

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tiap pembangunan terkait dengan fondasi pendukung. Fondasi berperan sebagai bagian dari sistem struktur bawah (substruktur) yang dapat menanggung beban sendiri dan menahan semua gaya beban diatas, dan juga mengalirkannya terhadap lapisan batuan dibawah. Dengan demikian, fondasi merupakan struktur terbawah yang mampu menopang seluruh beban yang diterimanya dari struktur di atasnya. (Das, 1993:115).

Dalam penjelasan (Hardiyatmo, 1996:13), ia menyebutkan bahwa tanah memiliki variasi ukuran butiran yang bermacam-macam. Klasifikasi jenis tanah didasarkan pada ukuran butiran menurut ASTM. Secara umum, jenis tanah dikelompokkan berdasarkan :

1. Batuan, ialah butiran dengan diameter < 3 mm
2. Kerikil ialah butiran tertinggal di penyaringan berdiameter 2 mm (no. 10).
3. Pasir ialah butiran tertinggal di penyaringan berdiameter 0,75 cm (no. 200).
4. Tanah lempung serta lanau ialah butiran lanjut terhadap penyaringan berdiameter 0,75 cm (no. 200).

Perubahan dalam dimensi agregat dan sejauh mana pengirimannya guna dijadikan petunjuk berharga dalam memahami bagaimana agregat akan berperilaku dalam menopang beban fondasi.

Jenis Fondasi bisa diklasifikasikan berdasarkan kedalaman pada bawah permukaan tanah menjadi dua kategori, ialah fondasi mendalam (deep foundation) serta fondasi dangkal (shallow foundation). Fondasi dangkal melibatkan fondasi telapak, pondasi rakit, serta fondasi memanjang. Jenis fondasi dalam mencakup fondasi sumuran serta tiang, seperti yang dijelaskan oleh (Hardiyatmo, 1996:62).

Pembagian pondasi menurut (Hardiyatmo, 1996:62), yaitu pondasi dangkal dan dalam. Fondasi dangkal langsung menopang beban bangunan tanpa memerlukan penggalian dalam, umumnya pada kedalaman 1-3 meter karena lapisan tanah keras berada dekat permukaan. Bangunan dengan pondasi dangkal biasanya tidak terlalu tinggi, dan beban yang diakomodasi relatif ringan.

Sebaliknya, pondasi dalam digunakan untuk mendukung bangunan dengan beban yang besar dan tinggi. Pondasi ini mengirimkan suatu berat pada lapisan agregat keras maupun lapisan yang berada jauh dibawah permukaan, melebihi 3 meter pada kedalaman pondasi. Keberadaan pondasi dalam menjadi penting saat lapisan tanah keras berada cukup dalam, memerlukan pondasi yang kuat untuk menahan beban yang signifikan.

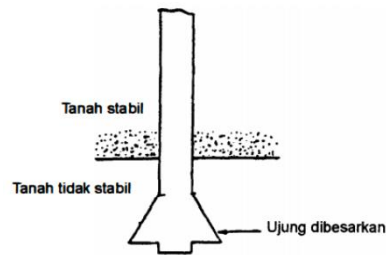
2.1.1 Pondasi Tiang Bor (Bore Pile)

Meninjau (Bowles, 2000:382), pondasi *bore pile* yang sering disebut sebagai bored pile, dibuat dengan mengebor lubang berbentuk silindris sampai mencapai kedalaman yang diinginkan, kemudian mengisi lubang tersebut dengan beton berlubang berbentuk silinder. Proses pembuatan pondasi ini dapat melibatkan pemboran lubang lurus atau memperluas dasarnya menggunakan metode under reaming (penggerakan dasar-lubang). Metode ini umumnya diterapkan di tanah stabil serta kaku, dengan pembentukan galian terjaga menggunakan sistem bor. Pada kondisi dengan kandungan air, casing digunakan guna menjaga stabilitas galian, setelah itu casing tersebut diangkat saat proses coran dilakukan. Untuk penyusunan keras, ujung tiang bisa diperbesar guna meningkatkan daya dukung ujung tiang, sebagaimana terlihat pada (Gambar 2.1).

Kelebihan menggunakan *bore pile*, ialah :

(Hardiyatmo, 2003:67)

1. Kenaikan permukaan tanah tidak menjadikan resiko.
2. Bisa memvariasi kedalaman pada tiang.
3. Data lab menjadi acuan pada data tanah yang diperiksa dan bisa dicocokkan..
4. Pada kedalaman cukup dalam dapat dipasang serta dilakukan pembesaran di ujung.
5. Tegangan saat mengangkat di pemancangan mengabaikan/tidak berpengaruh pada penulangan.



Gambar 2. 1 Ujung bawah pondasi tiang bor

Sumber : (Hardiyatmo, 2003:67)

Sebelum pondasi dicor di tempatnya, langkah awalnya adalah melakukan pemboran tanah yang akan dijadikan pondasi tiang bor. Selanjutnya, air yang muncul selama proses galian. Selanjutnya tulangan, dan proses dilakukannya tahap pengecoran beton. Casing diperlukan dalam menjaga stabilitas galian. Casing tersebut kemudian ditarik ke atas selama proses pengecoran, sebagaimana dijelaskan oleh (Hardiyatmo, 2003:67).

2.2 Pembebanan

Secara umum bobot yang berlaku terhadap suatu konstruksi ialah bobot tak hidup (*dead load*), bobot hidup (*live load*), bobot gempa (*seismic load*), dan bobot angin (*wind load*). (Pamungkas dan Harianti, 2002:3)

2.2.1 Beban Mati atau Dead Load (D)

Meninjau (SNI-1727- 2020:21), merujuk pada beban yang diterima oleh gedung atau struktur itu sendiri, bobot mati ialah plafon, dinding, lantai, atap, tangga, serta unsur finishing lainnya. Perhitungan bobot mati dilakukan secara per lantai, kemudian hasilnya diakumulasikan berdasarkan jumlah tingkatan struktur :

1. Perhitungan Bobot Mati (D)

Dalam kalkulasi massa struktur, termasuk di dalamnya adalah massa kolom, plat, balok, dan aksesoris lainnya, ditentukan menurut berat jenis maupun massa satuan terhadap konstruksi itu.

- Bobot Plat Lantai

$$W \text{ plat} = \text{Ketebalan} \times \text{luas lantai} \times \text{bobot sendiri beton bertulang} \dots (2.1)$$

- Bobot Spesi

$$W \text{ spesi} = \text{Keliling lantai} \times \text{ketebalan} \times \text{bobot tunggal spesi} \dots (2.2)$$

- Bobot keramik

$$W \text{ keramik} = \text{Keliling lantai} \times \text{bobot tunggal spesi} \dots (2.3)$$

- Bobot pasangan dinding hebel
 $W \text{ dinding} = \text{Ketebalan} \times \text{tinggi} \times \text{panjang dinding} \times \text{bobot tunggal..(2.4)}$
- Bobot sloof
 $W \text{ sloof} = T \times L \times \text{panjang sloof} \times \text{jumlah} \times \text{bobot sendiri beton.....(2.5)}$
- Bobot kolom
 $W \text{ kolom} = P \times L \times \text{tinggi kolom} \times \text{jumlah} \times \text{bobot tunggal.....(2.6)}$
- Bobot non konstruksi
 $W \text{ non konstruksi} = 10\% \times W \text{ konstruksi.....(2.7)}$
- Bobot keseluruhan bobot mati
 $W \text{ total} = W \text{ non konstruksi} + W \text{ konstruksi.....(2.8)}$

2.2.2 Tekanan Hidup atau Live Load (L)

Meninjau (SNI-1727- 2020:25) merujuk pada beban yang berasal dari aktivitas penghuni gedung atau beban lingkungan yaitu beban hidup, pada bobot gempa, angin dan hujan.

