

## **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.

Kota Medan dan Kota Binjai dikenal sebagai dua dari 33 Daerah Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Utara. Kondisi daerah perkotaan yang memiliki, tingginya jumlah penduduk, intensitas kendaraan yang tinggi (baik kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat), membuat daerah perkotaan memerlukan moda transportasi alternatif dan bersifat transportasi umum. Dengan adanya moda transportasi alternatif dan umum, nantinya diharapkan dapat mengurangi intensitas kendaraan yang padat, mengurangi pencemaran udara, suara, dan lingkungan. Salah satu dari banyaknya moda transportasi alternatif, ialah kereta api. Tahun 2020 akhir, pemerintah merealisasikan proyek paket peningkatan jalan kereta api lintas Kota Medan - Kota Binjai sepanjang 21 km. Diharapkan setelah rampungnya proyek, dapat menjadi jawaban akan tingginya jumlah populasi penduduk baik di Kota Medan – Kota Binjai. Namun pada pertengahan perlintasan jalur kereta api lintas Kota Medan – Kota Binjai, diperlukan Box Culvert sebagai penopang kereta api untuk melewati parit besar dengan lebar 4 meter.

*Box Culvert* atau gorong-gorong adalah bangunan yang dibangun dibawah jalan atau jembatan yang dipergunakan sebagai jalur penghubung seperti jalan, saluran air (drainase), pipa gas, pipa kabel listrik, dan lain sebagainya. Pada dasarnya *box culvert* adalah sebuah konstruksi yang menyerupai “pipa” persegi

atau persegi panjang yang terbuat dari beton bertulang untuk memperkuat konstruksi memikul beban yang di atasnya.

Dikarenakan topografi daerah yang akan dibangun *box culvert* ialah areal tanah yang dialiri oleh parit besar, maka perlu dilakukan penentuan pondasi guna memastikan beban yang bekerja di atasnya dapat aman. Penentuan tipe pondasi yang relevan dengan beban dan kondisi lapisan tanah di bawahnya. Pembangunan *box culvert* di di Jln. Asrama No.3, Helvetia, Kec. Medan Helvetia. Kota Medan. Provinsi Sumatera menggunakan pondasi utama yaitu pondasi *bored pile*. Jenis pondasi yang digunakan ini dipilih berdasarkan kondisi lapisan tanah yang ada di daerah tersebut. Pondasi *bored pile* 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).

Tugas skripsi ini menguraikan analisis pondasi yang memikul beban *box culvert*. Hasil yang diharapkan adalah analisis kapasitas pondasi *bored pile* yang mampu menahan beban di atasnya dan gaya-gaya yang bekerja pada *box culvert*.

## **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.

3. Analisis *Box Culvert* digunakan untuk menentukan pembebanan pada pondasi *bored pile*.
4. Kapasitas tiang tunggal pada *bored pile* ditentukan berdasarkan data sondir.
5. Keamanan pondasi *bored pile* ditentukan berdasarkan beban-beban di atasnya.
6. Kapasitas kelompok tiang dihitung berdasarkan jumlah tiang pada arah kanan.
7. Informasi data *soil investigation* (sondir) lapangan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan-batasan permasalahan dalam penulisan tugas skripsi ini adalah:

1. Analisis *Box Culvert* digunakan untuk menentukan pembebanan pada pondasi *bored pile*.
2. Kapasitas tiang tunggal pada *bored pile* ditentukan berdasarkan data sondir.
3. Keamanan pondasi *bored pile* ditentukan berdasarkan beban-beban di atasnya.
4. Kapasitas kelompok tiang dihitung berdasarkan jumlah tiang pada arah kanan.
5. Informasi data *soil investigation* (sondir) lapangan.

### **1.4 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulisan tugas skripsi ini adalah:

1. Mengetahui kapasitas tiang tunggal serta keamanan pondasi *bored pile* terhadap beban *box culvert*.
2. Mengetahui kapasitas kelompok tiang serta keamanan pondasi *bored pile* terhadap beban *box culvert*.

### **1.5 Manfaat Penulisan**

Manfaat dari penulisan tugas skripsi ini, antara lain:

1. Sebagai referensi untuk merencanakan *box culvert* yang ditopang oleh pondasi *bored pile*.
2. Sebagai referensi untuk merencanakan pondasi *bored pile* yang menopang *box culvert*.

