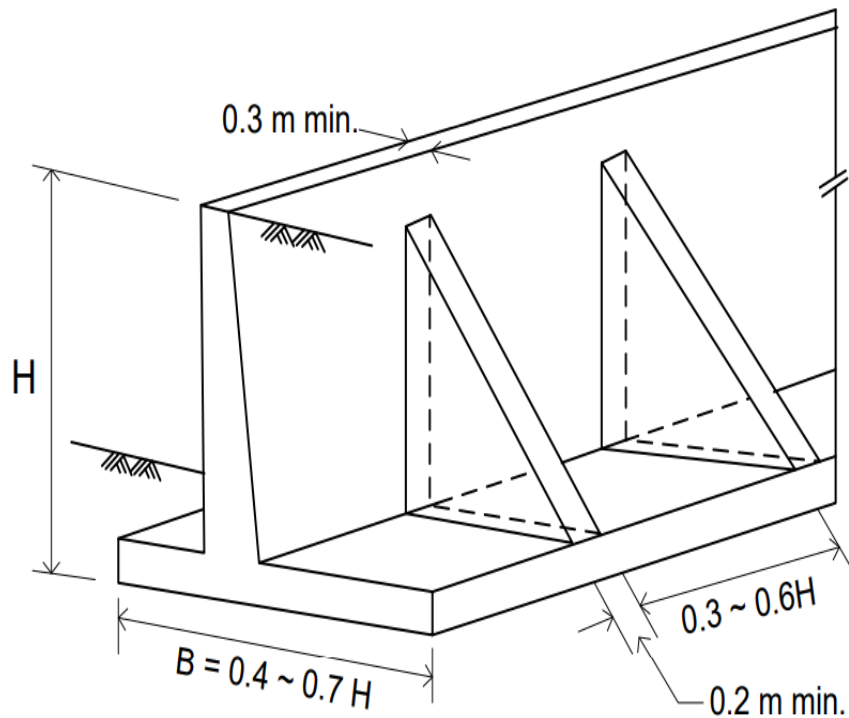
- b. Tembok penahan tanah tipe kantilever Tembok penahan tanah kantilever dibuat dari beton bertulang, karena itu dimensi *stem* dan *base slab* menjadi relatif tipis. Selain bobotnya sendiri, dinding penahan tanah kantilever ini mengandalkan pada bobot masa tanah yang berada di atas *base slab*, untuk menjaga stabilitasnya. Dinding penahan tanah ini cocok untuk menahan tanah yang tinggi, hingga 8 m.



Gambar 2.22. Tembok penahan tanah tipe kantilever

Sumber: SNI 8460:2017

- c. Tembok penahan tanah tipe kantilever dengan pengaku (*counterfort/buttress*) Untuk menahan tanah yang tinggi dengan tetap menjaga tembok vertikal yang tipis, maka sistem tembok penahan tanah kantilever perlu diperkuat dengan rib-rib beton yang dipasang pada jarak-jarak tertentu. Bila rib-rib tersebut berada di belakang dinding (akan tertutup tanah) maka pengaku tersebut dinamakan *counterfort*, sedangkan bila berada di muka dinding, dinamakan *buttress*.