2.2.3 Beban Angin (Win Load)

Bobot angin terbagi menjadi dua jenis, yakni positif (tekanan) dan negatif (isapan) diukur dengan satuan kg/m². Energi kinetik yang dihasilkan angin dan konstruksi yang berada di jalur angin dapat merubah menjadi bentuk baik tekanan maupun isapan . Hal ini menyebabkan angin bisa berbelok bahkan terhenti (SNI-1727- 2020:109).

2.2.4 Beban Gempa

Dalam merencanakan pondasi, didapatkan perilaku maks yang terjadi pada perhitungan gaya gempa. Perhitungan dilakukan dengan meninjau Standar Nasional Indonesia (SNI-1726- 2019). Pada studi ini pondasi bore pile untuk Rumah Sakit ini, digunakan dengan cara analisis gempa khususnya metode analisis. Faktor Keamanan dan Kategori Resiko Konstruksi Bangunan.

Lihat Tabel 2.2 (keutamaan le) jenis bahaya yang ditimbulkan konstruksi gedung relevan pada Tabel 2.1 (dampak gempa rencana) serta ke-2 nya masih tetap dikalikan (SNI-1726- 2019:25).

Tabel 2. 1 Jenis bahaya konstruksi gedung serta non pada bobot gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber : (SNI-1726- 2019:25)

Tabel 2. 2 Variabel keutamaan gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

Sumber : (SNI-1726- 2019:25)

2.2.4.1 Klasifikasi Situs

Kriteria *desain seismic* pada konstruksi yang berada di permukaan pertamanya harus memastikan situsnya. Untuk jenis situs nya bisa dipastikan dengan melihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Pengelompokan kelas

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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks plastisitas, $PI > 20$
2. Kadar air, $w \geq 40\%$

Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa

Sumber: (SNI-1726- 2019:29)

Tabel Lanjutan 2.3

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber: (SNI-1726- 2019:29)

Meninjau (SNI-1726- 2019:32) terhadap lapisan yang tersusun atas agregat kohesif serta non, nilai \bar{N} bisa dicari melalui rumus :

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

Keterangan :

d_i : Ketebalan masing-masing lapisan pada interval 0-300 cm

N_i : Harga hambatan penetrasi baku 60%

2.2.4.2 Klasifikasi Situs

Dalam memastikan/mencari *respons spektral* percepatan pada gempa MCER diatas tanah, perlu dipertimbangkan *periode* pendek (F_a) serta *periode* 1 s (S_{MS}) dan dihitung menggunakan Persamaan (2.10) pada S_{MS} serta Persamaan rumus (2.11) untuk S_{M1} .

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

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

Keterangan:

S_s = Pengukur *respons spektral* percepatan gempa MCER tergambar guna jangka pendek

S_1 = Pengukur *respons spektral* percepatan gempa MCER tergambar guna jangka 0,1 detik

Nilai koefisien bisa ditentukan dengan melihat Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 terhadap (SNI-1726- 2019:34) untuk harga F_a dan harga F_v .

Tabel 2. 4 Koefisien Situs Fa

Paramater respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 0,2$ detik, S_s

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	$SS^{(a)}$					

Sumber: (SNI-1726- 2019:34–35)

Catatan:

- (a) Alamat yang harus menggunakan insvestigasi geo spesifik serta analisa.

Tabel 2. 5 Koefisien Situs Fv

Paramater respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1

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	$SS^{(a)}$					

Sumber: (SNI-1726- 2019:34–35)

2.2.4.3 Pengukur Percepatan Gempa (SM1 dan SMS) dan Percepatan Gempa Desain (SD1 serta SDS)

Pengukur percepatan spektral desain pada *time* pendek (S_{DS}) serta guna waktu 1 s (S_{D1}) meninjau (SNI 1726-2019) bisa dipastikan oleh Persamaan (2.12) pada harga S_{DS} dan Persamaan (2.13) pada harga S_{D1} :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2.12)$$

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

Dalam perhitungan kemampuan geser atau kemampuan lateral timbul sebab beban gempa rencana, penting untuk mengetahui nilai S_s dan S_1 dari analisis zona daerah gempa di titik tinjau konstruksi. Informasi mengenai data gempa bisa diperoleh dari website atau sumber lainnya.

2.2.4.4 Kategori Desain Seismik

Pada suatu konstruksi wajib menetapkan memiliki kategori desain *seismic* meninjau pada kategori resiko konstruksi maupun nilai SDS serta $SD1$ yang meninjau Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Kategori rencana Seismik meninjau pada Pengukur Respon Percepatan

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

Sumber: (SNI-1726- 2019:37)

Tabel 2. 7 Jenis Rencana *Seismic* meninjau Pengukur Respon Percepatan

Nilai $SD1$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: (SNI-1726- 2019:37)

2.2.4.5 Penentuan Periode

Dalam memastikan jangka *fundamental* pendekatan (T_a), pada s (SNI-1726- 2019:72) dibawah 12 tingkat pada Persamaan :

$$T_a = 0,1 N \text{ (N = Banyak per lantai) } \dots\dots\dots(2.14)$$

Dan untuk bangunan yang melebihi 15 lantai :

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

Keterangan :

h_n = Elevasi konstruksi, pada (m), permukaan sampai elevasi puncak rangka

C_t = Koef *seismic* waktu (di tentukan pada Tabel 2.9)

x = Meninjau di Tabel 2.9

Tabel 2. 8 Koef pada puncak waktu yang dikalkulasikan

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $SD1$	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 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct Dan X

Tipe Struktur	Ct	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau di hubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenal gaya seismic:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Raka baja beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: (SNI-1726- 2019:72)

2.2.4.6 Koefisien Respon Seismik (Cs)

Meninjau (SNI-1726- 2019:70),:

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

Keterangan

S_{DS} = Pengukuran percepatan sebaran respon desain pada

R = Variabel modif balasan

I_e = Variabel utama gempa

Perhitungan C_s menggunakan rumus diatas, tidak boleh menghasilkan nilai yang melebihi batas yang tertera pada persatuan berikutnya :

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

Dan harga C_s dicari menurut persamaan tadi dibawahnya pada *report*

Persamaan ini :

$$C_{smin} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.18)$$

2.2.4.7 Geser Dasar Seismik

Menurut (SNI-1726- 2019:69) dalam menetapkan V pada arah telah dipastikan juga tetap dihitung melalui Persamaan :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

C_s = Koef balasan *seismic* yang ditetapkan

W = Beban *seismic* efisien

2.2.4.8 Penyebaran Vertikal Gaya Gempa

Daya gempa (lateral) atau F_x pasti disampaikan ke seluruh titik serta total lapisan konstruksi juga pasti ditetapkan menurut (SNI-1726- 2019:73).