## 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)

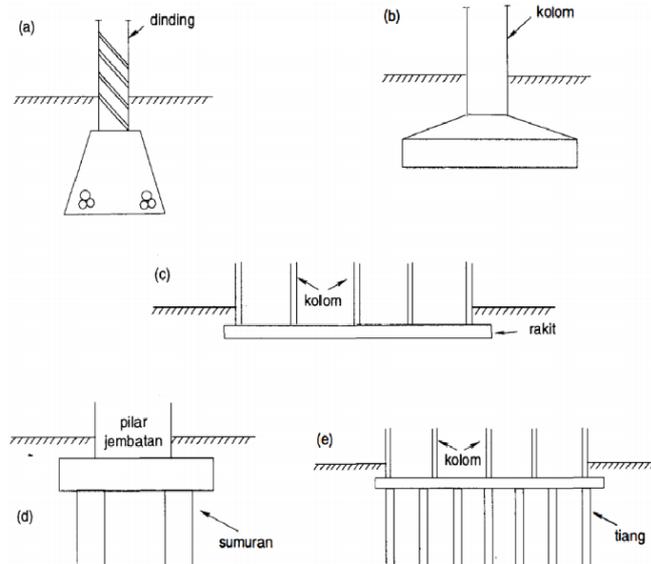
##### 2.1.1 Jenis-Jenis Pondasi

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. ditunjukkan 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 bored pile 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 pelaksanaan

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

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 (*Bored pile*)

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  $15 \text{ m}$ . Pondasi tiang

suatu konstruksi yang mampu menahan gaya *orthogonal* ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan.

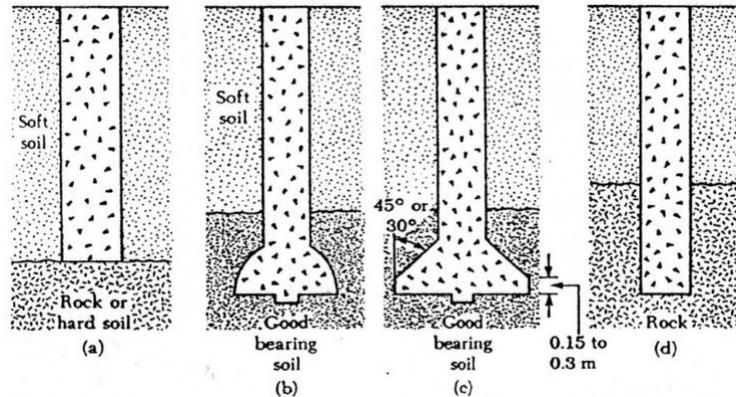
Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi Sosrodarsono & Nakazawa (1983), perencanaan pondasi bored pile mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahap yang meliputi studi kelayakan 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. Bored pile 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 bored pile 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 *bored pile* seperti terlihat pada Gambar 2.2 yaitu:

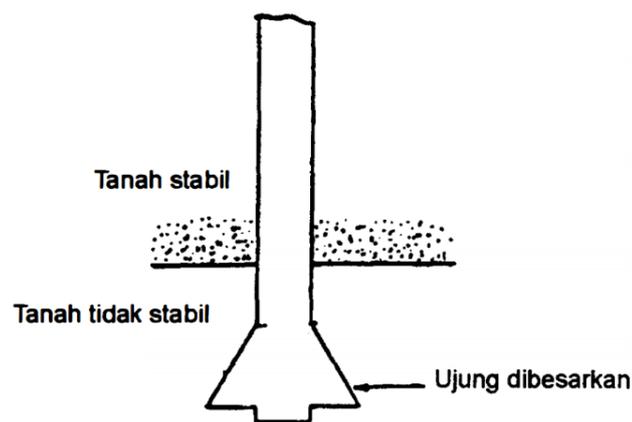
- a. *Bored pile* lurus untuk tanah keras
- b. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
- c. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium
- d. *Bored pile* lurus untuk tanah berbatu-batuan



Gambar 2.2. Jenis-jenis pondasi bored pile

Sumber: Braja M. Das, 1941

*Bored pile* 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 *bored pile*, 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

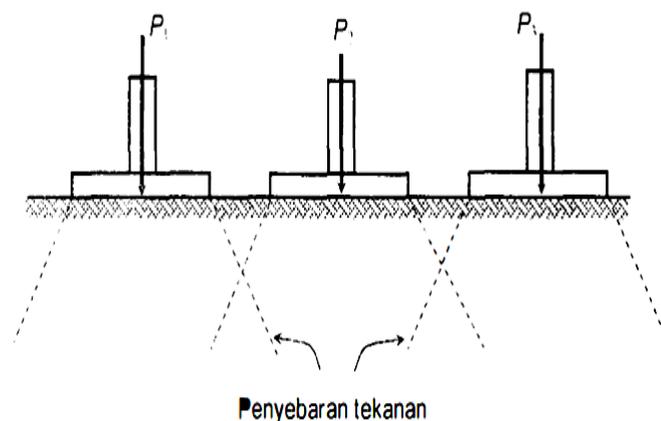
#### 2.1.4 Pondasi pada Tanah Lempung

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. Hitungan kapasitas dukung pondasi pada tanah lempung dilakukan pada tinjauan analisis tegangan total atau digunakan kuat geser *tak 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 ( $D_f + 1,5 N$ ), dengan  $D_f$  adalah kedalaman dasar pondasi dari muka tanah dan  $N$  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 diletakkan 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 di bagian 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 ke lapisan 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 melesak ke bawah, sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan. Oleh karena itu, hitungan kapasitas dukung tanah perlu diperhitungkan terhadap pengaruh penyebaran beban pada lapisan lunak di bawahnya.