Gambar 2.23. Tembok penahan tanah tipe *kantilever*

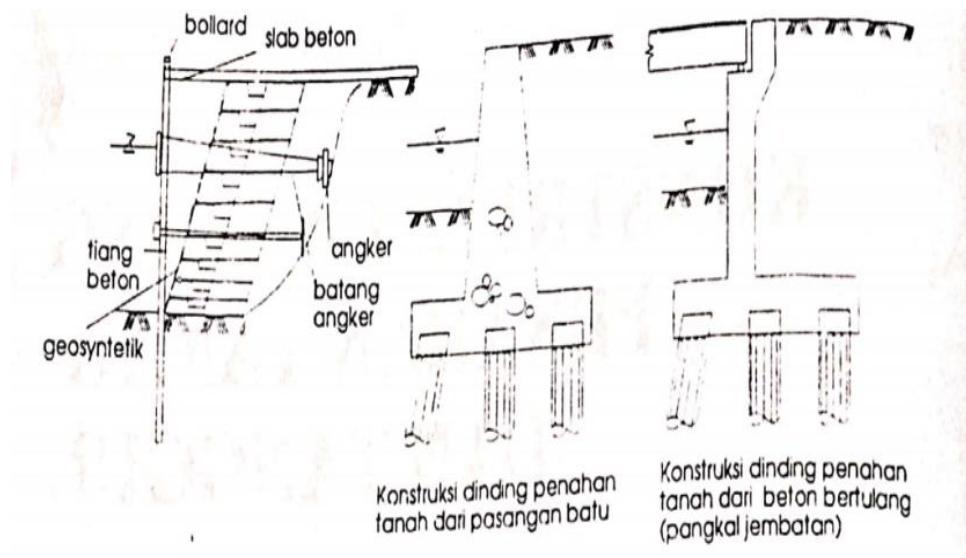
Sumber: SNI 8460:2017

### 2.4.3 Kombinasi Konstruksi Tembok penahan tanah dengan Pondasi Tiang

Umumnya konstruksi ini dipergunakan bilamana dijumpai tanah dasar pondasi merupakan tanah jelek dengan karakteristik fisik maupun mekanik sangat rendah atau bila konstruksi didirikan didaerah yang terkena erosi baik akibat aliran air sungai maupun pengaruh gelombang air laut.

### 2.4.4 Tipe Konstruksi Tembok penahan tanah Diatas Pondasi Tiang

Pemilihan tipe/jenis konstruksi ini tergantung pada strukturnya, keindahan (estetika) serta biaya konstruksi. Terlihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Tipe-tipe tembok penahan tanah diatas pondasi tiang

Sumber: Azdinova, M., & Sabet, S. N. (2022)

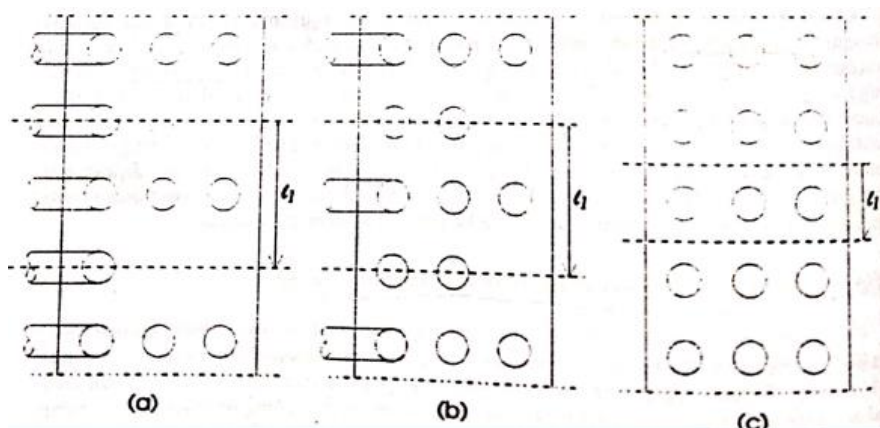
Berbagai tipe konstruksi yang merupakan kombinasi tembok penahan tanah dengan pondasi tiang telah banyak dikembangkan antara lain kombinasi tembok penahan tanah baik terbuat dari pasangan batu maupun beton bertulang dengan pondasi tiang dan konstruksi tembok penahan tanah dengan bahan *geosintetis* sebagai perkuatan tanah dikombinasi dengan pondasi tiang.

## 2.5 Analisis Stabilitas Tembok penahan tanah dengan Pondasi Tiang

Dalam analisis stabilitas konstruksi tembok penahan tanah dengan pondasi tiang digunakan beberapa anggapan antara lain:

- Panjang konstruksi penahan tanah dianggap tak terhingga
- Dalam analisis gaya-gaya yang bekerja dilakukan tinjauan terhadap satu pias sepanjang  $L_1$  yang dapat mewakili seluruh Panjang penahan tanah tersebut.

Terlihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Variasi susunan tiang sesuai beban yang bekerja

Sumber: K Basah Suryolelono 1994

- a. Diperoleh lebar pias (L1) akan ditahan oleh tiang sebanyak  $\frac{1}{2} + 3 + \frac{1}{2} =$   
4 tiang
- b. Diperoleh lebar pias (L1) akan ditahan oleh tiang sebanyak  $2 \frac{1}{2} + 3 + 2 \frac{1}{2} =$   
5 tiang
- c. Diperoleh lebar pias (L1) akan ditahan oleh tiang sebanyak  $1 + 1 + 1 =$   
3 tiang

### 2.5.1 Metode Perhitungan Dinding Penahan

Tanah Rumus yang digunakan untuk menentukan kestabilan struktur tembok penahan tanah terhadap geser dan guling adalah rumus dari *Rankine* dalam Hardiyatmo H. C., (2012), sedangkan untuk menghitung keruntuhan daya dukung tanah dapat digunakan rumus *Schmertmann* dan *Nottingham* dalam Hardiyatmo H. C., (2015), masing-masing jenis tanah memiliki rumusan masing-masing berdasarkan tanah bersifat kohesif dan tanah bersifat berbutir. Perbedaan jenis tanah ini memiliki perbedaan nilai daya dukung ultimit tanah dasar yang masing-masing jenis tanah dasar memiliki rumus masing-masing.

### 1. Tekanan Tanah (*earth pressure*)

Besar tekanan tanah merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah. Tekanan tanah dalam perhitungan metode Rankine memiliki dua jenis tanah yaitu tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Untuk tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang berhubungan langsung dengan tembok penahan tanah sekaligus menjadi beban yang bekerja dan dapat menimbulkan geser maupun guling. Sedangkan tekanan tanah pasif berada di belakang dinding. Dalam menentukan besar tekanan tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tekanan tanahnya. Menurut teori Rankine, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah pada dinding setinggi H, dengan:

$$\Sigma P = 1/2 \times \gamma_t \times K \times H^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana:

$\Sigma Pa$  = tekanan tanah (kg)

$\gamma_t$  = berat jenis isi tanah ( $kg/m^3$ )

H = tinggi tembok penahan tanah (m)

K = koefisien tekanan tanah (dapat berupa tekanan tanah aktif / pasif)

Sedangkan untuk mencari koefisien tekanan tanah dapat menggunakan rumus:

Koefisien tanah aktif

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana:

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$\phi$  = sudut geser dalam ( $^\circ$ )

Momen total konstruksi

$$\Sigma M = \Sigma M_{Ea} + \Sigma M_v \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana:

$\Sigma M$  = momen total yang bekerja pada konstruksi (kNm)

$\Sigma M_{Ea}$  = tekanan total tanah aktif (kNm)

$\Sigma M_v$  = momen terhadap pusat kelompok tiang (kNm)

### 3. Beban Gaya Vertikal

Pada beban gaya vertikal yang terjadi di tembok penahan tanah, sebagian besar merupakan berat sendiri tembok penahan tanah. Kecuali tembok penahan tanah yang memiliki heel atau kaki yang terdapat di depan konstruksi, misalnya dinding penahan *kantilever*. Selain gaya vertikal, perlu dihitung juga nilai momen pada kemungkinan titik guling. Sehingga perhitungan beban gaya vertikal dapat dihitung dengan rumus:

$$P_v \text{ total} = W \text{ tanah} + W \text{ dinding} \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana:

$P_v \text{ total}$  = berat total gaya vertikal (kg)

$W \text{ tanah}$  = berat total tanah (kg)

$W \text{ dinding}$  = berat total tembok penahan tanah (kg)