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

Dan

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

Keterangan :

C_{vx} = Variabel penyebaran lurus

V = Daya lateral rencana keseluruhan maupun geser pada ujung penyusun (Kn)

W_i dan W_x = Part beat seismik efisien keseluruhan penyusun (W) yang ditempatkan atau dikenalkan pada tingkat i atau x

H_i dan h_x = Ketinggian dimulai ujung bawah tingkat i atau x

K = Eksponen bersamaan terhadap rentang waktu ialah :

- Pada komponen memiliki perioda selama 0,5 detik maupun $<$, $k = 1$
- Pada komponen memiliki perioda selama 2,5 Detik maupun $>$, $k = 2$
- Pada komponen memiliki perioda interval 0,5 serta 2,5 detik, k pasti seharga 2 maupun mesti ditetapkan pada interpolasi linier interval 1 serta 2

2.2.4.9 Bobot Kombinasi

Output pada kalkulasi beban yang divariasikan dalam program STAAD-PRO, mengikuti dua variasi beban meninjau pada ketentuan (SNI-1726- 2019:26–27).

Tabel 2. 10 Kombinasi Bobot Untuk Konsep Ultimit serta Sistem Tegangan

Beban	Metode Ultimit	Metode Tegangan Ijin
Beban Mati	1,4 D	D D + L
Beban Hidup	1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)	D + (Lr atau R) D + 0,75 L + 0,75 (Lr atau R)

Tabel 2.10 Lanjutan

Beban Angin	$1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$	$0,6 D + 0,6 W$
	$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	$0,6 D + 0,7 E$
	$0,9 D + 1,0 W$	$D + (0,6 W \text{ atau } 0,7 E)$
		$D + 0,75 (0,6 W \text{ atau } 0,7 E)$
		$D + 0,75 (0,6 W + 0,75 E) + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
Beban Gempa	$1,2 D + 1,0 E + L$	
	$0,9 D + 1,0 E$	

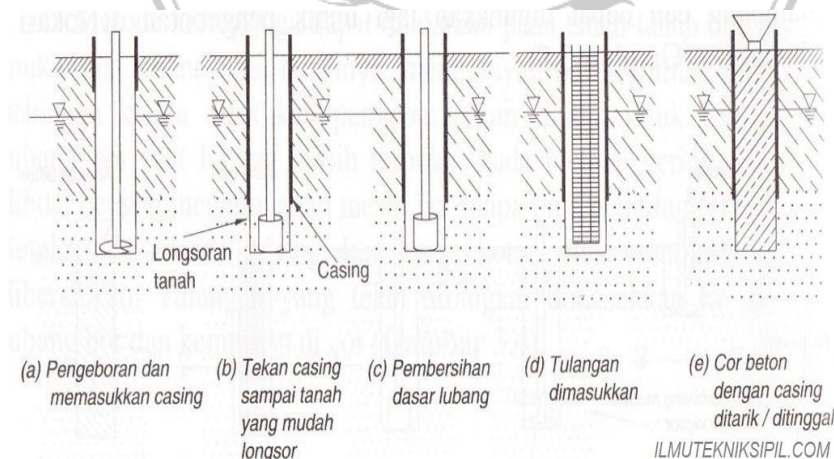
Sumber : (SNI 1726 - 2019:26)

2.3 Pondasi *Bore Pile*

Fondasi *bore pile*, ialah tipe pondasi dalam dan langsung dituangkan ke lokasi pembangunan. Pada awal konstruksi mulai pondasi ini, penggalian tanah pada titik-titik yang akan dijadikan lokasi bore pile. Saat pemasangan tiang, apabila terdapat air di lokasi penggalian, air tersebut harus dikeluarkan. Pada langkah pengecoran tiang bor, pipa casing berselimit baja guna penyangga di sekitar galian lubang untuk mencegah kelongsoran. Pemasangan casing dilakukan menggunakan sistem pemancangan, yakni getaran atau tekanan di pipa casing dalam menggapai lokasi yang ditentukan casing yang telah direncanakan, sama pada Gambar 2.2. Variasi pondasi tiang bor dapat dilihat pada Gambar 2.3. (Hardiyatmo, 2003:67).

Sumber : <https://www.ilmutekniksipil.com/teknik-pondasi/pondasi-bor-dengan-metode-casing>

Macam-macam pondasi *bore pile* sebagai berikut :

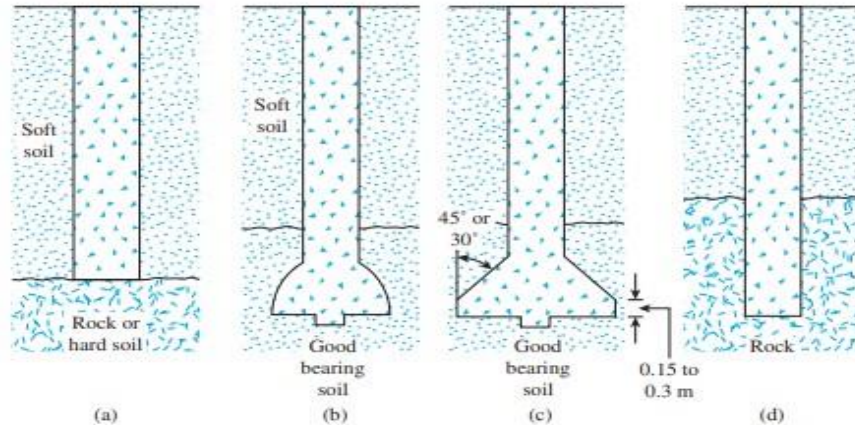


Gambar 2. 2 Pengejaan Pondasi Tiang Bor (Bored Pile)

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

- Bore pile* lurus dipakai terhadap tanah keras
- Tiang bor memiliki dasar yang diperluas menyerupai bell
- Tiang bor mempunyai dasar diperluas menyerupai trapesium
- Tiang bor mempunyai dasar lurus, umumnya dipakai pada tanah bebatuan

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



Pada kegunaan *bore pile* terhadap struktur konstruksi ada beberapa faktor ialah

:

(Hardiyatmo, 2003:67)

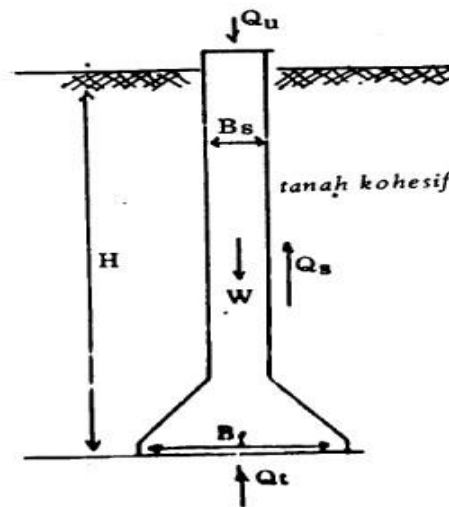
Gambar 2. 3 Variasi Pondasi *Bore Pile*

- Penggunaan tiang kelompok maupun diameter yang *bervariatif*.
- Pemakaian tiang bergrup maupun *pile cap* bisa diberikan terhadap fondasi *bore pile*
- Hilangnya kebisingan terhadap sekitar daerah proyek akibat pemancangan dalam pelaksanaan pondasi jenis *bore pile*.
- Terhindarnya dari kerusakan konstruksi sekitar dalam proses pancang terhadap fondasi tiang.
- Memiliki kemampuan tahan cukup besar dalam beban lateral
- Kemudahan pemeriksaan secara langsung terhadap atas permukaan *bore pile* yang telah di konsepkan.
- Pelebaran ujung pondasi bisa dilaksanakan dalam meningkatkan kemampuan terhadap gaya keatas.