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 di atas berfungsi sebagai pondasi rakit bagi beban pondasi sebenarnya.

Menurut Terzaghi & Peck (1948), nilai pendekatan hubungan antara nilai  $N$  dari  $SPT$ , konsistensi tanah, dan perkiraan kapasitas dukung aman ditunjukkan dalam Tabel 2.1. 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 relatif berjauhan, maka masih dimungkinkan 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 Kapasitas Dukung Bored pile

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, atau
- 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.

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 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 *bored pile* 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 ( $kg/cm^2$ )

$Ap$  = luas penampang tiang ( $cm^2$ )

$K$  = keliling tiang (cm)

$JHP$  = Jumlah hambatan pelekak ( $kg/cm$ )

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 pelekat (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:

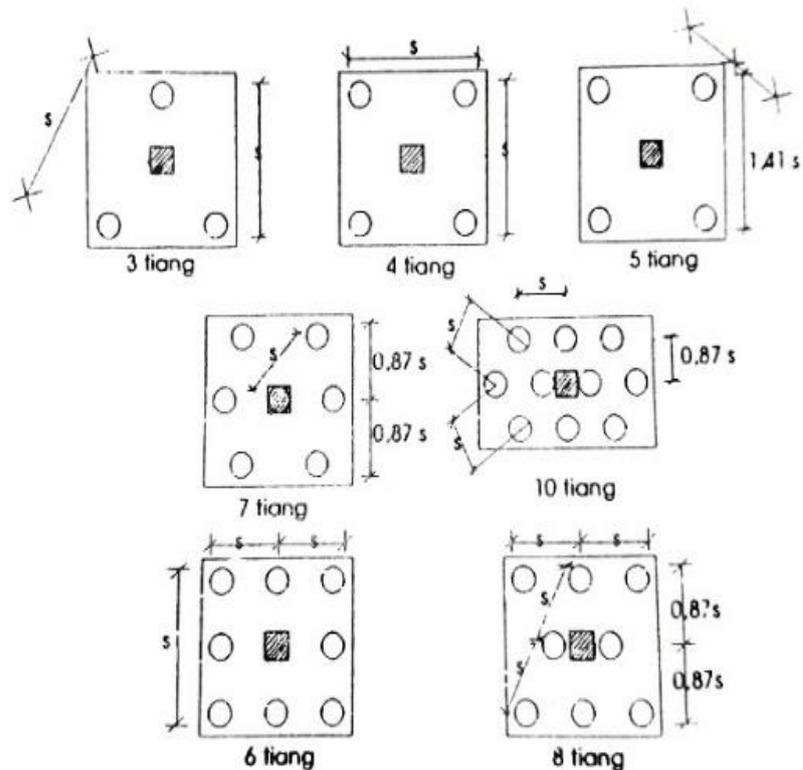
$\pi$  = 3,14

$d$  = diameter tiang (cm)

### 2.2.3 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 2.5.

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 2.5. Susunan tiang  
 Sumber: Suryolelono, 1994

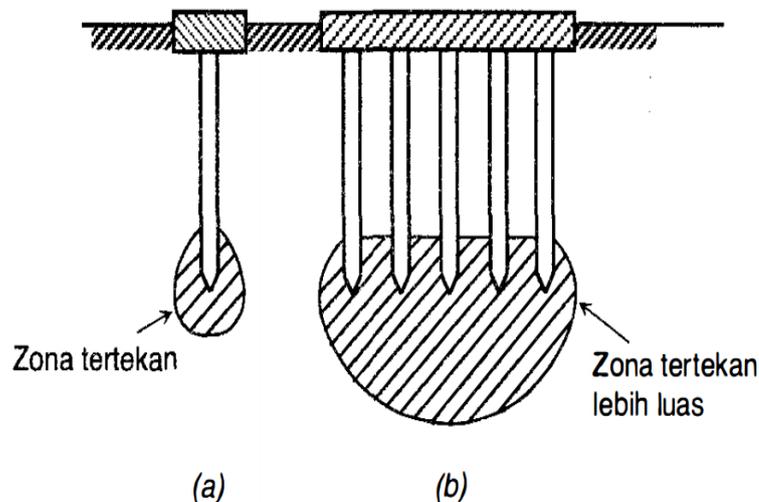
#### 2.2.4 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

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.

