

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum.**

Pada bangunan konstruksi dimana bersandar atau bertumpu pada lapisan tanah wajib adanya fondasi. Sedangkan fondasi memiliki penjelasan yaitu, sebuah bagian sistem daripada struktur bawah (*bottom structure*) yang harus bisa menahan berat sendiri tiangnya dan juga harus bisa menahan semua beban dari struktur atas bangunan gedung tersebut, lalu diteruskan kedalam lapisan tanah dan batuan yang ada dibawah struktur atasnya. Oleh karena itu pondasi yaitu untuk bagian dari struktur yang berada di kedudukan terbawah diharuskan bisa menahan berat di struktur diatas fondasinya. (Braja, 1993:115).

#### **2.2 Pembebanan.**

Pada umumnya berat.beban yang beroperasi di bangunan gedung yang berstruktur ialah beban.hidup atau *live load*, *dead load* atau beban mati, *wind load* atau beban angin, juga *seismic load* atau beban gempa.

##### **2.2.1 Pembebanan pada.Beban.Mati (D).**

Pada (SNI 1727 2020:21) *dead load* atau beban.mati adalah berat non struktur yang berada di banguna strukturnya sendiri. Contohnya yaitu.dinding struktur atas, plafond, tangga, lantai, dan lantai finishing dan sebagainya. Selanjutnya beban mati dihitung terlebih dahulu pada setiap lantainya yang selanjutnya ditotal keselurusanya sesuai dengan tingkatan strukturnya :

##### 1) Perhitungan Dead Load atau Beban Mati (D)

Saat menghitung beban struktur atas, meliputi berat dari pada pelat, kolom, balok, juga beban non struktur berdasarkan berat satuan dan juga berat jenis di struktur tersebut.

- Berat pada Pelat Lantai

$$\text{Berat pelat} = \text{Tebal Pelat} \times \text{A Lantai} \times \text{berat sendiri} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Berat Spesi

$$\text{Berat spesi} = \text{A Lantai} \times \text{tebal.spesi} \times \text{Bj.Beton} \dots\dots\dots(2.2)$$

- Berat.keramik lantai

$$\text{Berat.keramik} = \text{A lantai} \times \text{Bj keramik} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Berat pasangan dinding =  $h \text{ dinding} \times b \text{ dinding} \times B_j \text{ Dinding} \dots\dots(2.4)$
- Berat Sloof =  $t \text{ sloof} \times l \text{ sloof} \times p \text{ sloof} \dots\dots\dots(2.5)$
- Berat Kolom =  $p \text{ kolom} \times l \text{ kolom} \times \text{jumlah} \times B_j \text{ beton} \dots\dots(2.6)$
- Berat non struktur =  $W \text{ struktur} \times 10\% \dots\dots\dots(2.7)$
- Berat Total = Berat non struktur + Berat struktur  $\dots\dots(2.8)$

### 2.2.2 Beban Hidup atau Live Load

Mengutip dari (SNI 1727 2020:25) pengertian dari beban hidup ialah beban yang bekerja akibat penghuni atau pekerja itu sendiri dan berat pada lingkungan sekitar antara lain beban.angin,.gempa,.dan juga beban.hujan ialah.beban.hidup.

### 2.2.3 Wind Load atau Beban Angin (W)

Berat yang terjadi akibat angin terdapat dua jenis antara lain beban angin yang positif.(tekanan) juga.beban angin negative.(isapan), tekanan yang terjadi akibat.angin bernilai.satuan.kg/m<sup>2</sup>. Angin.yang meniup bangunan mengakibatkan energi kinetic yang terjadi pada bangunan yang dilintasi lintasan angin, energi itu diubah menjadi sebuah energi potensial yang berbentuk angin positif atau tekanan dan angin negatif atau isapan yang akan terjadinya angin yang berbelok atau berhenti.

### 2.2.4 Beban Gempa

Pada saat merencanakan fondasi, gaya gempa yang terjadi diperlukan untuk diperhitungkan supaya didapat sebuah reaksi.maksimal yang.bekerja. Gaya.gempa yang berpedoman pada (SNI-172- tahun-2012). Pada studi perencanaan pondasi tiang bor pada Rumah Sakit Sehati Gresi ini digunakan metode analisa static.ekivalen.

#### 2.2.4.1 Faktor Kategori Risiko juga Keutamaan dari Struktur.Bangunan.

Waktu dilihat pada dibawah table 2.1. yaitu kategori resiko pada struktur bangunan.gedung disesuaikan seperti di table 2.2. ( pengaruh.gempa.rencana ) dan dua-duanya wajib dikaitkan.

Jenis-jenis pemanfaatan	Kategori Keresiokaan
Jenis dari pemanfaatan kategori resiko untuk pemanfaatan gedung adalah	
Rumah sakit dan fasilitas kesehatan yang memiliki fasilitas bedah UGD	4

Sumber : SNI 1726 2012 : 15

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa
1-2	1,00
3	1,25
4	1,50

Sumber : SNI 1726 2012 : 15

#### 2.2.4.2 Pengklasifikasian.Situs.Tanah.

Pada kriteria dari desain seismic di suatu bangunan bergedung maupun non gedung saat di permukaan tanah, yang pertama dilakukan yaitu harus mengklasifikasi situs. Tipe suatu kelas situs wajib ditetapkan seperti pada table 2.3.

**Table 2. 1** Pengklasifikasian Lapisan Situs Tanah

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Pada SNI-1726-2012 : 17, pada lapisan sebuah tanah yang bersifat kohesif, bebatuan, juga lapisan.tanah yang bersifat tidak.kohesif, menentukan nilai standar penetrasi dengan cara :

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

$D_i$  : Ketebalan pada lapisan dengan *range* kedalaman 0 – 30m

$N_1$  : Nilai standar penetrasi yaitu 60% dari energy (N 60)

### 2.2.4.3 Klasifikasi Situs Tanah

Saat ditentukannya nilai spektral respon percepatan gempa (MCER) di permukaan lapisan tanah, diperlukan sebuah faktor *seismic* saat  $F_a$  atau saat periode pendek dan pada saat  $F_v$  atau periode 1 detik. Parameter dari respon percepatan spectral saat periode pendek (SMS juga saat periode 1 detik (SM1) menyesuaikan pada pengaruh klasifikasi situs juga ditentukan oleh persamaan sebagai berikut 2.10. Untuk mencari nilai dari  $S_{MS}$ , untuk mencari nilai  $S_{M1}$  digunakan persamaan 2.11. :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.11)$$

Arti symbol :

$S_s$  = Parameter daripada respon spectral untuk percepatan dari gempa, dipetakan untuk periode waktu yang pendek

$S_1$  = Parameter daripada respon spectral untuk percepatan dari gempa, dipetakan untuk periode waktu 0.1 second

Koefisien nilai dari ditentukannya bisa dilihat pada table 2.4 dan table 2.5 pada (SNI 1726 2019 : 34)

Kelas Situs	Paramater respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \leq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Catatan :

- Kelas situs yang diperlukannya penyelidikan dari geoteknik dari sebuah analisa respon pada situs yang spesifik.

Kelas Situs	Paramater respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

#### 2.2.4.4 Parameter.Percpatan.Seismic.( $SM_1$ , & $SM_S$ ) juga.Percpatan.Desain.Seismic ( $S_{d1}$ , dan $S_{ds}$ )

.percepatan.gempa di periode waktu pendek ( $S_{DS}$ ) dan untuk periode waktu 1 detik ( $S_{D1}$ ) sesuai dengan pedoman dari SNI 1726 tahun 2019 nilai  $S_{DS}$  dapat dirumuskan dengan persamaan (2.12) sedangkan untuk nilai  $S_{D1}$  dirumuskan pada persamaan (2.13) :

$$S_{DS} = 2/3 S_{ms} \dots\dots\dots(2,12)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{D1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Pada saat perhitungan dari gaya geser yang diakibatkan dengan adanya berat lateral dengan ditanggung pada sebuah gedung gedung perlu diketahui besar dari nilai  $S_s$  dan  $S_1$  waktu didapat dari situs web Desain Spectra Indonesia untuk analisa zona wilayah gempa pada lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Sehati Gresik. Data analisa gempa yang didapatkan dapat didapat pada situs (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>).

#### 2.2.4.5 Pengkategorian Design Seismic.

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

#### 2.2.4.6 Penentuan Periode

Pada saat menghitung periode fundamental ( $T_a$ ), pada satuan detik (SNI-1726-2019 :72) Didapatkan persamaan sebagai berikut pada bangunan struktur tinggi lantai tidak melebihi 12 lantai dengan persamaan rumus :

$$T_a = 0,1 \times N \dots\dots\dots(2.14)$$

N = Jumlah lantai

Pada gedung bangunan yang lebih dari 15 lantai :

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots(2.15)$$

$h_n$  = Ketinggian struktur, dalam (m), di atas samapai tingkat tertinggi struktur

$C_t$  = Koefisien seismic perioda (di tentukan dari Tabel 2.9)

$x$  = Ditentukan di table 2.8

Keterangan :

$h_n$  = Ketinggian Struktur, satuan (m), di atas sampai pada lantai tertinggi gedung.

$C_t$  = Koefisien dari periode seismic (ditentukan pada table.2.9)

$x$  = ditentukan pada table.2.9

**Tabel 2. 8** Koefisien batas periode terhitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $\ddot{u}_{e1}$	koefisien
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : (SNI-1726- 2019:72)

**Tabel 2. 9** Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $X$

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
Sistem pemikul rangka momen dimana rangka yang dipikul 100%, gaya gempa disyaratkan dan tidak dilingkup atau di kaitkan pada komponen yang lebih kaku bisa mencegah rangka akibat defleksi juga dikenal gaya seismic:		
Rangka Pemikul Momen (Baja)	0.0724	0.8
Rangka Pemikul Momen ( Baja, Beton)	0.0466	0.9
Rangka Dengan Bracing Eksentri (Baja)	0.0731	0.75
Rangka Dengan Bracing Terkekang Terhadap Tekuk	0.0731	0.75
Semua system struktur lainnya	0.0488	0.75

Sumber: (SNI-1726-2019:72)

**2.2.4.7 Koefisien.Respon.Seismic (Cs)**

Nilai  $C_s$  dihitung dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan

$S_{DS}$  = Percepatan parameter spektrum.respon.design.