2.4 Daya Dukung Ijin Tiang

Meninjau dari bukunya (Pamungkas, 2013 : 42) Kemampuan dukungan dievaluasi menurut kuat izin tarik dan tekan, yang disebabkan oleh sifat bahan tiang serta keadaan tanah. Oleh karenanya, dalam penyelidikan tanah, perlu dilakukan dengan teliti untuk menentukan kedalaman yang bisa merubah keadaan tiang dan tenaga bahan tiang, seperti di Gambar 2.4.

Sumber : (Pamungkas, 2013 : 42)



Gambar 2. 4 Skema Daya Dukung

Macam-macam daya dukung yang perlu diperhatikan pada studi ini ialah :

2.4.1 Daya Dukung Ijin Tekan Tiang Bor

Analisis kemampuan penyokong izin tekan fondasi *bore pile* dalam tenaga tanah bisa dilakukan melibatkan Persamaan sebagai berikut: (Pamungkas dan Harianti, 2002:43).

Kemampuan dukung terhadap dasar tiang :

$$Q = qd \times A \dots\dots\dots(2.22)$$

Berdasarkan data N SPT (Mayerhof)

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

Keterangan :

- Ra = Intensitas daya dukung maks terhadap ujung tiang
- Qd = Intensitas tenaga dukung maks terhadap dasar tiang di Tabel 2.11
- Ap = Luas bidang tiang
- Ast = Keliling bidang

- li = Panjang segmen tiang dalam pertimbangan
- fi =Kemampuan geser terhadap selimut segmen tiang di Tabel 2.12
- FK1 , FK2 = 3 serta 5, variabel keamanan

Tabel 2. 11 Hipotesis q_d terhadap Tiang yang dicor dilokasi dalam satuan t/m²

Intensitas		$N \geq 50$	750
daya dukung		$50 > N \geq 40$	525
ultimate pada	Lapisan Kerikil	$40 > N \geq 30$	300
ujung tiang	Lapisan berpasir	$N \geq 30$	300
(q_d)	Lapisan lempung keras	$3qu^2$	

1. Perbedaan antara lapisan kerikil dengan lapisan berpasir dapat dipertimbangkan berdasarkan hasil penyelidikan pada sejumlah kecil tanah tersebut. Lapisan berpasir tanpa kerikil. Harga N diperoleh dari pentelidikan.
2. pada lapisan lempung keras, intensitas daya dukung ditetapkan berkenaan dengan kriteria perencanaan pondasi kaison qu adalah kekuatan geser unconfined (t/m²)

Sumber : Sosrodarsono dan Nakazawa (2000:102)

Tabel 2. 12 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang (fi)

Jenis Tanah	Jenis Tiang	
	Pondasi	Tiang yang di Cor di tempat
Tanah Berpasir	Tiang Pracetak $N/5 (\leq 10)$	$N/2 (\leq 12)$
Tanah Kohesif	c atau $N (\leq 12)$	$c/2$ atau $N/2 (\leq 12)$

Sumber : Sosrodarsono dan Nakazawa (2000:102)

2.4.2 Daya Dukung Ijin Horizontal Tiang Bor

Pada analisis tenaga horizontal di tiang, terdapat 2 jenis yang dibedakan berdasarkan model pengikatan tiang dengan *pile cap*, yakni :

1. Tiang dasar tak terikat (*free end pile*) merujuk pada tiang yang bagian atasnya hanya menembus *pile cap* maupun tertanam sedalam kurang 60 cm.
2. Tiang dasar jepit (*fixed end pile*) tiang yang dasar permukaannya tertimbun maupun terjepit terhadap *pile cap* < 60cm.

Pada dasar tiang terjepit tenaga penyokong horizontal bisa dihitung memakai rumus dalam ketentuannya, yaitu :

1. Untuk tiang pendek

Meninjau (Pamungkas dan Harianti, 2002:60) daya dukung ijin horizontal pada tiang pendek ialah :

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

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

2. Pada Tiang Menengah

Meninjau (Pamungkas dan Harianti, 2002:60) kemampuan dukung horizontal terhadap tiang menengah ialah :

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

H_u diperhitungkan :

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

3. Untuk tiang panjang

Menurut (Pamungkas dan Harianti, 2002:61) apabila $M_{max} > M_y$ karena itu dikatakan tiang panjang, dan H_u dipastikan Pada Persamaan :

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

Serta harga f diutarakan di Persamaan :

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

Dalam menemukan kolerasi pada *undrained shear strength* (C_u) meninjau teknik (Stroud 1974) ialah :

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

Keterangan :

C_u = Undrained strength (kN/m^2)

D = Diameter tiang (m)

L_p = Panjang tiang yang tertanam (m)

K = 3,5 – 6,5 (kN/m^2) harga rata-rata konstanta

N = Harga SPT

2.4.3 Daya Dukung Ijin Tarik Tiang Bor

Menurut (Pamungkas dan Harianti, 2002:51) menganalisis daya dukung fondasi dengan kemampuan tanah menggunakan rumus ialah :

Meninjau Data N-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} = Kemampuan penyokong ijin tarik tiang

A_{st} = Kemampuan penyokong ijin tarik tiang

l_i = Panjang segmen tiang ditinjau (m)

F_i = Tenaga geser terhadap selimut segmen tiang

FK2 = Variabel keamanan, 3 dan 5

Wp = Bobot fondasi (ton)

2.4.4 Perencanaan Tiang Bor Kelompok

Banyak tiang diatur pada mengkalkulasi kemampuan aksial terhadap titik tinjau kolom, kemudian disebar dengan kemampuan dukung tiang sendiri diperhitungkan menggunakan Persamaan (2.32).

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

Dalam jarak tiap tiang pada Gambar 2.5 diisyaratkan sesuai dengan ketentuan pada

Meninjau dalam mengukur kemampuan penyokong tanah dari Dirjen Bina Marga Depertemen P.U.T.L ialah :