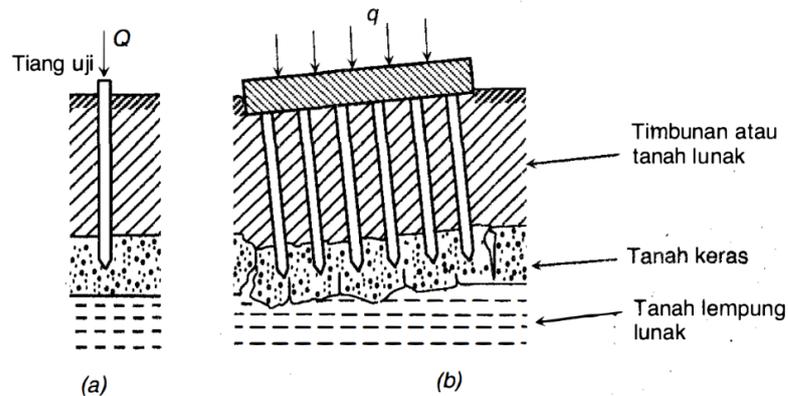
Tiang-tiang dipancang pada lapisan yang agak kuat tapi dapat mampat (misalnya lempung kaku), atau dipancang pada lapisan yang tidak mudah mampat (misalnya pasir padat), tetapi lapisan tersebut berada di atas lapisan tanah lunak, maka kapasitas kelompok tiang mungkin lebih rendah dari jumlah kapasitas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



Gambar 2.6 (a,b). 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 2.6.(a) Gambar 2.6.(b).

Menurut Tomlinson (1997), menjelaskan perbedaan pengaruh tekanan tiang pada tanah pendukung untuk tiang tunggal dan kelompok tiang, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7. a 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 2.7 b). Tiang-tiang didukung oleh lapisan tanah kuat, yang berada di atas lapisan lunak.



Gambar 2.7 (a,b). Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung  
 Sumber: Hardiyatmo, 2011

Lapisan tanah padat tidak mengalami tekanan yang besar pada tiang tunggal (Gambar 2.7) 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.

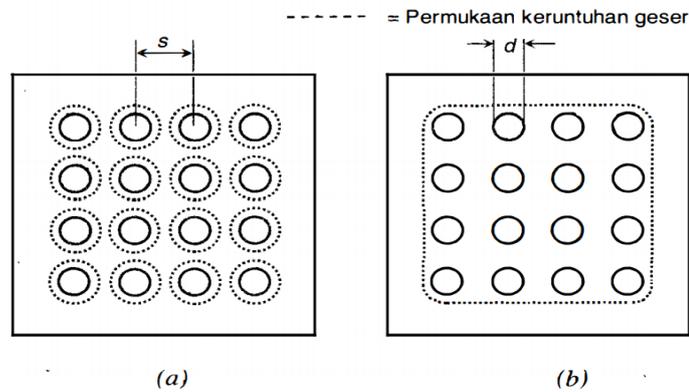
Kasus di mana pondasi tiang secara keseluruhan berada dalam tanah lempung lunak, maka tiang-tiang dalam mendukung beban sebagian besar didukung oleh tahanan geseknya. Kondisi pondasi tiang semacam ini, disebut pondasi tiang apung (*floating pile*).

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 2.8 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

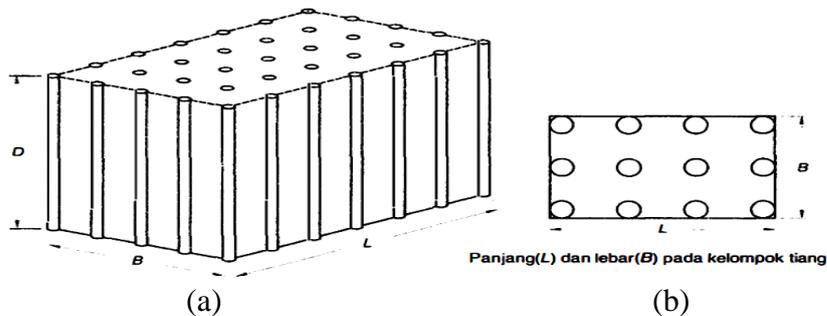
oleh kelompok tiang dan tanah yang terkandung di dalamnya, dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang.



Gambar 2.8 (a,b). Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang  
 Sumber: Hardiyatmo, 2011

Saat tanah yang mendukung beban kelompok tiang ini mengalami keruntuhan, maka model keruntuhannya disebut *keruntuhan blok* (Gambar 2.8 b). Mekanisme keruntuhan yang demikian dapat terjadi pada tipe-tipe tiang pancang maupun *bored pile*.