R = Pemfaktoran Modifikasi Respon.

Le = Faktor.Keutamaan.Gempa..

Saat perhitungan dari Cs dipersamaan di atas, nilai Cs dilarang lebih dari hasil persamaan berikut :

$$C_{s \text{ maks}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.17)$$

Cs tidak diperbolehkan kurang dari  $C_{s \text{ min}}$ , nilai tersebut dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_{s \text{ min}} = 0,044 S_{DS} I_e > 0,01 \dots\dots\dots(2.18)$$

#### 2.2.4.8 Gaya.Geser.Daya Sismic.

Saat ditentukanya gaya geser daya seismic saat berada pada arah yang telah ditentukan ditentukan pada penggunaan persamaan di bawah :

$$V = . W \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

$C_s$  = Koefisien.respon seismic yang ditentukan.

W = Berat Seismic Efektif.

#### 2.2.4.9 Pendistribusian Gaya Gempa Arah.Vertikal

Pada (SNI 1726 2012) nilai  $F_x$  atau gempa lateral nantinya dibagi pada.semua.jumlah titik yang sudah ditentukan :

$$F_x = C_{vx} . V \dots\dots\dots(2.20)$$

Juga persamaan

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_i^n w_i \cdot h_i^k} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangn :

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertical gempa.

V = Gaya lateral *design* total atau di dasar struktur (Kn)

$w_i$  dan  $w_x$  = Bagian denyutan dari beban seismic efektif total struktur (W) yang diletakan pada tingkat i atau x.

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi daripada dasar tingkat i atau x

K = Eksponen terbelit dengan periode struktur

Seperti berikut :

- Pada struktur yang memiliki periode 0.5 detik atau kurang dari,  $k = 1$ .
- Pada struktur yang memiliki periode sebesar 2,5 Detik atau lebih,  $k = 2$ .
- Pada struktur yang memiliki perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

#### 2.2.4.10 Beban Kombinasi bangunan

Pada perhitunga pembebanan yang telah dikombinasikan juga di aplikasikan pada *software* StaadPro V.81 beban-beban dikombinasikan sesuai dengan pedoman dari (SNI-1726- 2019:26 : 27). Pada perencanaanya dipakai 2.kombinasi.pembebanan yaitu :

##### Kombinasi beban saat Metode Ultimit

- 1.)  $1.4D$
- 2.)  $1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
- 3.)  $1.2D + 1.6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5 W)$
- 4.)  $1.2D + 1.0 W + L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
- 5.)  $1.2D + 1.0 E + L$  ~~6.~~  $0.9D + 1.0 W$ .
- 6.)  $0.9D + 1.0 E$

##### Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit.

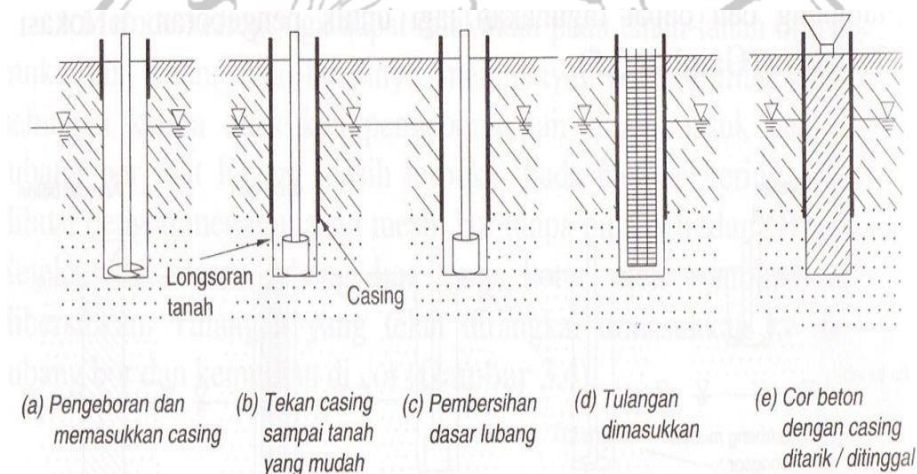
- 1.)  $D$ .
- 2.)  $D + L$ .
- 3.)  $D + (Lr \text{ atau } R)$
- 4.)  $D + 0.75 L + 0.75 (Lr \text{ atau } R)$
- 5.)  $D + (0.6 W \text{ atau } 0.7 E)$
- 6.)  $D + 0.75 (0.6 W \text{ atau } 0.7 E) + 0.75 L + 0.75 (Lr \text{ atau } R)$
- 7.)  $0.6 D + 0.6 W$ .
- 8.)  $0.6 D + 0.7 E$ .



## 2.3 Fondasi *Bore Pile*.

### 2.3.1 Fondasi *Bore Pile*.

Pada studi perencanaan yang akan dibahas menggunakan fondasi *bore pile*. Fondasi tiang bor atau *bore pile* ialah berjenis kedalam pondasi dalam yang dibuat langsung pada lokasi proyek pembangunan. Pertama-tama pada saat membangun fondasi, dikerjakan pengeboran pada tanah dengan titik-titik yang sudah direncanakan untuk fondasi tiang bor. Pada waktu pengecoran tiang, jika didalam tanah yang sudah dibor terdapat air maka wajib dikeluarkan. Pada saat mengecor tiang bor dengan beton, menggunakan pipa besi (*casing*) yang dipakai untuk menahan lubang di sekitar pengeboran tanah supaya tidak terjadi kelongsoran lapisan tanah. Pada saat menginstall *casing* dilakukan dengan cara dipancang yaitu tanah digetarkan dan saat pipa besi atau *casing* hingga kedalaman tiang bor yang direncanakan seperti terlihat di bawah. (Hardiyatmo, 2003:67).



Gambar 2.1 Proses pemasangan fondasi bore pile

### 2.3.2 Peralatan dalam Pelaksanaan Bore Pile

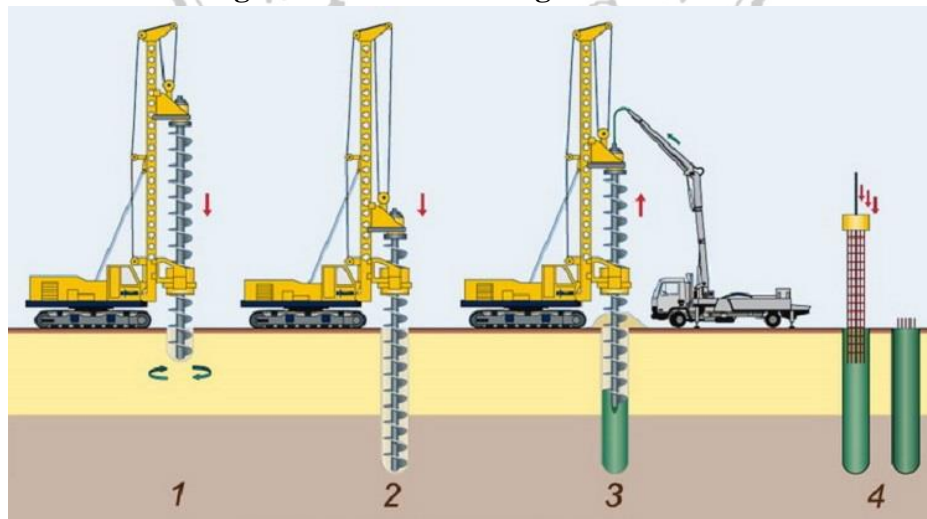
Pada pembuatan lubang tanah untuk langkah-langkah membuat pondasi *tiang bor*, alat berat tiang bor telah dikenal secara umum dengan jenis-jenis yang dimiliki. Alat pengeboran *bore pile* dengan spesifikasinya bergantung pada alat itu sendiri. Alat-alat yang sering dipakai untuk pengeboran fondasi bored pile antara lain :

- a. **Mesin Bor Mini Crane**, mesin bore pile mini crane ini terdapat beberapa bagian yaitu pada kerangka utama menara crane-nya. Material dari alat bor mini crane ini berbentuk besi untuk tempat duduk penggerak. Lalu untuk

menara crane-nya dibuat dari besi yang berbentuk pipa galvanis berdiameter 7 - 10 centimeter. Untuk panjang crane-nya sangat bervariasi yaitu antara 3 - 9 m. Mesin bor ini juga bisa dipakai untuk mengebor tanah antara 30 – 80 cm. Dan untuk kedalaman yang bisa dibor bisa mencapai 30 meter.

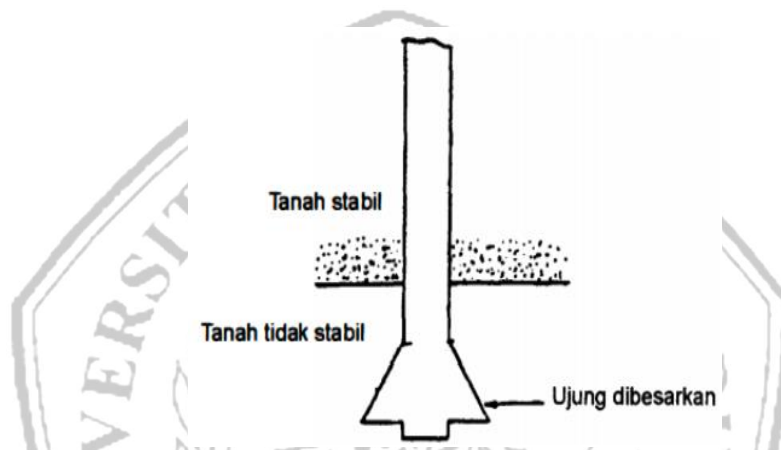
- b. **Mesin pengeboran tiang jenis gawangan**, Pada tampilannya, mesin tiang bor tipe gawangan, terdiri atas beberapa kerangka dan juga tiang dengan pipa berbentuk baja, dan pada sisi sisinya terdapat tali pengait, hal tersebut bertujuan agar terjaga keseimbangannya agar alat gawangan agar tidak roboh ke dalam tanah saat sedang mengebor. Mesin ini sendiri cukup sering dijumpai dan digunakan dikarenakan kemudahannya yang bisa dirangkai dan dibongkar dengan mudah, oleh sebab itu memudahkan prosen pengerjaanya. Alat tiang bore tipe giwangan sendiri dioperasikan secara semi manual.
- c. **Casing**, Pada saat pengeboran. Setelah mencapai kedalaman yang cukup, bisa dilakukan pemasangan *casing* agar tepi dari lapisan tanah tidak berjatuhan. Casing di pasang pada posisi tepat berada pada titik.tengah daripada.pondasi yang.sudah ditentukan. *casing* lalu dipasang menggunakan sebuah *crane* setelah itu *casing* ditekan dengan alat pondasi *bore pile*. Oleh karena itu pemasangan atau penggunaan casing merupakan hal yang wajib menjadi salah satu tahapan penting jika lapisan tanah mengandung air.