$$S > 2,5D \dots\dots\dots (2.33)$$

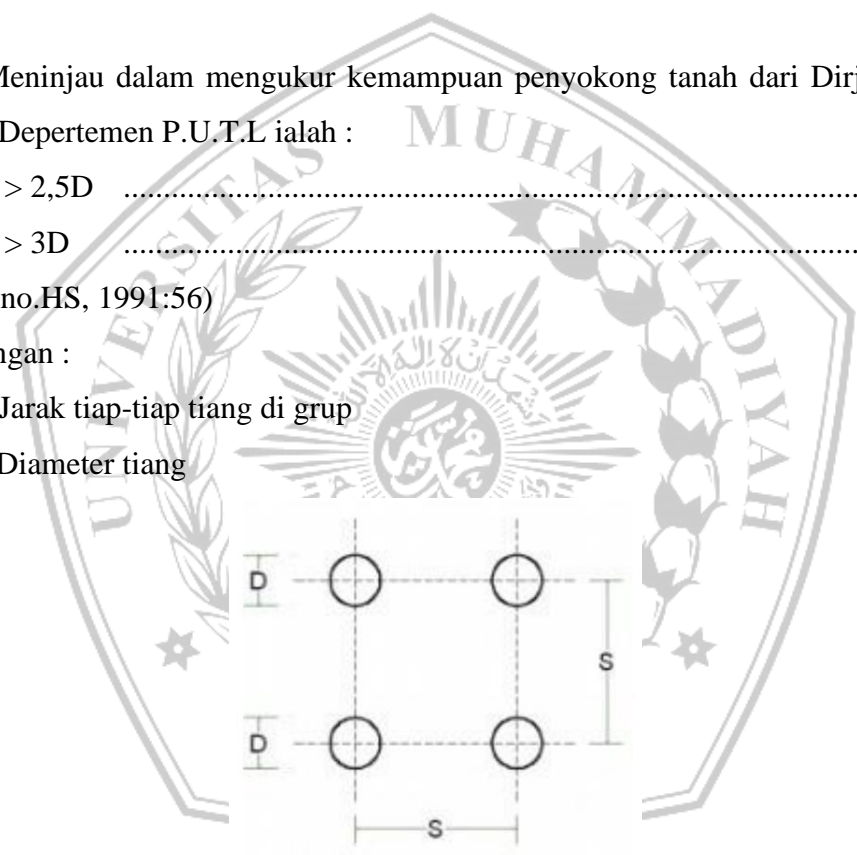
$$S > 3D \dots\dots\dots (2.34)$$

(Sardjono.HS, 1991:56)

Keterangan :

S = Jarak tiap-tiap tiang di grup

D = Diameter tiang



Gambar 2.5 Jarak pusat ke pusat Tiang

Sumber : (Sardjono.HS, 1991:56)

2.2.1 Efisiensi Kelompok Tiang Pondasi

Perencanaan efektif grup tiang fondasi, menurut oleh *UBC AASHTO*, dilaksanakan guna memverifikasi keamanan grup fondasi *bore pile* terhadap beban *vertikal* yang dihasilkan oleh bangunan.

$$E_g = 1 - \Theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\theta = \arctan \frac{d}{s} \dots \dots \dots (2.36)$$

2.4.5 Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Menurut (Pamungkas dan Harianti, 2002:57) dalam menentukan kalau setiap tiang tetap kuat menjaga bobot dari konstruksi di atasnya, tiang-tiang tetap dikontrol sesuai dengan kapasitas daya dukungnya.

$$P_{maks} = \frac{P_u}{N_p} \pm \frac{M_y X_{maks}}{n_y \sum X^2} \pm \frac{M_x Y_{maks}}{n_x \sum Y^2} \dots \dots \dots (2.37)$$

Keterangan :

P_{max} = Bobot maks tiang

P_u = Kemampuan aksial berlangsung (terfaktor)

M_y = Momen yang berlaku berdiri lurus y

M_x = Momen yang berlaku berdiri lurus x

X_{max} = Rentang tiang terjauh arah x

Y_{max} = Rentang tiang terjauh arah y

$\sum x^2$ = Banyak pangkat dua X

$\sum y^2$ = Banyak pangkat dua Y

n_x = Banyaknya tiang pada 1 zona arah x

n_y = Banyaknya tiang pada 1 zona arah y

n_p = Banyak tiang

Jika P_{maks} berharga positif, jadi *pile* memperoleh kemampuan tekan.

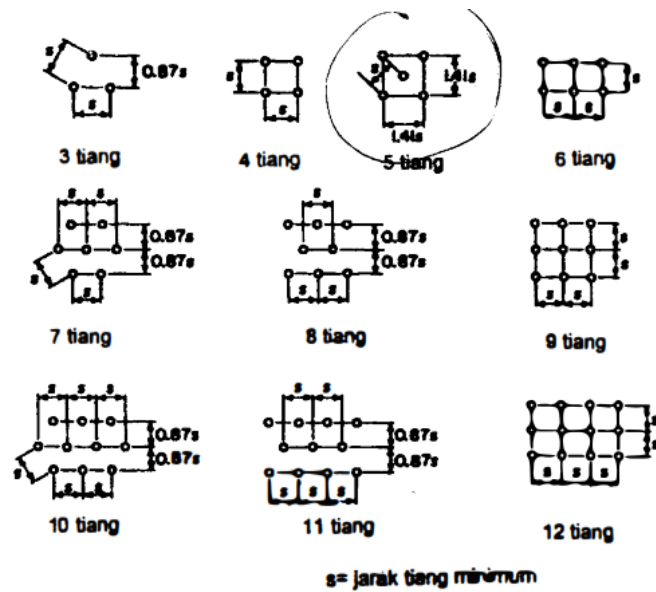
Bila P_{maks} berharga negatif, jadi *pile* memperoleh kemampuan tarik.

2.5 Perencanaan Pile Cap

2.5.1 Penulangan Pile Cap

Menurut (Pamungkas, 2013:87), *Pile cap* menghubungkan dan mentransfer beban kolom kepada tiang, sesuai dengan Gambar 2.6. Umumnya terdiri oleh beton bertulang, konsep *pile cap* memperhitungkan beberapa asumsi.

1. *Pile cap* masih kaku.
2. Dasar atas tiang menggantung di *pile cap*. Sebabnya, nihil adanya momen lentur disebabkan *pile cap* terhadap tiang.
3. Tiang ialah kolom pendek serta lentur. Sebabnya, penyebaran tegangan serta deformasi menjadi penampang datar.



Gambar 2. 6 Susunan Kelompok Tiang pada Pile cap

Sumber : (Hardiyatmo, 2008:194)

2.5.2 Dimensi Pile Cap

Rentang tiap tiang memiliki pengaruh terhadap dimensi pile cap. Terhadap kelompok tiang, jarak umumnya sekitar $2,5D - 3D$, dengan D ialah diameter tiang. Hitungan kemampuan geser 1 arah serta 2 arah pada pile cap serupa pada hitungan kemampuan geser pada pondasi telapak. (Pamungkas, 2013:87).

Meninjau (SNI 2847 – 2019) tebal telapak diatas susunan tulangan bawahnya harus minimal 30 cm guna fondasi telapak permukaan pancang. Selimut beton langsung dicor di atas tanah serta tetap bersentuhan pada tanah memiliki ketebalan sekitar 75 mm.

Masih dengan meninjau (SNI 2847 – 2019) kekuatan geser telapak pondasi pada wilayah kolom, beban terfokus, maupun lokasi reaksi difokuskan terhadap keadaan terpenting oleh 2 hal ini ialah :

1. Langkah balik 1 arah dimana tiap-tiap bidang krusial yang dilihat mencapai sejauh penampang yang menyunting total lebar pondasi.
2. Langkah 2 arah dimana tiap-tiap bidang krusial yang dilihat tetap di taruh semirip hingga parameter bidang ialah terkecil.

2.5.3 Perhitungan Tulangan *Pile Cap*

Meninjau (Pamungkas, 2013:94), dari (SNI 2847 – 2019) bahwa momen terfokus terbesar pada sebuah pondasi telapak sekitar tetap dicari dengan bidang krusial pada lokasi :

1. Muka kolom, pedestal maupun dinding guna pondasi telapak pendukung kolom, pedestal maupun kolom cor
2. Separuh jarak yang dihitung oleh bagian tengah hingga pinggir dinding guna mendukung dinding pasangan oleh pondasi telapak.
3. Separuh dari panjang dilihat pada muka kolom hingga tepi pelat alas baja, pada fondasi yang menopang pelat dasar baja.