Panjang dan jumlah tiang tertentu dalam satu kelompok, terdapat suatu jarak kritis, dimana mekanisme keruntuhan berubah dari bentuk keruntuhan blok menjadi bentuk keruntuhan tiang tunggal. Untuk jarak tiang yang kurang dari jarak kritisnya, keruntuhan terjadi dengan bidang runtuh (bidang gelincir) yang mengelilingi kelompok tiang-tiang terlihat pada (Gambar 2.9 b). Untuk jarak tiang yang besar, keruntuhan terjadi dengan masing-masing tiang menembus lapisan lempungnya, sehingga terjadi gerakan relatif antara tanah lempung dan tiang-tiang terlihat pada (Gambar 2.9 a) Jarak kritis tiang-tiang bertambah, jika jumlah tiang dalam kelompoknya bertambah.



Gambar 2.9(a,b). 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>)

$c_b$  = Kohes 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  $3 \times 3$ , dan lebih kecil dari  $2,25d$  untuk tiang yang berjumlah  $9 \times 9$ . Untuk jarak tiang yang lebih besar, keruntuhan akan berupa keruntuhan tiang tunggal.

#### 2.2.5 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

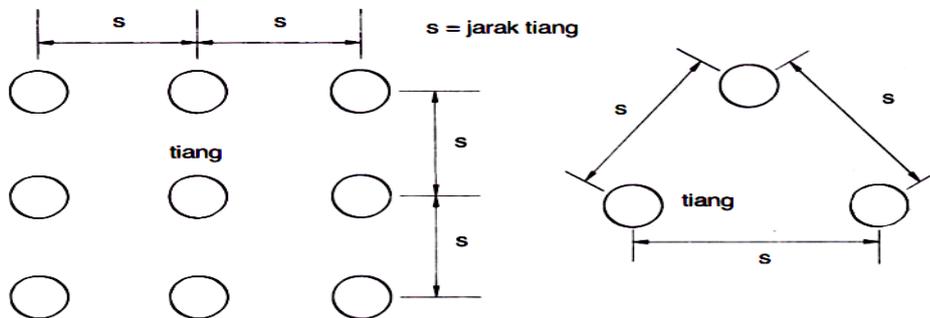
$n$  = Jumlah tiang dalam satu baris

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

$s$  = jarak ke pusat tiang (cm)

$d$  = diameter tiang (cm)

Untuk defenisi jarak  $s$  dalam hitungan efisiensi tiang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Defenisi 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

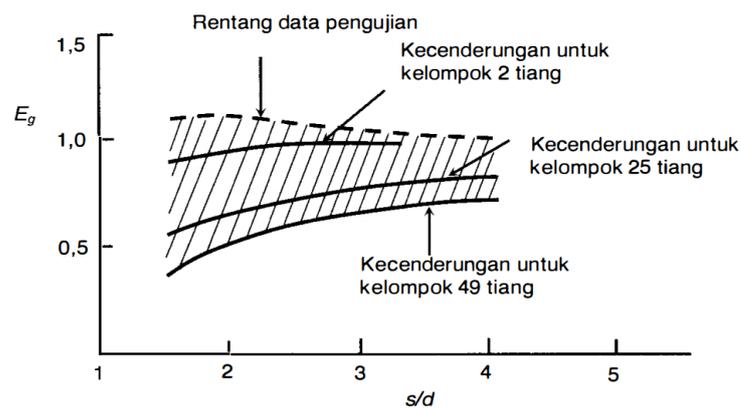
$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$n$  = Jumlah tiang dalam satu baris

$Q_u$  = Kapasitas ultimit tiang tunggal

$N_c$  = Faktor kapasitas dukung

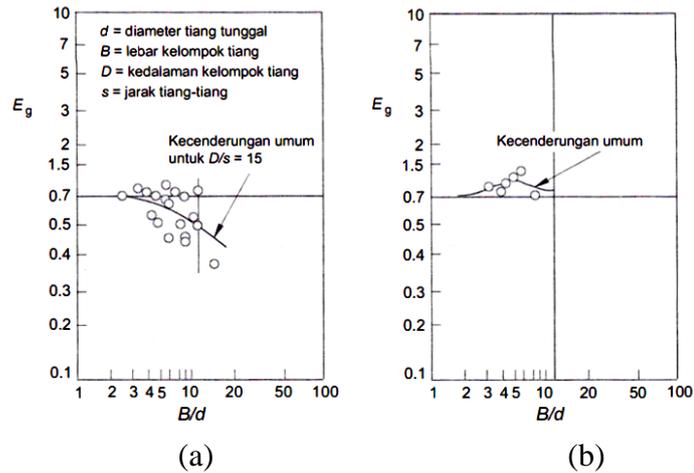
Kerusakan struktur tanah saat proses pemancangan (tiang pancang) atau pengeboran (*bored pile*), relatif kecil di sekeliling dan ujung tiang. Untuk ini, Tomlinson (1963), menyarankan kohesi ( $c_u$ ) tanah dasar sebaiknya diambil dari kuat geser tanah asli. Jika tiang dirancang untuk mendukung beban 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 2.11.