### 2.3.3 Pelaksanaan Pengeboran Fondasi Tiang Bor.



**Gambar 2.2** Proses Tahapan Pengeboran Tanah untuk Fondasi Bored Pile.

*Bore-Pile* yang mestinya dimasukan kedalam tanah dengan cara mengebor lapisan tanah, lalu lubang diisi dengan tulanga yang sudah direncanakan lalu selanjutnya yaitu dicor dengan beton. Pondasi tiang bor biasanya dipakai pada tanah stabil dan padat, oleh karena itu memungkinkan terbentuknya lubang bor yang stabil dan kaku dengan alat bor yang digunakan. Pada saat lapisan tanah mengandung air, maka *casing* diperlukan untuk menahan dinding tanah yang telah dibor setelah itu, *casing* lalu diarik ke atas secara perlahan saat pengecoran berlangsung. Pada lapisan tanah keras dengan atau batuan lunak, pada ujung pondasi dan bisa diperbesar agar menambah daya dukungnya.



Gambar 2.1 Ujung bawah pondasi bore pile.

Sumber : Hardiyatmo (2008: 67)

### 2.3.4 Prosedur Pengeboran Bore Pile

Menurut Braja M. Das, prosedur yang paling umum digunakan pada saat pengeboran yaitu ada tiga jenis metode antara lain :

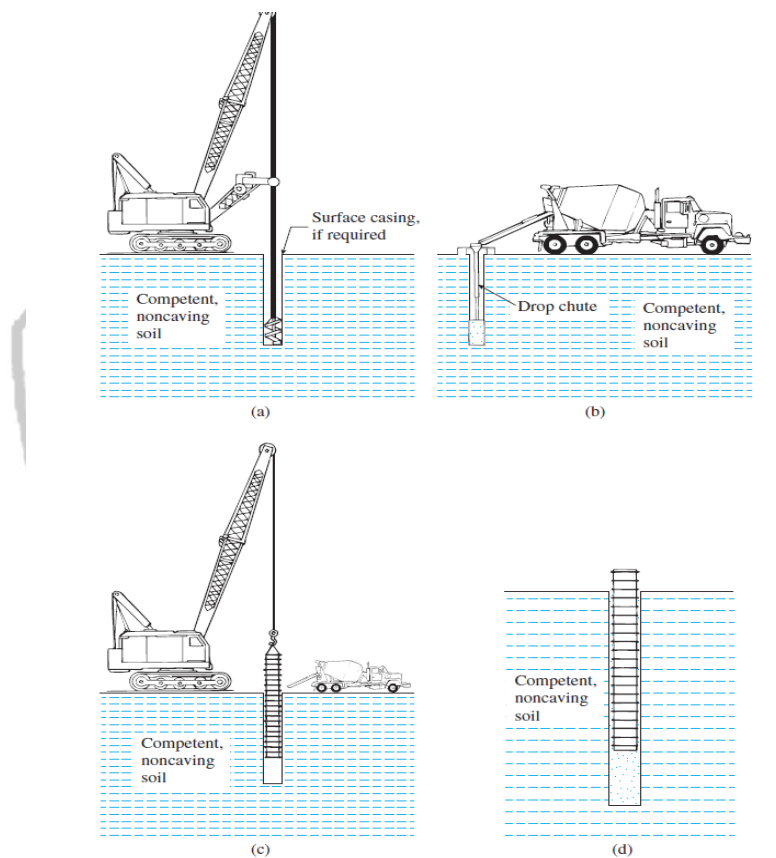
(Das, Braja M, 2011:639)

- 1) Metode kontruksi kering (*Dry Method of Construction*), digunakan pada tanah dan batuan yang berada diatas permukaan air dan tidak akan runtuh saat lubang dibor pada kedalaman penuh.

Langkah langkah dalam pengeboran bore pile dengan metode kering adalah sebagai berikut

- Langkah pertama, pada saat penggalian selesai dengan menggunakan alat pengeboran setelah dibor dan tanahnya dibuang ke luar disamping alat bor lihat pada gambar 2.3a

- Langkah kedua, beton kemudian dituangkan kedalam lubang silinder yang telah dibor tadi, lihat pada gambar 2.3b
- Langkah ketiga, jika diinginkan, tulangan ditempatkan dibagian atas tiang bisa dilihat pada gambar 2.3c
- Terakhir, pengecoran selesai dan tiang yang dibor tadi akan seperti ditunjukkan pada gambar 2.3d



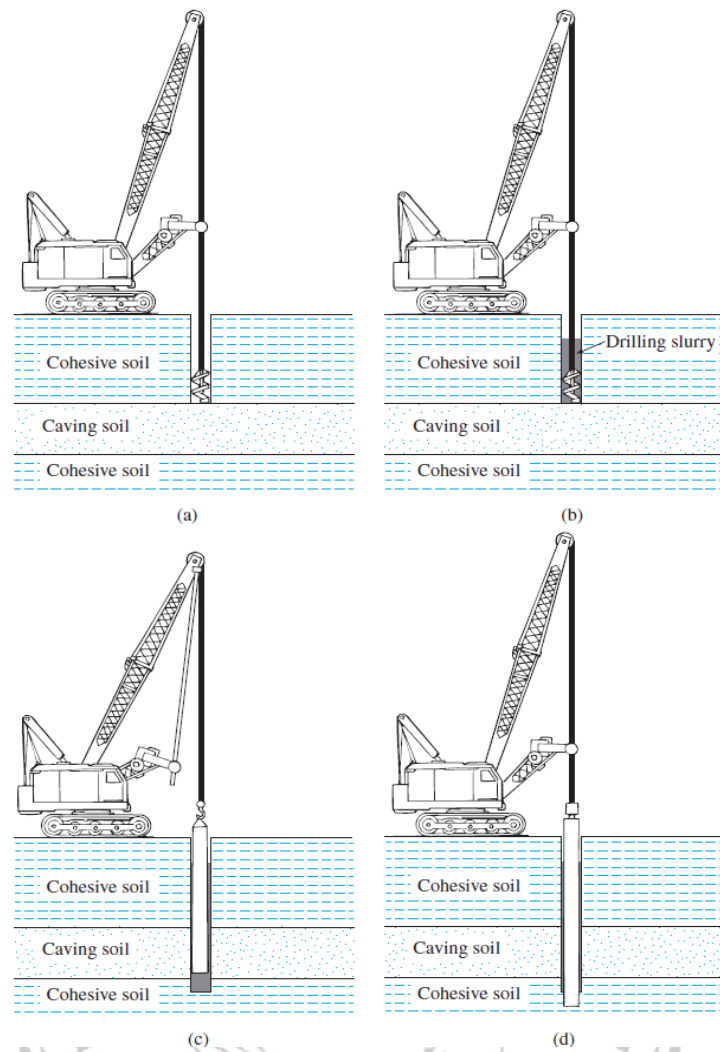
Sumber : (Das, Braja M, 2011:639)

**Gambar 2. 2** Metode Kontruksi Kering (Dry Method Contruction)

2) Metode kontruksi casing (*Casing Method of Contruction*). Metode ini digunakan pada tanah atau batuan yang kemungkinan besar akan mengalami keruntuhan atau deformasi berlebihan pada saat lubang dibor.

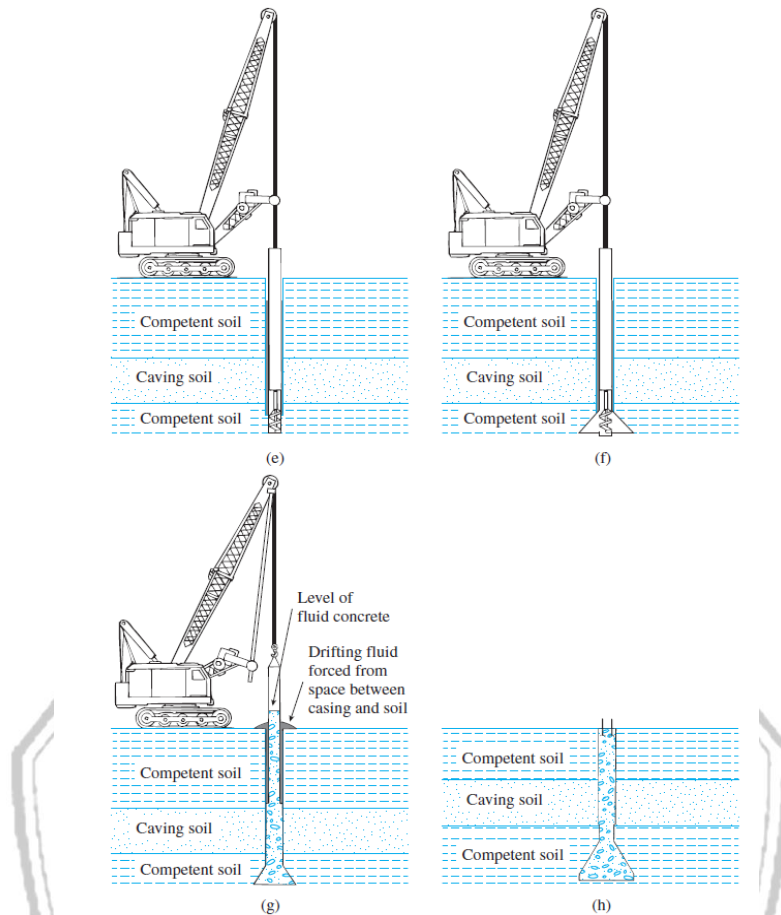
Langkah-langkah pengeboran dilakukan ditunjukkan pada gambar 2.4, dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Langkah pertama, Prosedur penggalian/pengeboran dimulai seperti pada *dry method* atau metode kering
- Langkah kedua, ketika didapati tanah berair, maka dimasukan lumpur bentonite kedalam tanah pada lubang bor, lalu pengeboran dilanjutkan hingga sampai pada lapisan tanah bebatuan yang kedap air.
- Ketiga, casing dimasukan kedalam lubang yang telah dibor
- Keempat, tanah yang bercampur air dikeluarkan dari casing menggunakan pompa submersible.
- Langkah kelima, mata bor diganti dengan yang lebih kecil dari casing dimasukan kdalam lubang galian/bor dan penggalian dilanjutkan
- Langkah keenam, jika diperlukan, dasar galian/bor diperbesar dengan menggunakan alat under reamer
- Langkah ketujuh, jika baja tulangan diperlukan maka sangkar tulangan perlu diperpanjang hingga titik akhir pengeboran kemudian beton dituangkan kedalam galian dan casing bertahap ditarik keluar.
- Pada gambar 2.3h menunjukkan tiang bir yang telah selesai.