Hitungan tulangan memakai Persamaan :

- Bobot *Pile Cap* (q_u)

$$Q_u = A \times b_j \dots\dots\dots(2.38)$$

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

$$Q^1 = q_u \times L_1 \dots\dots\dots(2.40)$$
- Gaya momen berlaku terhadap *pile cap* (M_u)

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

$$M_{max} = Q_1(L_1 + \frac{1}{2} L) + R_A \cdot L/2 - \frac{1}{2} Q (L_2)^2 \dots\dots\dots(2.42)$$

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

$$M_u \text{ tiap 1 meter} = \frac{M_u}{B} \dots\dots\dots(2.44)$$
- Rasio tulangan tarik

$$R_n = \frac{M_u}{b_w \times d^2} \dots\dots\dots(2.45)$$

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

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

$$p_b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.48)$$

$$p_{maks} = 0,75 \cdot p_b \dots\dots\dots(2.49)$$

$$p_{minim} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$A_s \text{ perlu} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.51)$$
- Mengecek kontrol pemakaian terhadap kapasitas momen

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

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

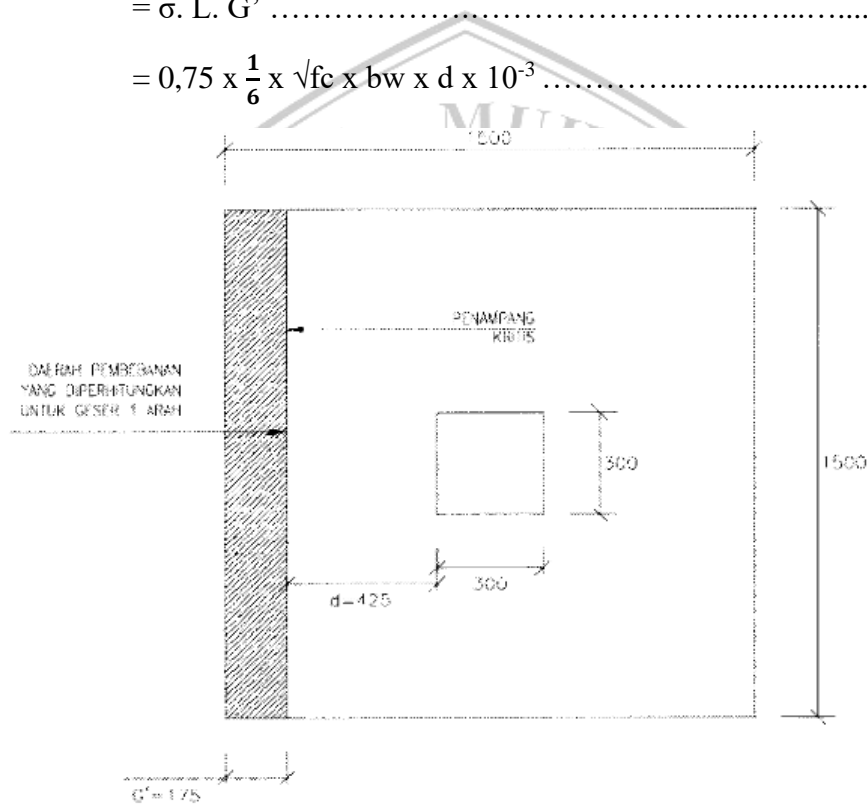
$$Mn = As \times fy \times (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(2.54)$$

2.5.4 Kontrol Terhadap Gaya Geser yang Bekerja Satu Arah

Meninjau (Pamungkas, 2013:88), kalkulasi kemampuan geser berlaku secara unidireksional terhadap bidang kritis, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.7, dihitung memakai rumus ialah :

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

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



Gambar 2. 7 Analisa Gaya Geser Satu Arah

Sumber : (Pamungkas, 2013 :89)

Dimana :

Vu = Gaya geser 1 arah berlangsung

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

p = Panjang Bidang

A = Keliling Bidang

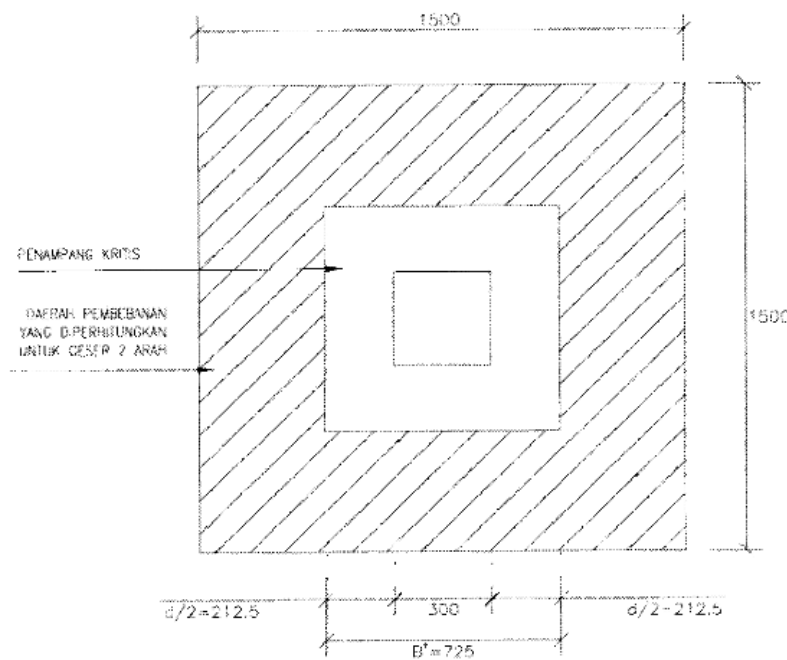
L = Panjang Pondasi

- G' = Bekerja guna perhitungan geser penulangan 1 sumbu di lokasi.
- $= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} + d \right)$
- b = Panjang fondasi
- d = Ketebalan efesien *pile cap*
- = h – selimut pondasi
- h = Ketebalan fondasi
- Vc = Kemampuan geser nominal akan dibagikan pada beton
- Fc' = Kemampuan dorong beton di isyaratkan
- Vu = Kemampuan geser 1 arah yang berlaku

2.5.5 Kontrol Terhadap Gaya Geser yang Bekerja Dua Arah

Meninjau (pamungkas, 2013:91), kalkulasi kemampuan geser yang terjadi 2 arah terhadap bidang *krusial*, yang terlihat di Gambar 2.8, dapat memakai persamaan :

Vu = Pmaks x banyak *bore pile*.....(2.57)



Gambar 2. 8 Analisa Gaya Geser Dua Arah

Sumber : (Pamungkas, 2013:91)

Tetapi meninjau (SNI 2847 – 2019:494) cek kekuatan geser beton 2 arah memiliki 2 persamaan yaitu :

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

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

$$V_c = (1 + \frac{2}{\beta}). 2. \sqrt{f_c'} . b_o.d \dots\dots\dots(2.60)$$

$$V_c = 4 . \sqrt{f_c'} . b_o.d \dots\dots\dots(2.61)$$

Keterangan :