Gambar 2.11. Efisiensi kelompok tiang pada tanah kohesif  
Sumber: Hardiyatmo, 2011

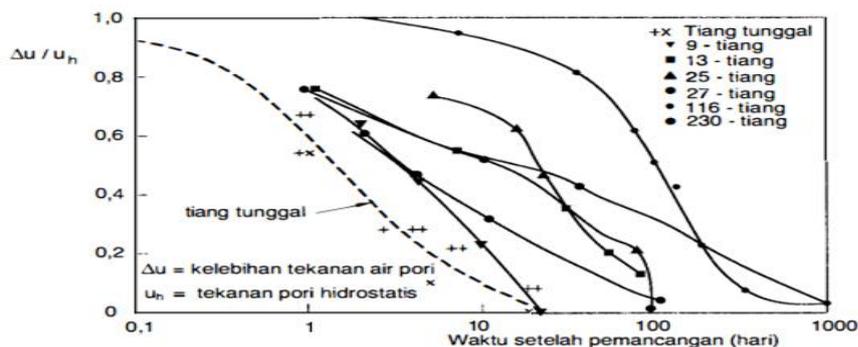
Menurut O'Neill (1983), mengumpulkan beberapa faktor efisiensi dari beberapa uji model tiang dalam tanah kohesif seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.12 a. Terlihat bahwa faktor efisiensi selalu lebih kecil dari 1. Hasil pengumpulan data dari uji model skala penuh diperlihatkan dalam Gambar 2.12 b. Hasil 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 2.12 (a,b). 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 2.13.



Gambar 2.13. 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.

### 2.3 *Box Culvert*

*Box Culvert* atau gorong-gorong adalah bangunan yang dibangun dibawah jalan atau jembatan yang dipergunakan sebagai jalur penghubung seperti jalan, saluran air (drainase), pipa gas, pipa kabel listrik, dan lain sebagainya. Pada dasarnya *box culvert* adalah sebuah konstruksi yang menyerupai “pipa” persegi atau persegi panjang yang terbuat dari beton bertulang untuk memperkuat konstruksi memikul beban yang di atasnya. Pengerjaannya dapat dilakukan dengan cor ditempat (*cast in site*) dan banyak juga terbuat dari beton pra cetak (*precast*). *Cast in site* adalah system pengecoran beton *cast in site* yang dilakukan di tempat. Sedangkan sistem pabrikasi *precast* (Cor Pabrik) suatu system dimana pengecoran dilakukan di pabrik yang bersifat permanen, dimana pembuatan komponen – komponen konstruksi dibuat secara masal terlebih dahulu di pabrik sehingga diperoleh komponen – komponen yang bermutu tinggi atau sesuai dengan yang direncanakan menjadi bangunan utuh dengan bantuan alat berat yaitu crane dan truck sebagai alat pengangkutan beton pracetak dari lokasi pabrik ke lokasi proyek. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Culvert>)

#### 2.3.1 Fungsi *Box Culvert*

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

- a. Saluran pembuangan drainase
- b. Mengalirkan limbah saniter, maupun limbah air kotor, untuk dialirkan ke sungai terdekat.
- c. Utilitas saluran air bersih, kabel PLN, kabel telepon, dan kabel Telkom
- d. Irigasi kawasan persawahan
- e. Mengairi aliran dibawah jalan raya, jalan tol, jalan kereta api, atau bendungan
- f. Akses lalu lintas, menghubungkan jalan lama yang telah dibuat namun jalan tersebut terhalang oleh struktur lainnya yang berada di atas jalan tersebut, biasanya status jalan tersebut adalah jalan kolektor yang dilalui kendaraan

dengan jumlah yang besar, selain sebagai penghubung *box culvert* juga sebagai jalur alternative untuk mengurangi kemacetan

### 2.3.2 Tipe-Tipe *Box Culvert*

Dalam hal ini, *box culvert* memiliki tipe atau juga bentuk-bentuk yang berbeda dan fungsinya. Tipe – tipe *box culvert* yang dimaksud adalah sebagai berikut:

a. *Box Culvert* untuk Saluran pembuangan Saniter / drainase

*Box Culvert* jenis ini adalah perangkat berupa saluran yang di dalamnya mengalir limbah saniter, maupun limbah air kotor untuk disalurkan ke sungai terdekat. Dalam merancang *box culvert* jenis ini yang penting diperhatikan adalah topografi setempat untuk menghasilkan kemiringan yang optimum, sehingga jalannya limbah tidak tersendat, jenis *box culvert* yang digunakan dapat berupa *precast* (Gambar 2.14)



Gambar 2.14. *Box Culvert* Precast

Sumber: <https://id.pinterest.com/pin/412360909624256420>

b. *Box Culvert* untuk Terowongan.