Sumber : (Das, Braja M, 2011:641)

Gambar 2. 3 Metode Kontruksi Casing (Casing Method Contruction)

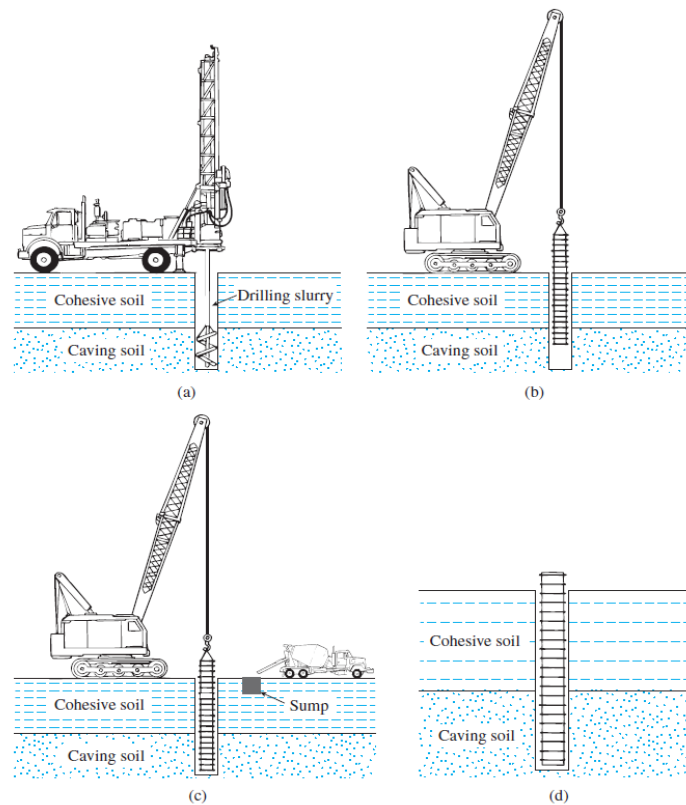


Sumber : (Das, Braja M, 2011:641)

**Gambar 2.4** Lanjutan Metode Kontruksi Casing (Casing Method Contruction)

3) Metode Pengeboran Basah (*Wet Method of Contruction*), Metode ini kadang-kadang disebut sebagai metode perpindahan metode tanah lumpur, tanah berlumpur digunakan untuk menjaga lubang bor tetap terbuka selama pengeboran berlangsung.

- Langkah pertama, Penggalian/pengeboran dilanjutkan hingga kedalaman penuh, dengan lumpur
- Langkah kedua, Jika penguatan diperlukan, maka tulangan sangkar ditempatkan dalam lumpur
- Langkah ketiga, beton yang akan menggantikan volume lumpur kemudian dimasukkan kedalam lubang bor
- Pada gambar 2.6d menunjukkan tiang bor yang telah selesai.



Gambar 2. 5 Langkah-langkah Pengeboran Metode Basah (Wet Method of Contruction)

### 2.3.5 Keuntungan Penggunaan Pondasi *Bore Pile*

Keuntungan penggunaan tiang bor antara lain sebagai berikut :

(Hardiyatmo, 2003:67)

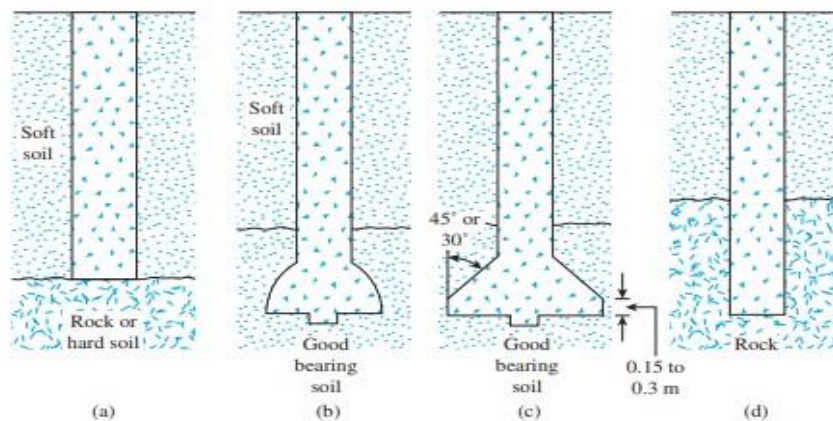
- 1.) Tidak akan terjadi kenaikan pada muka tanah saat pemasangan berlangsung.
- 2.) Pondasi *bore pile* kedalamannya dapat disesuaikan mengikuti desain dan hasil uji tanah.
- 3.) Lpisan tanah bisa diperiksa dan dibandingkan dengan data hasil uji tanah.
- 4.) Kedalaman tiang dapat dipasang pada lapisan tanah yang dalam, dan diameter bisa dibesarkan menyesuaikan kebutuhan daya dukung, dan jika lapisan tanah dasar-berupa-lempung atau batuan-lunak maka ujung tiang bisa diperbesar menyesuaikan jenis tanah.
- 5.) Penulangan daripada tiang bor tidak terpengaruhi oleh tegangan pada waktu.



### 2.3.6 Jenis-jenis Pondasi *Bore Pile*

Jenis – jenis dari.fondasi *bore pile* menurut buku Braja M.Das sebagai berikut :

- Tiang bor yang-datar digunakan untuk lapisan tanah-keras, bisa dilihat pada gambar 2.8a menunjukkan poros lurus yang dibor akan meluas melalui lapisan atas tanah buruk (*poor soil*) dan pada ujung yang bertumpu di lapisan tanah yang *kuat* (*strong soil*) menahan beban atau batuan.
- Tiang.fondasi dengan.dasar tiang yang dibesarkan dan berbentuk layaknya bel, seperti di gambar 2.8b di bawah, bertumpu pada tanah yang memiliki bantalan yang bagus, bentuk bel bisa dibuat sesuai bentuk kubah atau miring seperti pada gambar 2.8c
- Fondasi *bore pile* yang juga diperbesar layaknya bel miring atau trapezium seperti pada gambar 2.8c yang dapat menangkap sudut vertical.
- Tiang bor yang memiliki ujung lurus pada gambar 2.8d bisa dapat diperluas ke bagian lapisan batu dibawahnya. Taing lurus rata-rata digunakan untuk tanah berbatu, pada perhitungan kapasitas penahan beban poros itu, bantalan ujung dan tegangan geser yang terjadi pada parimeter ujung dan batuan dapat



diperhitungkan.

Sumber : (Das, Braja M, 2011:638)

**Gambar 2. 6** Macam-macam bentuk fondasi *Bored-pile*

Pada penggunaannya pondasi.*bore.pile* di bangunan-struktur ada alasan tersendiri, yaitu :

(Hardiyatmo, 2003:67)

- a. Pada penentuan tiang kelompok dapat direncanakan diameter yang bervariasi.
- b. Bisa digunakan pile cap untuk menyebarkan beban aksial secara seimbang ke kelompok tiang.
- c. Tidak adanya suara bising seperti suara pemancangan pondasi yang mengganggu lokasi sekitar.
- d. Menghindari kerusakan bangunan pada lokasi sekitar proyek konstruksi.
- e. Pada beban lateral pondasi tiang bor memiliki ketahanan yang tinggi.
- f. Pemeriksaan langsung di atas permukaan atas tiang bor direncanakan sangat mudah.
- g. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap gaya keatas perluasan dasar pondasi dapat dilakukan.

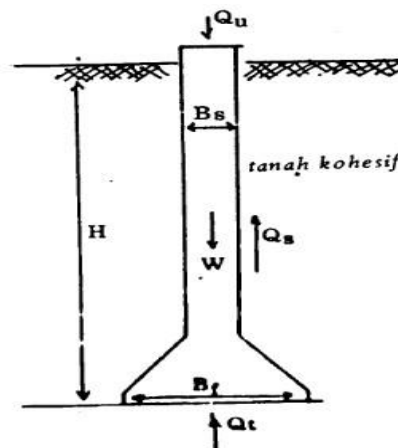
Dalam penggunaan pondasi bore pile diameternya bervariasi contohnya antara lain:

- Penggunaan diameter pondasi bore pile 20cm digunakan dalam proyek kecil dan menengah seperti rumah 2 -3 lantai.
- Penggunaan diameter pondasi bore pile 30cm digunakan pada proyek menengah contohnya pembangunan toko dan pasar.
- Penggunaan diameter pondasi bore pile 40cm – 60cm digunakan pada proyek tergolong besar, contohnya pembangunan proyek jalan layang, jembatan, dan gedung gedung.