- as = 40 bagi kolom tengah
 = 30 bagi kolom di pinggir
 = 20 bagi kolom di sudut
- Vu = Tenaga geser dua arah yang berlangsung
- bk = Panjang
- ak = Lebar
- d = Ketinggian efisien fondasi
- h = Ketebalan fondasi
- bo = Luas bidang krusial fondasi
- as = Konstanta guna kalkulasi fondasi

Guna cek kemampuan geser digunakan harga terkecil V_c melalui persamaan :

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

Memakai syarat :

$$\Theta V_c > V_u$$

2.5.6 Perhitungan Tulang Susut

Menurut (SNI 2847 – 2019:123), penggunaan tulangan susut diperhatikan dalam melindungi kualitas beton guna bisa optimal sehabisa program pengikatan (*setting time*). Pada tahap ini, beton berpotensi mengalami penyusutan yang dapat meringankan mutu. Perhitungan tulangan susut dilakukan menggunakan :

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

$$A_{ss} = 2. \frac{1}{4} \pi D^2.1000/150 \dots\dots\dots(2.64)$$

2.6 Penulangan Pondasi Tiang Bor (Bore Pile)

Penulangan terhadap fondasi *bore pile* mirip penulangan terhadap kolom, tetapi penampang yang dipakai berbentuk lingkaran. Konsep dalam penulangan tersebut mencakup :

- Memastikan luas tulangan longitudinal (A_{st}) dipakai. Tepat terhadap (SNI-2847- 2013:78), luas pada tulangan penyusun tekan harus berada dalam rentang antara 0,01 A_g hingga 0,08 A_g .

$$A_g = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (2.65)$$

$$A_{st} = 1/4 \cdot \pi \cdot D_{st}^2 \cdot n \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan :

A_g = Keliling bidang beton (mm²)

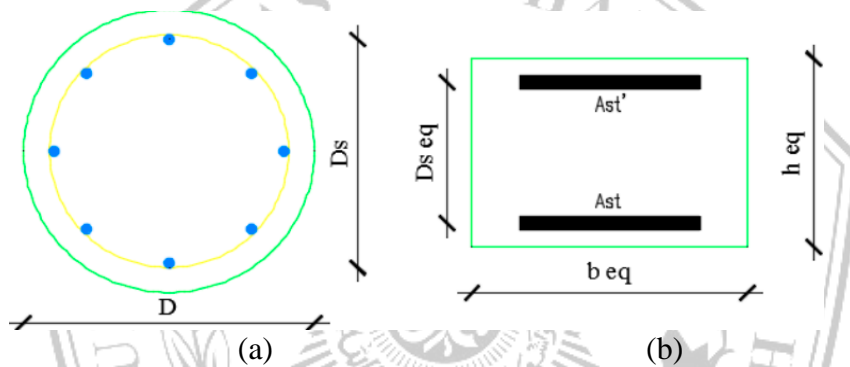
A_{st} = Keliling dari tulangan (mm²)

D = Diameter bidang beton (mm)

D_{st} = Diameter pada tulangan (mm)

N = Banyak tulangan

- Bidang pondasi *bore pile* berbentuk bulat pada Gambar 2.9a lalu diubah bidang segi empat pada Gambar 2.9b agar memastikan eksentrisitas pada keadaan aman (*balance*).



a. Penampang Lingkaran b. Penampang Ekuivalen Persegi

Gambar 2. 9 Penampang ekuivalen pondasi tiang bor

Sumber: (Istimawan Dipohusodo, 1991:327)

Ketebalan ekivalen bidang persegi empat

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

1. Ketebalan ekivalen bidang persegi empat

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

2. Keliling tulangan total A_{st} disalurkan terhadap 2 lapis

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

3. Rentang tiap tulangan

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

Keterangan :

D_s = Ketinggian efisien bidang (mm)

- Memeriksa eksentri dalam peroleh oleh (e) dengan membandingkan dengan eksen seimbang (eb)

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

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

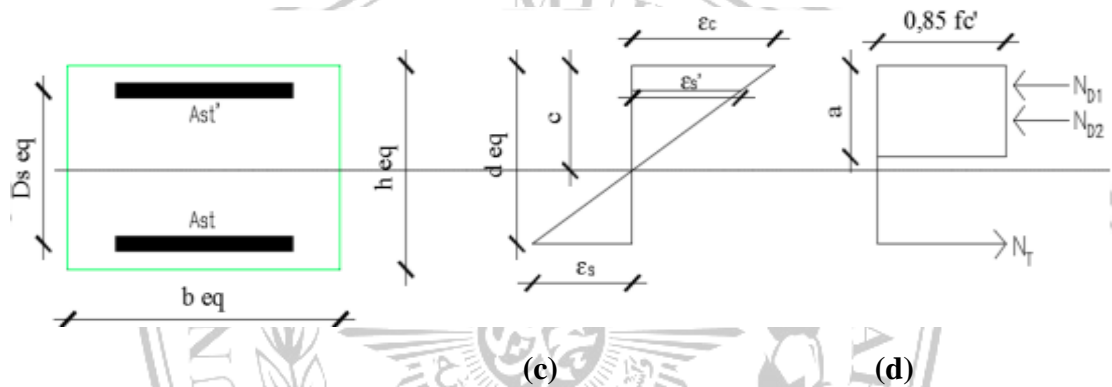
$$AB = \beta_1 \times C_b \dots\dots\dots(2.73)$$

- Regangan pada baja tulangan pada Gambar 2.10c

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

- Tegangan leleh baja tulangan pada Gambar 2.10d

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



c. Grafik Regangan Pada Bidang Ekuivalen Yang Berbentuk Persegi
 d. Grafik Tegangan Pada Bidang Ekuivalen Yang Berbentuk Persegi

Gambar 2. 10 Eksentrisitas Pondasi Tiang Bor

Sumber: (Istimawan Dipohusodo, 1991:326)

- Gaya aksial tekan pada kondisi setara

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

- Momen pada kondisi setara

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

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

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

- Jika kondisi $P_u \leq P_b$ maupun $e \geq e_b$, oleh karena itu kejatuhan akan berlaku ialah kejatuhan tarik bersama eksentri tinggi.

- Apabila kondisi $P_u \geq P_b$ atau $e \leq e_b$, oleh karena itu kejatuhan akan berlaku ialah kejatuhan tekan bersamaan eksen kecil.

Menurut (Istimawan Dipohusodo 1991:320) *Whitney* memberikan pendekatan *empiris* pada dimensi bidang kolom bulat, maupun dalam kondisi hancur tekan maupun tarik, menggunakan persamaan.

- Persamaan guna bidang bulat pada hancur tarik

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

- Konsep guna bidang bulat pada kegagalan tekan dipastikan dengan rumus :

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

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

Keterangan :

h = Diameter bidang

D_s = Diameter lingkaran tulangan terjauh dari sumbu

e = Eksentrisitas pada pusat plastis bidang

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

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

- Kolom pada bobot aksial tekan minim

Dalam pasal 11.3.2.2 SNI 03-2847-2002, pada penyusun konstruksi dalam tulangan simetris dengan $(h - d_s - d_s') / h$ lebih 0,7 bisa dikatakan mampu menjaga momen lentur jika harga $\Theta P_n \leq 0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ (serta ΘP_{nb} (dalam $\Theta = 0,65$ pada kolom dalam tulangan sengkang).