*Box Culvert* jenis ini fungsinya untuk melindungi berbagai macam utilitas, seperti utilitas saluran air bersih, utilitas kabel PLN, utilitas kabel telepon, dan utilitas kabel Telkom. *Box Culvert* jenis ini biasanya terletak dibawah tanah dan fungsinya untuk melindungi berbagai utilital tersebut, sehingga pada umumnya *box culvert* jenis ini berukuran kecil dan menggunakan *box culvert* precast. *Box culvert* jenis ini harus memiliki ketahanan yang baik terhadap air,

serangan binatang pengerat, dan bukan struktur yang mudah terbakar mengingat pentingnya utilitas yang ada dalam *box culvert* tersebut.

c. *Box Culvert* untuk Irigasi

*Box Culvert* untuk saluran air / irigasi adalah perangkat yang memiliki kekuatan struktur yang tinggi untuk dapat menyalurkan air yang melewati gorong – gorong tersebut. *Box culvert* jenis ini sering didapati di bawah jalan tol yang melintasi kawasan persawahan yang membutuhkan pengairan yang memadai, pada dasarnya dimensi dari *box culvert* ini berukuran besar karena disesuaikan dengan saluran irigasi yang telah ada dan pengerjaan *box culvert* jenis ini menggunakan metode pengecoran di tempat (*cast in site*), seperti Gambar 2.15



Gambar 2.15. Box Culvert cast in place

Sumber: <https://www.behance.net/gallery/4056619/Cast-In-Place-Box-Culvert-Design-and-Construction>

2.3.3 *Box Culvert* Cekungan Penangkap air

*Box Culvert* jenis ini biasanya digunakan sebagai perangkat untuk menyalurkan air yang mengalir untuk melewati sebuah jalan raya, jalan kereta api atau bendungan. Sehingga bagian atasnya sering dimanfaatkan sebagai jembatan atau jalan raya. Selain bentuk kotak, ada bentuk lain, yaitu : *Arch Culvert* (Gambar 2.16) yang menggabungkan kekuatan struktur dan estetikan (keindahan). *Arch Culvert* menjadi alternatif pilihan bentuk gorong – gorong atau mengganti struktur jembatan konvensional.



Gambar 2.16. Arch Culvert

Sumber: <http://www.lisaconcrete.com/product/arch-culvert>

#### 2.3.4 Box Culvert untuk Lorong Bawah Tanah (Akses lalu lintas)

*Box Culvert* yang digunakan sebagai akses lalu lintas adalah lorong yang fungsinya menghubungkan jalan lama yang telah dibuat namun jalan tersebut terhalang oleh struktur lainnya yang berada di atas jalan tersebut, selain sebagai penghubung *box culvert* juga sebagai jalur alternatif untuk mengurangi kemacetan. Berikut ini terlihat empat buah tipikal *underpass* yang telah dimanfaatkan seperti Gambar 2.17, Gambar 2.18., Gambar 2.19.



Gambar 2.17. Tipikal Underpass

Sumber: <https://fdokumen.com/document/10-bab-ii-box-culvert.html>



Gambar 2.18. Box Culvert memiliki spigot dan socket

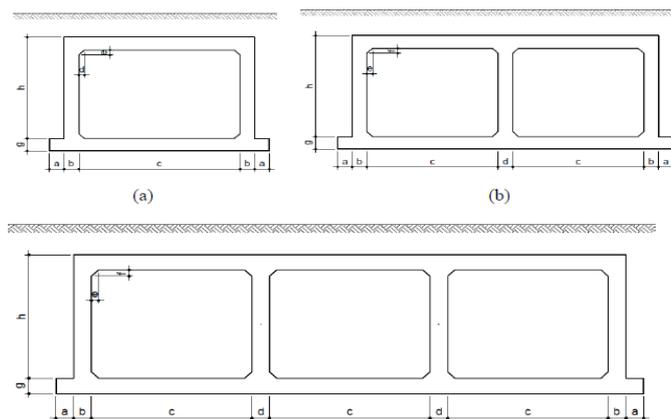
Sumber: <https://fdokumen.com/document/10-bab-ii-box-culvert.html>



Gambar 2.19. *Reinforced Concrete Box Culvert Box (RCBC)*

Sumber: <https://fdokumen.com/document/10-bab-ii-box-culvert.html>

Salah satu tipe box culvert yang digunakan untuk lorong lalu lintas yaitu *RC Box Culvert (RCBC)* biasa disebut *Reinforced Concrete Box Culvert*, adalah salah satu produk precast yang dapat digunakan sebagai jembatan. Produk ini dapat digunakan dan dirancang untuk segala jenis pembebanan, baik beban berat maupun ringan. RCBC ini terdiri dari 2 komponen yaitu *Top Component* dan *Bottom Component*. *Box Culvert* di rancang dengan berbagai fungsi dan kegunaan, yang memiliki beberapa jenis yang dibedakan berdasarkan jumlah cellnya, seperti : box culvert 1 *cell*, 2 *cell*, dan 3 *cell*, terlihat pada gambar 2.20. *Cell* di sini merupakan lorong atau saluran yang terbentuk melalui keempat sisinya dan diberi penguat di setiap sudut sisinya dengan struktur berbentuk segi empat, seperti tipikal dibawah ini.