Tetapi ukuran diameter tersebut harus tetap dihitung, karena untuk mencapai kata aman dalam membangun gedung perlu perhitungan yang sesuai agar proyek yang dibuat sesuai, aman dan juga tidak kelebihan harga.

**2.4 Daya.Dukung yang Diijinkan per Tiang.**

Daya dukung ujung tiang dapat direvisi berdasar pada kuat tekan. dan kuat tarik. Dikarenakan saat kondisi lapisan tanah, juga kuat seperti dari material.tiang yang digunakan. Sebabnya pada saat dilakukan uji tanah wajib melakukannya dengan ketelitian untuk merencanakan kedalaman fondasi. Pada kasus ini bisa dipengaruhi oleh kondisi didalam lapisan tanah juga kuat dipengaruhi oleh bahan tiang.



**Gambar 2. 7** Skema Daya Dukung ujung tiang

Daya pendukung fondasi bisa dihitung saat studi.perencanaan taing bor ini adalah sebagai berikut:

**2.4.1 Daya.Dukung Ijin.Vertikal Bore Pile**

Saat penganalisaan daya pendukung yang diijinkan pada daerah tekan fondasi, terdapat kekuatan tanah yang dihitung dari jumlah tahanan geser didinding tiang dan daya dukung terpusat tiang, pada literature buku didapatkan rumusan berikut :

(Pamungkas dan Harianti, 2002:43).

Daya dukung yang terdapat pada ujung sebuah.tiang:

$$Q = qD \cdot A \dots\dots\dots (2.22)$$

Dari nilai data SPT

$$Ra' = \frac{q_d \cdot A_p}{FK1} + \frac{\sum l_i f_i \cdot A_{st}}{FK2} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

Ra	= Intensitas, daya, pendukung ultimit.
Qd	= Intensitas daya pendukung ultimit.
Ap	= Luasan penampang dari tiang.
Ast	= Keliling yang terjadi pada penampang tiang.
li	= Tinjauan panjang segmen.
fi	= gaya pada saat geser di selmiut fondasi.
FK 1,FK 2	= Faktor/keamanan, 3, dan 5.

#### 2.4.2 Perhitungan Daya.Pendukung.yang Diijinkan arah.Horizontal.

- a. Pada tiang dengan jenis.tiang.fondasi pendek.

Perhitungan daya ukung yang diijinkan pada arah horizontal pada tiang fondasi pendek didapat rumus berikut :

$$H_u = 9 \times C_u \times D \left( L_p - \frac{3D}{2} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$M_{mas} = H_u \left( \frac{L_p}{2} + \frac{3D}{2} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

- b. Pada Jenis Tiang Sedang

Daya yang didukung arah horizontal di tiang didapatkan rumus berikut:

$$M_y = \left( \frac{9}{4} \right) C_u \times D g^2 - 9 \times C_u \times D_f \times \left( \frac{3D}{2} + \frac{f}{2} \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

H<sub>u</sub> dihitung dengan cara :

$$L_p = \frac{3D}{2} + f + g \dots\dots\dots (2.27)$$

- c. Pada jenis tiang panjang

Pada saat  $M_{max} > M_y$  bisa dikatakan itu dikategorikan sebagai tiang fondasi panjang, dan H<sub>u</sub> dihitung dengan rumus :

$$H_u = \frac{2 M_y}{\frac{3D}{2} + \frac{f}{2}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Nilai dari f dinyatakan oleh persamaan :

$$f = \frac{H_u}{9 \times C_u \times D} \dots\dots\dots (2.29)$$

Pada saat diperhitungkan hubungan dengan nilai *undrained.shear.strength* (Cu) menurut dari Shroud (1974) nilai Cu dihitung dengan rumus :

$$C_u = k \cdot N \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan :

$C_u$  = Undrained shear strength (kN/m<sup>2</sup>)

$D$  = Diameter yang dirncanakan untuk tiang (m)

$L_p$  = Panjang tiang tertanam (m)

$K$  = 3.5 – 6.5 (kN/m<sup>2</sup>) nilai mean konstanta.

$N$  = Nilai SPT

### 2.4.3 Perhitungan Daya Pendukung yang Diijinkan pada Kondisi Tarik.

Penganiilsaan daya.dukung.ijin tarik pondasi pada kuat dalam tanah digunakan rumusan berikut:

Pada data Nilai dari SPT.(Mayerhof) :

$$P_{ta} = \frac{(\sum l_i \cdot A_{st}) \cdot 0,70}{FK2} + W_p \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

$P_{ta}$  = Daya dukung ijin tarik tiang.

$A_{st}$  =  $A_s$  daya dukung.

$l_i$  = Panjang segmen yang ditinjau (m).

$F_i$  = Gaya geser pada selimut segmen tiang.

$FK 2$  = Faktor keamanan, 3 & 5

$W_p$  = Berat pondasi.

### 2.4.4 Merencanakan Kelompok Tiang Fondasi

Total perencanaan tiang fondasi dihitung seperti membagi beban axial di titik kolom struktur.pada.dayadukung.per.tiangnya, dirumuskan pada persamaan.(2.32).

$$n = \frac{\sum V}{Q_{ultimate}} \dots\dots\dots(2.32)$$

Pada jarak setiap tiang diharuskan sesuai ketentuan berikut :

Menurut Dirjen Bina Marga Departmen P.U.T.L. untuk perhiutngan jarak antar tiang digunakan persamaan:

$$S > 2.5 \times \text{Diameter} \dots\dots\dots(2.33)$$

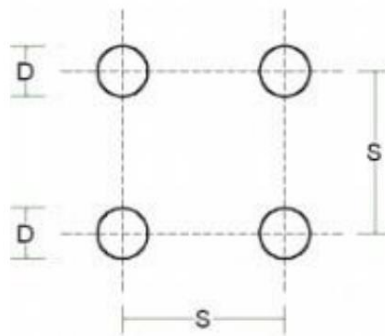
$$S > 3 \times \text{Diameter} \dots\dots\dots(2.34)$$

(Sarjono.HS, 1991:56)

Ketrangan :

$S$  = Jarak antar tiang..

D = Diameter fondasi



Gambar 2. 8 Jarak as tiang ke as tiang.

#### 2.4.5 Perhitungan.Efisiensi pada Kelompok Fondasi Tiang Bor

Efisiensi dari sebuah kelompok.tiang dari fondasi dihitung dengan rumusan dari *Uniform Building Code* AASHO dengan melakukan pengecekan keamanan kelompok tiang berdasar pada daya dukung ijin vertical-nya berbanding dengan beban akibat bangunan yang telah terjadi.

$$\text{Efisiensi}(Eg) = 1 - \Theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mm} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\Theta = \text{arc.tg} \frac{d}{s} \dots\dots\dots(2.36)$$

#### 2.4.6 Perhitungan Beban Maksimal untuk Kelompok dari Tiang.

Perhitungan ini agar.setiap dari tiang yang bisa menahan.bertat..struktur atas, kelompok tiang harus dicek control..sesua..dengan daya..dukungnya, dengan persamaan :

$$P_{maks} = \frac{P_u}{Np} \pm \frac{M_y X_{maks}}{n y \sum X^2} \pm \frac{M_x Y_{maks}}{n x \sum Y^2} \dots\dots\dots(2.37)$$

Keterangan :

- .Pmax = Beban maksimal tiang
- .Pu. = Gaya axial terfaktor
- .My. = Momen pada sumbu y
- .Mx. = Momen pada sumbu x
- .Xmax = Jarak tiang kearah sumbu x terjauh
- .Ymax = Jarak tiang kearah sumbu y terjauh
- .Σx<sup>2</sup> = Total kuadrat dari nilai x

- $\Sigma y^2$  = Total kuadrat dari nilai  $y$   
 $n_x$  = Banyaknya tiang dalam satu baris sumbu  $x$   
 $n_y$  = Banyaknya tiang dalam satu baris sumbu  $y$   
 $n_p$  = Jumlah tiang.

Jika  $P$  maksimal yang terjadi memiliki nilai positif, *pilecap* mendapat gaya tekan.

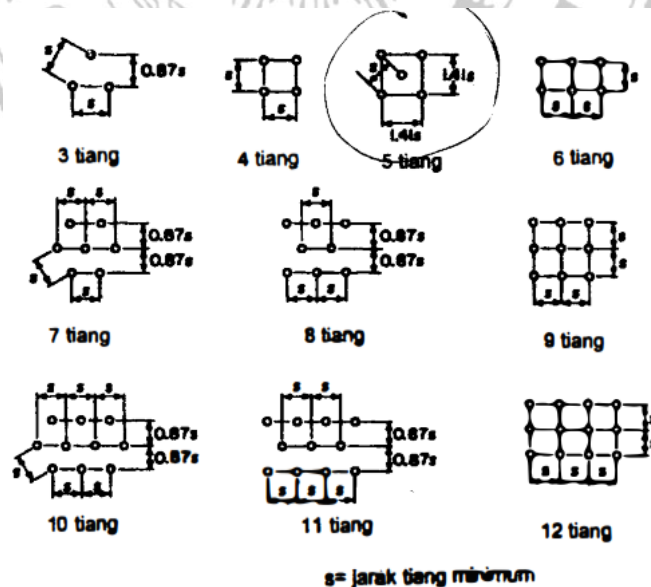
Jika  $P$  maksimal yang terjadi memiliki nilai negatif, *pilecap* mendapat gaya tarik.

## 2.5 Perencanaan *Pilecap*

### 2.5.1 Penulangan *Pilecap*

Menurut buku desain pondasi tahan gempa (Pamungkas, 2013:87), *pile cap* berfungsi sebagai pengikat antar tiang kelompok dan menyalurkan beban pada kolom ketiang. *Pilecap* rata-rata terbuat dari beton bertulang. Untuk perencanaannya dari *pilecap* digunakan cara :

1. *Pile.Cap* dengan kekakuan tinggi
2. Pada ujung atas menggantung pada *pilecap*. Oleh sebab itu, tidak terjadi momen lentur akibat *pilecap* ketiang.
3. Tiang adalah seperti kolom pendek yang elastis. Sebabnya, distribusi tegangan dan deformasi terbentuk yang bidang yang rata.