Di kolom pada tulangan sengkang mengikuti persamaan dibawah ialah :

1. Pada beban P_u ($P_u = \Theta P_{nb}$) $> P_{maks}$ jika harga $\Theta = 0,65 \dots (2.85)$

2. Pada beban P_u ($P_u = \Theta P_n$) $< P_{maks}$ jika harga $\Theta = 0,8 - \frac{0,15 \cdot P_u}{P_{maks}} \dots (2.86)$

Untuk kolom dengan tulangan spiral mengikuti persamaan dibawah ialah :

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

4. Pada beban P_u ($P_u = \Theta P_{nb}$) $< P_{maks}$ jika harga $\Theta = 0,8 - \frac{0,10 \cdot P_u}{P_{maks}} \dots (2.88)$

2.7 Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan tiang kelompok merujuk pada keseluruhan penurunan, yang terdiri dari penurunan elastis atau segera (*immediate settlement*) yang disimbolkan dengan S_i , dan penurunan berlangsung pada rentang lama (*long-term consolidation settlement*) yang disimbolkan dengan S_c (Pamungkas dan Harianti, 2002:79).

Turunan keseluruhan ialah penambahan pada ke-2 jenis penurunan ini.

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

Keterangan :

S = Penurunan Keseluruhan

S_i = Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

S_c = Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

2.7.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan diperoleh dari perubahan bobot tanah menopang serta berlangsung terhadap volume sesuai merupakan Penurunan segera (Pamungkas dan Harianti, 2002:34).

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

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

- Kemampuan terhadap ujung fondasi

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

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

Keterangan :

S_i = Penurunan segera [m]

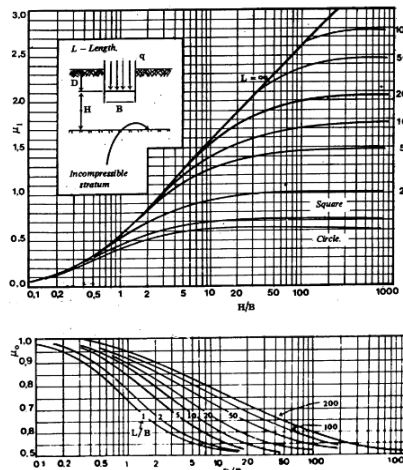
q_d = Kemampuan berlangsung [Pu/A]

B = Lebar grup tiang [m]

E_u = Modulus deformasi kondisi undrained [kN/m²]

μ_i = Variabel cek pada penyusun tanah dalam tebal terbatas H
(Gambar 2.11)

μ_0 = Variabel cek guna kedalaman fondasi D_f (Gambar 2.11.)



Gambar 2. 11 Grafik hubungan μ_i , μ_o , kedalaman pondasi (Df) serta lebar fondasi(B) (Janbu, Bjerrum dan Kjaernsti)

Sumber: (Pamungkas dan Harianti, 2002:34)

Pengujian SPT menghasilkan harga modulus elastis dimana kemudian disambungkan bersama harga SPT didapat oleh uji tanah :

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

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

Sumber : (Hardiyatmo, 1996:164)

2.7.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Penurunan isi tanah jenuh bersama gradual bersama daya tembus yang kecil, yang disebabkan oleh drainase pori, nyatakan penurunan konsolidasi. Pada Gambar 2.12, kenaikan tegangan total telah sepenuhnya hilang, mengindikasikan bahwa proses konsolidasi terus berlanjut hingga mencapai tekanan berlebih air pori. Keadaan ini terjadi terhadap tanah mengalami konsolidasi normal.

$$S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H \dots\dots\dots(2.91)$$

Dengan memakai Persamaan menjadi :

$$S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H = \frac{H}{1 + e_0} \cdot C_c \cdot \text{Log} \frac{P_0 \Delta p}{P_0} \dots\dots\dots(2.92)$$

(Pamungkas dan Harianti, 2002:36)

Keterangan :

- S_c = Penurunan konsolidasi (m).
- H = Ketebalan susunan tanah (m).
- e₀ = Harga pori terhadap stress P_o (angaporiasli).
- E = Harga pori terhadap tegangan P.
- C_c = Pengukuran pemampatan (compression index).

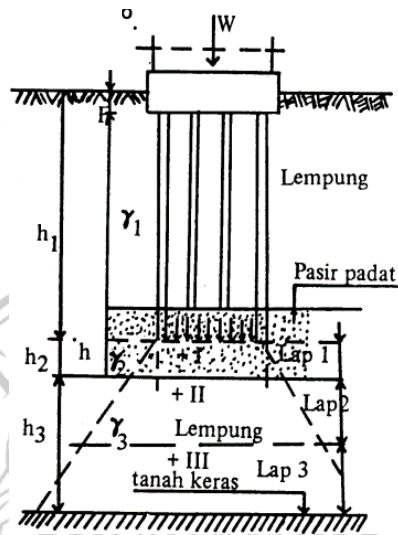
$$= 0,156 \cdot e_0 + 0,0107 \text{ (Rendon-Herrero-1980)} \dots\dots\dots (2.93)$$

Po = Stress aktual terhadap susunan tanah (t/m²).

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

Δ_p = Perkembangan stress terhadap susunan tanah (t/m²).

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



Gambar 2. 12 Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang

Sumber : (Sardjono.HS, 1991:76)

2.7.3 Penurunan Ijin

Menurut (Nasional, SNI 8460 - 2017:178), ukuran penurunan keseluruhan serta perbedaan penurunan yang sesuai ditetapkan menurut kewajaran konstruksi atas serta konstruksi sekeliling. Penilaian ini tetap mempertimbangkan ketahanan, kestabilan, dan fungsionalitas struktur di atasnya harus dipertahankan. Penurunan pada konstruksi tinggi harus mematuhi persamaan :

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

Keterangan :

S = Penurunan dizinkan (cm)

b = Lebar fondasi (cm)

2.7.4 Waktu Konsolidasi

Penurunan konsolidasi biasanya diperlukan untuk menilai sejauh mana pondasi mengalami penurunan waktu konsolidasi. Oleh karenanya ini menjadi penting ketika penurunan kostruksi diprediksi berpengaruh.

Menurut (Hardiyatmo, 2011: 310), dalam menemukan penurunan konsolidasi terhadap waktu menentu (t), memakai persamaan dibawah :

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

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

$$T_{90} = \frac{H t^2 \times T_v}{c_v} \dots\dots\dots (2.99)$$

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

Keterangan :

S_t = Rentang konsolidasi (bulan serta tahun)

T_v = Variabel rentang

H_t = Panjang track aliran ($H_t = H/2$, untuk aliran dobel dan $H_t = H$, terhadap aliran air sendiri)(m)

H = Tebal susunan tanah lempung padat (m)

C_v = Keefektifan konsolidasi terhadap antara tekanan khusus (m^2/det)

Untuk menentukan harga variabel waktu (T_v), hubungannya dapat dikaitkan dengan derajat konsolidasi (U) standar, Mengacu terhadap prinsip *konsolidasi 1 dimensi* Terzaghi, data ini bisa ditemukan dan diidentifikasi di Tabel 2.13. Harga-harga yang tercantum di tabel bawah bisa diterapkan baik pada kondisi aliran air dua kali lipat maupun aliran air sendiri.

Tabel 2. 13 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	∞

Sumber : Terzaghi