Gambar 2.20 (a,b,c). Tipikal *Box Culvert*

Sumber: <https://fdokumen.com/document/10-bab-ii-box-culvert.html>

## 2.4. Analisis *Box Culvert*

Dalam analisis *Box Culvert* dengan pondasi tiang digunakan beberapa anggapan antara lain:

1. Beban – Beban yang bekerja pada struktur.
2. Kombinasi Pembebanan.

### 2.4.1 Beban – beban yang bekerja pada struktur *box culvert*

Beban – beban yang bekerja pada struktur diambil berdasarkan standar SNI 1725 : 2016, yaitu :

1. Beban mati komponen structural / berat sendiri (MS)  
Beban yang diakibatkan oleh berat sendiri komponen – komponen structural itu sendiri.
2. Beban mati non structural (MA)  
Beban yang diakibatkan oleh elemen nonstructural, yaitu : berat rel, bantalan, alat penambat, ballast, genangan air, lapisan aspal, dan tanah timbunan.
3. Beban lateral kereta  
Beban lateral dari kereta bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besarnya adalah 15% atau 20% dari beban ganda untuk masing – masing lokomotif.
4. Beban rel panjang longitudinal  
Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, dan maksimal 2000 kN secara longitudinal.
5. Beban hidup dan beban kejut  
Beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM 21). Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta.
6. Beban akibat pejalan kaki dan kendaraan ringan  
Beban yang diakibatkan pejalan kaki hingga kendaraan ringan, beban hidup diambil berdasarkan SNI 1721:2016 dimana beban hidup maksimal akibat pejalan kaki hingga kendaraan ringan diambil sebesar 5 KPa.

## 7. Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah :  $3,0 \text{ kN/m}^3$  pada areal proyeksi vertical jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian,  $2,0 \text{ kN/m}^2$ , pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal system lantai. Dan,  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian  $1,2 \text{ kN/m}^2$  untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan  $0,8 \text{ kN/m}^2$  untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

### 2.4.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 dimana komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan I untuk kombinasi beban – beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas, sebagai berikut :

#### a. Kuat I

Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya – gaya yang timbul pada jembatan dalam nominal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan factor beban yang sesuai.

#### b. Kuat II

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul berat kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

#### c. Kuat III

Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan  $90 \text{ km/jam}$  hingga  $126 \text{ km/jam}$ .

#### d. Kuat IV

Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

#### e. Kuat V

Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan  $90 \text{ km/jam}$  hingga  $126 \text{ km/jam}$ .

f. Ekstrem I

Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma_{EQ}$  yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

g. Ekstrem II

Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

h. Layan I

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada struktur beton bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

i. Layan II

Kombinasi pembebanan yang ditunjukkan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan slip pada sambungan akibat beban kendaraan.

j. Layan III

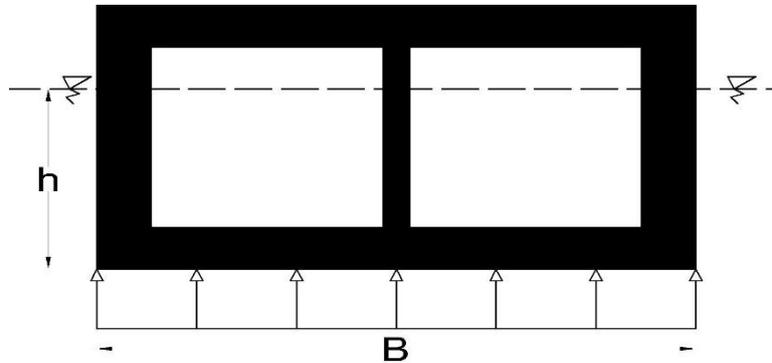
Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian beban dari jembatan beton segmental.

k. Layan IV

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

### 2.4.3 Kontrol Uplift (Dorong)

Gaya tekan ke atas (*Uplift*) yang bekerja pada lantai bangunan adalah sama dengan berat volume air yang dipindahkan oleh bangunan :



Gambar 2.21 Gaya Uplift *Box Culvert*  
Sumber : *Kriteria Perencanaan 06, 2009:67*

Rumus dari kontrol uplift (dorong), ialah :

$$P_u = B \cdot h \cdot \gamma_w$$

Dimana :

$P_u$  = Gaya tekan air ke atas (t)

$B$  = Lebar saluran (m)

$h$  = Tinggi muka air (m)

$\gamma_w$  = Berat Jenis Air ( $t/m^3$ )