Gambar 2. 9 Susunan Tiang Kelompok.pada.Pilecap.



Sumber : (Hardiyatmo, 2008:194)

### 2.5.2 Dimensi Pile Cap.

Jarak antar tiang tergantung pada besar kecilnya ujung tiang. Jarak tiang dengan kelompok diambil menurut rumus  $2.5D - 3D$ , dimana  $D$  adalah diameter tiang. Pada saat menghitung gaya geser satu arah dan dua arah, perhitungan kepala tiang sama dengan perhitungan gaya geser satu arah dan dua arah pada pondasi pondasi.

Menurut SNI.2847.2019, ketebalan alas atas lapisan tulangan di bawahnya dilarang kurang dari 300 mm untuk kaki-kaki di atas tiang. Ketebalan lapisan penutup beton yang dicor langsung pada lapisan tanah dan akan bersentuhan dengan tanah adalah 75 mm.

Kekuatan geser elemen kolom, beban tegangan atau hasil akhir ditentukan dalam dua kondisi :

- a) Operasi rotasi searah di mana semua bagian kritis direvisi untuk mencakup semua bidang yang memotong lebar alas.
- b) Dua operasi di mana semua bagian menjalani pemeriksaan kritis untuk mengurangi ukuran bagian.

### 2.5.2 Perhitungan tulangan dari Pile Cap

Berpedoman pada SNI - 2847 – 2019 beban yang difaktori dengan maksimal pada pondais telapak wajib diperhitungkan di penampang kritis yang ada pada :

- i. Muka kolom, alas, atau dinding yang menopang kolom, alas, atau kolom, sebagai pondasi.
- ii. Untuk kaki komposit setengah jarak diukur dari tengah ke tepi dinding.
- iii. Setengah jarak diukur dari ujung kolom ke tepi pelat baja pada alas yang menopang pelat dasar.

Perhitungan tulangan dihitung dengan rumus berikut :

- W berat dari sebuah pile cap ( $q_u$ )

$$Q_u = A \cdot B_j \text{ beton} \dots \dots \dots (2.38)$$

$$Q = q_u \cdot L \dots \dots \dots (2.39)$$

$$Q^1 = q_u \cdot L1 \dots \dots \dots (2.40)$$



- Momen yang bekerja di *pile cap* ((Mu)

$$M = \frac{1}{2} QL^2 \dots\dots\dots(2.41)$$

$$M_{max} = Ql \times (L + \frac{1}{2} L) + RA \times \frac{L}{2} - \frac{1}{2} \times Q (L)^2 \dots\dots(2.42)$$

$$Mu = M_{max} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$Mu \text{ per meter} = \frac{Mu}{B} \dots\dots\dots(2.44)$$

Rasio dari tulangan tarik

$$R_n = \frac{Mu}{bw \times d^2} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$p = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{fy}} \right) \dots\dots\dots(2.47)$$

$$pb = \frac{0,85 \times fc'}{fy} \beta_1 \left( \frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots(2.48)$$

$$p_{max} = 0,75 \cdot pb \dots\dots\dots(2.49)$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$A_{s_{perlu}} = \frac{Mu}{fy \cdot (d - \frac{a}{2})} \dots\dots\dots(2.51)$$

- Pengontrolan kapasitas pada momen dipakai

$$\text{Pemeriksaan } d \text{ dipakai} = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \Theta \text{ tulangan} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times bw} \dots\dots\dots(2.53)$$

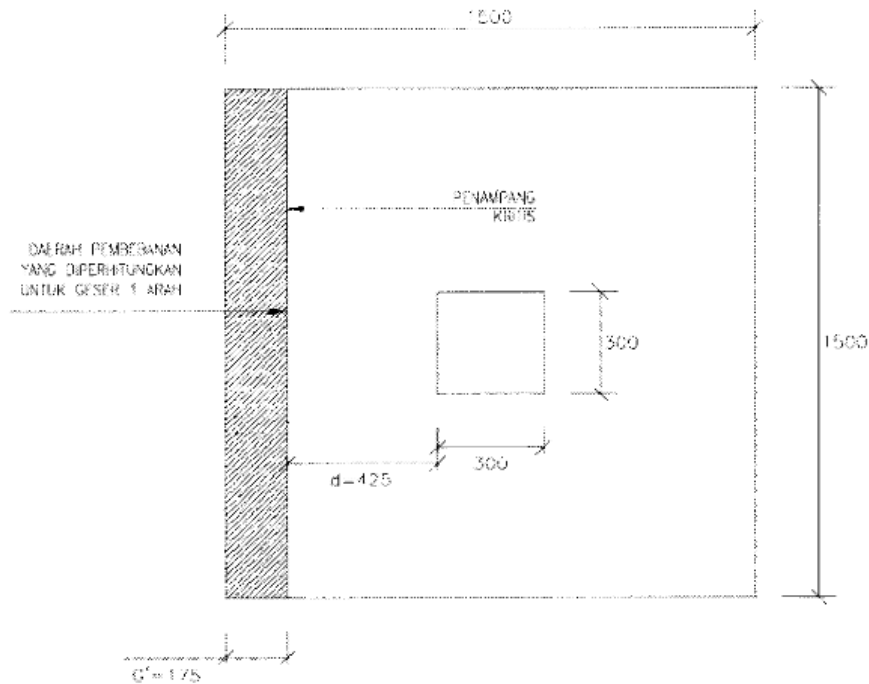
$$M_n = \frac{As \cdot fy \cdot (d - \frac{a}{2})}{2} \dots\dots\dots(2.54)$$

### Kontrol Pada Gaya Geser Satu Arah

Menurut (Pamungkas, 2013:88), menghitung gaya geser yang terjadi satu arah di penampang kritis pada Gambar 2.12 dirumuskan sebagai berikut :

$$Vu' = \sigma \times L \times G' \dots\dots\dots(2.55)$$

$$\Theta \cdot Vc' = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots(2.56)$$



**Gambar 2. 10** Analisa Gaya.Geser.Satu.Arah

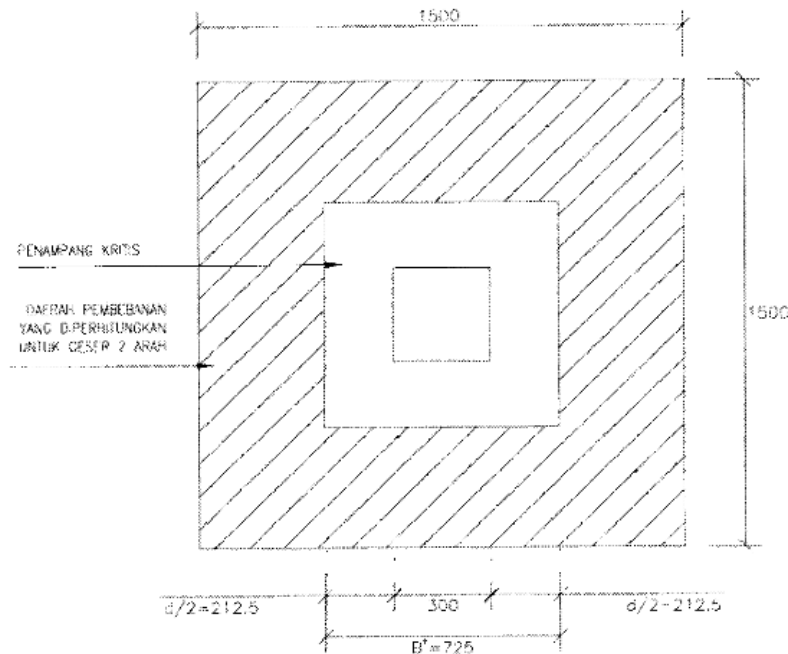
Dimana:

- $V_u$  = Gaya geser satu arah yang terjadi
- $\sigma = \frac{P}{A}$
- $p$  = Panjang Penampang
- $A$  = Luasan Penampang
- $L$  = Panjang Pondasi
- $G'$  = Daerah pembebanan untuk perhitungan geser penulangan 1 arah.  
 $= L - \left( \frac{L}{2} + \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} + d \right)$
- $b$  = Panjang Pondasi
- $d$  = Tebal efektif *pile cap*  
 $= h - \text{selimut pondasi}$
- $h$  = Tebal Pondasi
- $V_c$  = Gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton
- $F_c'$  = Kuat tekan beton yang di isyaratkan
- $V_u$  = Gaya geser satu arah yang terjadi

### 2.5.5 Kontrol.Gaya.Geser.Dua.Arah

Seperti yang dituliskan oleh (Pamungkas, 2013:91), menghitung.gaya.geser.dua arah.pada.penampang kritis seperti pada Gambar 2.13, dirumuskan sebagai berikut :

$$V_u = P_{maks} \cdot \text{Total tiang} \dots \dots \dots (2.57)$$



**Gambar 2. 11** Analisa Gaya Geser.Dua.Arah

Sumber : (Pamungkas, 2013:91)

Sedangkan menurut (SNI 2847 – 2019:494) kontrol kuat geser beton yang bekerja dua arah terdapat dua rumus yaitu :

$$\beta = \frac{a_k}{b_k} \dots \dots \dots (2.58)$$

$$b_0 = 2 \times (b_k + h_k) \dots \dots \dots (2.59)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot 2 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d \dots \dots \dots (2.60)$$

$$V_c = 4 \times \sqrt{f_c'} \times b_0 \cdot d \dots \dots \dots (2.61)$$

Keterangan :

- $a_s$  = 40 pada kolom tengah
- = 30 pada kolom tepi
- = 20 pada kolom di sudut

$V_u$  = Gaya geser dua arah yang terjadi

$b_k$  = Panjang kolom

$a_k$	= Lebar dari kolom.
$d$	= Tinggi efektif pondasi.
$h$	= Tebal dari pondasi.
$b_o$	= Keliling oleh penampang kritis pondasi.
$a_s$	= Konstanta perhitungan pondasi.

Untuk kontrol kuat geser dipakai angka paling kecil  $V_c$  dengan rumus :

$$\Theta V_c = V_u \dots\dots\dots(2.62)$$

Dengan syarat :

$$\Theta V_c > V_u$$

### 2.5.2 Perhitungan.Tulang.Bagi.

Berdasarkan (SNI-2847–2019:123), tulangan bagi diperlukan jika tulangan gaya geser dua arah tidak bisa menahan gaya geser, jika tulangan utama tidak bisa menahan gaya geser maka tulangan bagi perlu direncanakan, tulangan bagi direncanakan dengan persamaan di bawah :

$$A_{ss} = 0,0014 \times b_w \times d_{ef} \dots\dots\dots(2.63)$$

$$A_{ss} = 2 \times 1/4 \times \pi \times D^2 \times 1000/d \dots\dots\dots(2.64)$$

### 2.6 Penulangan.Pondasi.Tiang.Bor.(Bore Pile)

Penulang fondasi *bored pile* sama dengan penulangan.pada.kolom, bedanya hanya pada..penampang..yang.dipakai. adalah penampang bulat/lingkaran, yang untuk merencanakanya menggunakan langkah-langkah berikut :

- Pada saat perhitungan luas tulangan utama yang digunakan. berdasarkan (SNI 2847 2013 : 78), luasan penulangan dari struktur.komponen.tekan wajib lebih dari 1%  $A_g$  atau lebih dari 0,8%  $A_g$ .

$$A_g = 1 \sqrt{\pi} D^2 \dots\dots\dots (2.65)$$

$$A_{st} = 1 \sqrt{\pi} D_{st}^2 n \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan :

$A_g$ . = Luas penampang ( $mm^2$ )

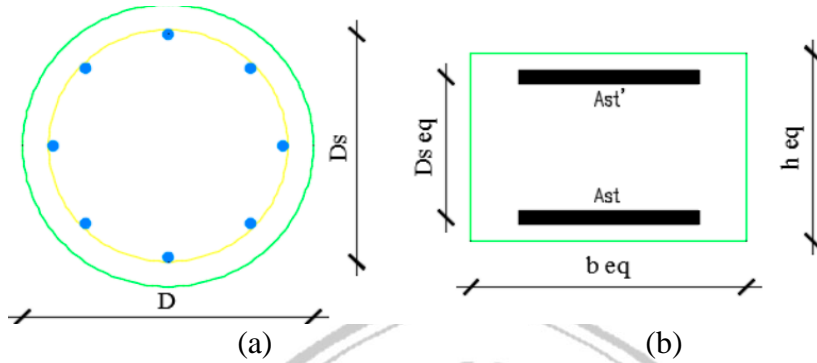
$A_{st}$ . = Luas tulangan ( $mm^2$ )

$D$ . = Diameter penampang beton (mm)

$D_{st}$ . = Diameter tulangan (mm)

$N$ . = Total tulangan.

- Saat bentuk tiang adalah bulat atau lingkaran maka harus diekuivalensikan menjadi bentuk persegi agar dapat ditentukan nilai eksentrisitas dari tiang pada saat mode seimbang.



a. Penampang.Lingkaran      b. Penampang.Ekuivalen.Persegi

**Gambar 2. 12** Penampang ekuivalen pondasi tiang bor

Sumber: (Istimawan Dipohusodo, 1991:327)

Tebal ekivalen penampang segi empat

$$h_{eq} = 0,8 \times D \dots\dots\dots (2.67)$$

1. Tebal ekivalen penampang segi empat

$$b_{eq} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{h_{eq}} \dots\dots\dots (2.68)$$

2. Luas tulangan total Ast didistribusikan pada dua lapis

$$A_s = A_s' = \frac{1}{2} \cdot A_{st} \dots\dots\dots (2.69)$$

3. Jarak antar lapis tulangan

$$D_{seq} = \frac{2}{3} \times D_s \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan :

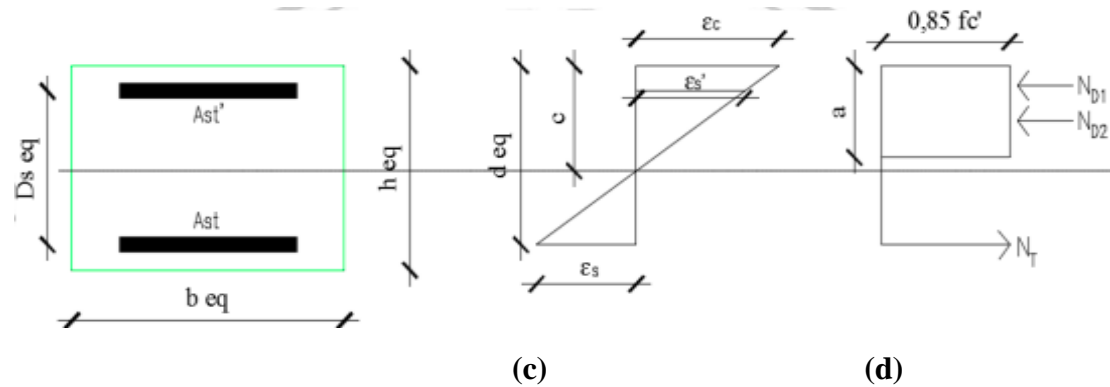
DsS= Tinggi.efektif.penampang

- Pengecekan eksentrisitas dari rencana yang diberikan (e) dibanding pada eksentrisitas *balance* (eb).

$$d_{eq} = D_{seq} + \frac{h_{eq} D_{seq}}{2} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$C_{bo} = \frac{600}{600+f_y} \times d_{eq} \dots\dots\dots (2.72)$$

$$AB = \beta_1 \times C_{bi} \dots\dots\dots (2.73)$$



- c. Diagram Regangan dengan Penampang Ekuivalen Persegi  
 d. Diagram Tegangan dengan Penampang Ekuivalen persegi

**Gambar 2.13** Eksentrisitas Pondasi Tiang Bor

Sumber: (Istimawan Dipohusodo, 1991:326)

- Regangan pada baja tulangan

$$\epsilon_s' = \frac{\epsilon_c \cdot \left( c_b - \frac{h_{eq} - D_{seq}}{2} \right)}{c_b} \dots \dots \dots (2.74)$$

- Tegangan leleh baja tulangan

$$f_s' = \epsilon_s \times \epsilon_s' \dots \dots \dots (2.75)$$

- Gaya aksial tekan dalam keadaan seimbang (*balance*)

$$P_{ub} = (0,85 \times f_c' \times A_b \times B_{eq}) + (A_s' \times f_s' - A_s \times f_y) \dots \dots \dots (2.76)$$

- Momen dalam keadaan seimbang (*balance*)

$$M_{ub} = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_b \cdot B_{eq} \cdot \left( \frac{1}{2} h_{eq} - \frac{1}{2} A_b \right) + A_s' \cdot f_s' \cdot \left( \frac{1}{2} h_{eq} - \frac{h_{eq} - D_{seq}}{2} \right) A_s \cdot f_y \cdot \left( d_{eq} - \frac{1}{2} h_{eq} \right) \dots \dots \dots (2.77)$$

$$f_y \cdot \left( d_{eq} - \frac{1}{2} h_{eq} \right) \dots \dots \dots (2.77)$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots \dots \dots (2.78)$$

$$e_b = \frac{M_{ub}}{P_{ub}} \dots \dots \dots (2.79)$$

- Pada saat keadaan nilai  $P_u < P_b$  atau  $e > e_b$ , bisa keruntuhan yang diakibatkan ialah keruntuhan tarik bereksentrisitas besar.
- Pada saat keadaan nilai  $P_u > P_b$  atau  $e < e_b$ , bisa dikatakan keruntuhan yang diakibatkan ialah keruntuhan tekan yang bereksentrisitas kecil



Bersumber dari (Istimawan Dipohusodo 1991:320) *Whitney* memberikan persamaan dari pendekatan empiris pada dimensi penampang kolom bulat, baik retak/hancur tekan maupun tarik.

- Persamaan untuk penampang bulat dengan hancur tarik

$$P_n = 0,85 f_c' h^2 \left( \sqrt{\left(\frac{0,85 e_b}{h} - 0,38\right)^2 + \frac{\rho_g m D_s}{2,5 h}} - \left(\frac{0,85 e_b}{h} - 0,38\right) \right) \dots (2.80)$$

- Persamaan untuk penampang bulat dengan hancur tekan menentukan :

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{3e}{D_s} + 10} + \frac{A_g \cdot F_c'}{\frac{9,6 h e}{(0,8 h + 0,67 D_s)^2} + 1,18} \dots (2.81)$$

$$\Theta P_n = 0,70 \times P_n \dots (2.82)$$

Keterangan :

h = Diameter.tiang

D<sub>s</sub> = Diameter lingkaran tulangan terjauh dari sumbu

e = Eksentrisitas terhadap pusat plastis penampang

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{\text{luas penulangan total}}{\text{luas penulangan bruto}} \dots (2.83)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \dots (2.84)$$

- Kolom dengan beban aksial tekan kecil

Berdasarkan SNI 28472022, pada komponen dari struktur dengan tulangan yang sama juga pada  $(h - d_s - d_s') / h > 0,7$  bisa dikatakan cuma bisa menahan beban lentur aja jika  $\Theta P_n < 0,1 \times f_c' \times A_g$  (dan  $\Theta P_{nb}$  ( dengan  $\Theta=0,65$  pada tulangan sengkang di kolom).

Pada tulangan sengkang yang berada di kolom ditentukan sebagai berikut :

$$1. \text{ Apabila } P_u (P_u = \Theta P_{nb}) > P_{maks} \text{ maka nilai } \Theta = 0,65 \dots (2.85)$$

$$2. \text{ Apabila } P_u (P_u = \Theta P_n) < P_{maks} \text{ maka nilai } \Theta = 0,8 - \frac{0,15 \cdot P_u}{P_{maks}} \dots (2.86)$$

Untuk kolom dengan tulangan spiral berlaku ketentuan berikut :

$$3. \text{ Apabila } P_u (P_u = \Theta P_{nb}) > P_{maks} \text{ maka nilai } \Theta = 0,70 \dots (2.87)$$

$$4. \text{ Apabila } P_u (P_u = \Theta P_{nb}) < P_{maks} \text{ maka nilai } \Theta = 0,8 - \frac{0,10 \cdot P_u}{P_{maks}} \dots (2.88)$$

## 2.7 Penurunan atau Settlement

Penurunan tiang pondasi merupakan penjumlahan dari penurunan elastis atau penurunan segera (*immediate settlement*) yaitu  $S_i$ , dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu lama, atau penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) yaitu  $S_c$ .

Sumber : (Pamungkas dan harianti, 2002:79).

Penurunan total ialah jumlah dari kedua jenis penurunan dirumuskan.

$$S = S_i + S_c \dots \dots \dots (2.84)$$

Dimana :

$S$  = Penurunan Total

$S_i$  = Penurunan segera

$S_c$  = Penurunan konsolidasi

### 2.7.1 Penurunan..Segera.( *Immediate Settlement* )

Penurunan terjadi akibat distorsi massa tanah terkompresi yang terjadi pada volume konstan, yang merupakan penurunan muka tanah secara langsung. (Pamungkas dan Harianti, 2002:34).

$$D_f = \frac{2}{3} \times L \dots \dots \dots (2.85)$$

$$E_u = 400 \times C_u \dots \dots \dots (2.86)$$

• Tekanan pada dasar pondasi

$$q = \frac{P_u + W_p}{A} \dots \dots \dots (2.87)$$

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{q B}{E} \dots \dots \dots (2.88)$$

Keterangan :

$S_i$  = Penurunan Segera (m)

$q_d$  = Tekanan yang terjadi ( $P_u/A$ )

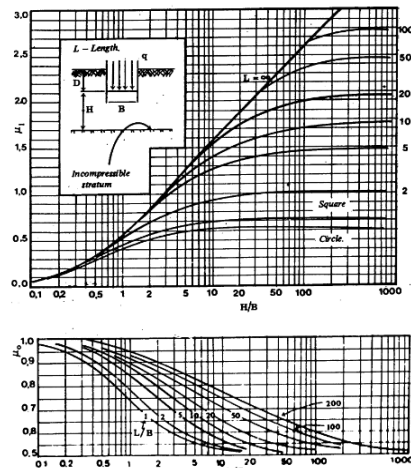
$B$  = Lebar kelompok taing (m)

$E_u$  = Modulus deformasi pada kondisi *undrained* [ $kN/m^2$ ]

$\mu_i$  = Faktor koreksi pada lapisan tanah dengan tebal terbatas H  
(Gambar 2.7.b)

$\mu_0$  = Faktor koreksi pada lapisan pada kedalaman pondasi  $D_f$  (gambar 2.6.a)





Gambar 2. 14 Grafik hubungan  $\mu_i$ ,  $\mu_o$ , kedalaman pondasi ( $D_f$ ) dan lebar pondasi ( $B$ ) (Janbu, Bjerrum dan Kjaernsti)

Sumber: (Pamungkas dan harianti, 2002:34)

Pada pengujian nilai SPT untuk memperoleh nilai modulus elastis. Lalu menghubungkan modulus elastisitas dengan nilai SPT yang diperoleh pada pengujian tanah :

$$E = 10 \times (N + 15) \text{ [K/ft}^2\text{]} \text{ (untuk pasir) } \dots\dots\dots (2.89)$$

$$E = 6 \times (N + 5) \text{ [K/ft}^2\text{]} \text{ (pada pasir berlempung) } \dots\dots\dots (2.90)$$

Sumber : (Hardiyatmo, 1996:164)

**2.7.2 Penurunan.Konsolidasi ( Consolidation.Settlement)**

Penurunan konsolidasi adalah proses penurunan tanah jenuh dengan perlahan pada permeabilitas yang relatif kecil yang mengakibatkan keluarnya air pori. Naiknya tegangan keseluruhan atau total telah hilang dan terjadinya proses penurunan terus terjadi hingga kelebihan.tekanan dari air pori. Untuk rumus persamaan pada kondisi konsolidasi tanah yang normal dihitung sebagai berikut.

$$S_c = \frac{e_o - e}{1 + e_o} \cdot H \dots\dots\dots (2.91)$$

Dengan tambahan (subtitusi) Persamaan menjadi :

$$S_c = \frac{e_o - e}{1 + e_o} \cdot H = \frac{H}{1 + e_o} \cdot C_c \cdot \text{Log} \frac{P_o A_p}{P_o} \dots\dots\dots (2.92)$$

(Pamungkas dan Harianti, 2002:36)

keterangan :

$S_c$  = Penurunan konsolidasi (m).

$H$  = Tebal lapisan tanah (m).

$e_0$  = Angka pori pada tegangan  $P_0'$  (angka pori asli).

$E$  = Angka pori di tegangan  $P$ .

$C_c$  = Indek Pemampatan (*Compression Index*).

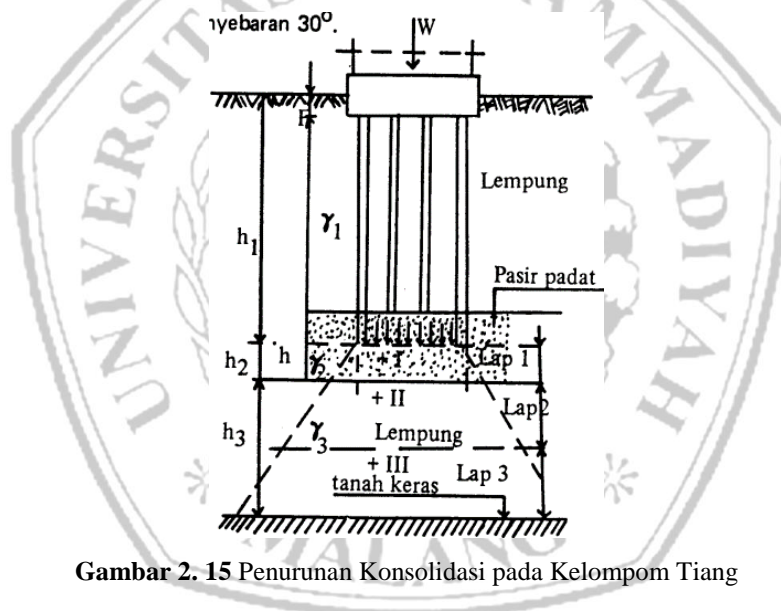
$$= 0,156 \cdot e_0 + 0,0107 \text{ (Rendon-Herrero-1980) } \dots\dots\dots (2.93)$$

$P_0'$  = Tegangan efektif pada setiap lapisan tanah ( $t/m^2$ ).

$$= \gamma_1 \times h_1 + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \times h_2 + \dots\dots\dots (2.94)$$

$\Delta_p$  = Perubahan tegangan pada lapisan tanah ( $t/m^2$ ).

$$= \frac{A_0}{A_1} \cdot q \dots\dots\dots (2.95)$$



Gambar 2. 15 Penurunan Konsolidasi pada Kelompok Tiang

Sumber : (Sardjono.HS, 1991:76)

### 2.7.3 Penurunan Ijin

Merujuk pada (Nasional, SNI 8460 - 2017:178), geoteknik, jumlah penurunan akhir total juga beda beda penurunan yang diijinkan ditentukan oleh toleransi struktur atas di bangunan sekitar yang wajib ditinjau berdasar pada masing-masing kasusnya tersendiri dengan mengacu pada berat sendiri, stabilnya tanah dan fungsi struktur berada tepat diatasnya. Besarnya penurunan pada bangunan tinggi diwajibkan memenuhi persamaan beikutt :

$$S < 15 + \frac{b}{600} \dots\dots\dots(2.96)$$

Keterangan :

S = Penurunan ijin satuan cm

b = Lebar dari pondasi (cm)

#### 2.7.4 Waktu Konsolidasi

Penurunan konsolidasi harus diketahui menghitung berapa tahun besarnya kecepatan penurunan pondasi pada saat proses konsolidasi terjadi, karena itu wajib dihitung lama penurunan total terutama saat penurunan bangunan diperkirakan tinggi.

Menurut buku dari Hardiyatmo (2011:310), perumusan untuk memperkirakan dari penurunan konsolidasi di waktu tertentu ( $t$ ) memakai persamaan berikut :

$$S = S_i + S_c \dots\dots\dots(2.97)$$

$$H_t = \frac{H}{2} \dots\dots\dots(2.98)$$

$$T_{90} = \frac{Ht^2 \times Tv}{cv} \dots\dots\dots(2.99)$$

$$S_t = S_i + U \times S_c \dots\dots\dots(2.100)$$

Keterangan :

$S_t$  = Waktu konsolidasi (tahun).

$T_v$  = Faktor waktu.

$H_t$  = Panjang dari lintasan drainase ( $H_t = H/2$ ), pada drainase double juga  $H_t = H$ , Pada drainase tunggal)(m).

$H$  = Tebal lapisan tanah berlempung (m)

$C_v$  = Koefisien konsolidasi pada interval tekanan tertentu ( $m^2/det$ )

Apabila nilai faktor waktu atau  $T_v$  ditentukan maka dapat dikaitkan dengan besar kecilnya derajat konsolidasi ( $U$ ). Berdasarkan teori konsolidasi dalam satu dimensi Terzaghi, hubungan tersebut dapat ditentukan pada tabel 2.10. Nilai yang diperoleh pada tabel ini dapat digunakan pada kondisi *double drain* dan *single drain*.

**Tabel 2. 2** Hubungan Faktor Waktu ( $T_v$ ) dan Derajat Konsolidasi (U)

U%	$T_v$
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	$\infty$

Sumber : Terzaghi

Bentuk kurvanya bermacam-macam, tekanan air pori berlebih awal bergantung pada distribusi tekanan pondasi pada lapisan tanah lempung. Pada table 2.10 menunjukan kasus distribusi tekanan pondasi di lapisan tanah lempung yang terjadi dianggap sama atau seragam.

