

3.3 TIANG BOR

Seperti telah disebutkan, tiang bor adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dulu. Keuntungan dalam pemakaian tiang bor dibandingkan dengan tiang pancang adalah:

- 1) Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
- 2) Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung di letakkan di puncak tiang bor.
- 3) Kedalaman tiang dapat divariasikan.
- 4) Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
- 5) Tiang bor dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batu.
- 6) Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
- 7) Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

- 8) Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Kerugiannya:

- 1) Pengecoran tiang bor dipengaruhi kondisi cuaca.
- 2) Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
- 3) Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan tiang bor mengurangi kapasitas dukung tiang bor, terutama bila tiang bor cukup dalam.
- 4) Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
- 5) Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.

3.3.1 Metode Pelaksanaan Tiang Bor

Prinsip-prinsip pelaksanaan tiang bor pada tanah yang tidak mudah longsor adalah sebagai berikut:

- 1) Tanah digali dengan mesin bor sampai kedalaman yang dikehendaki.
- 2) Dasar lubang bor dibersihkan.
- 3) Tulangan yang telah dirakit dimasukkan ke dalam lubang bor.
- 4) Lubang bor diisi/di cor beton.

Terdapat tiga metode pelaksanaan pembuatan tiang bor:

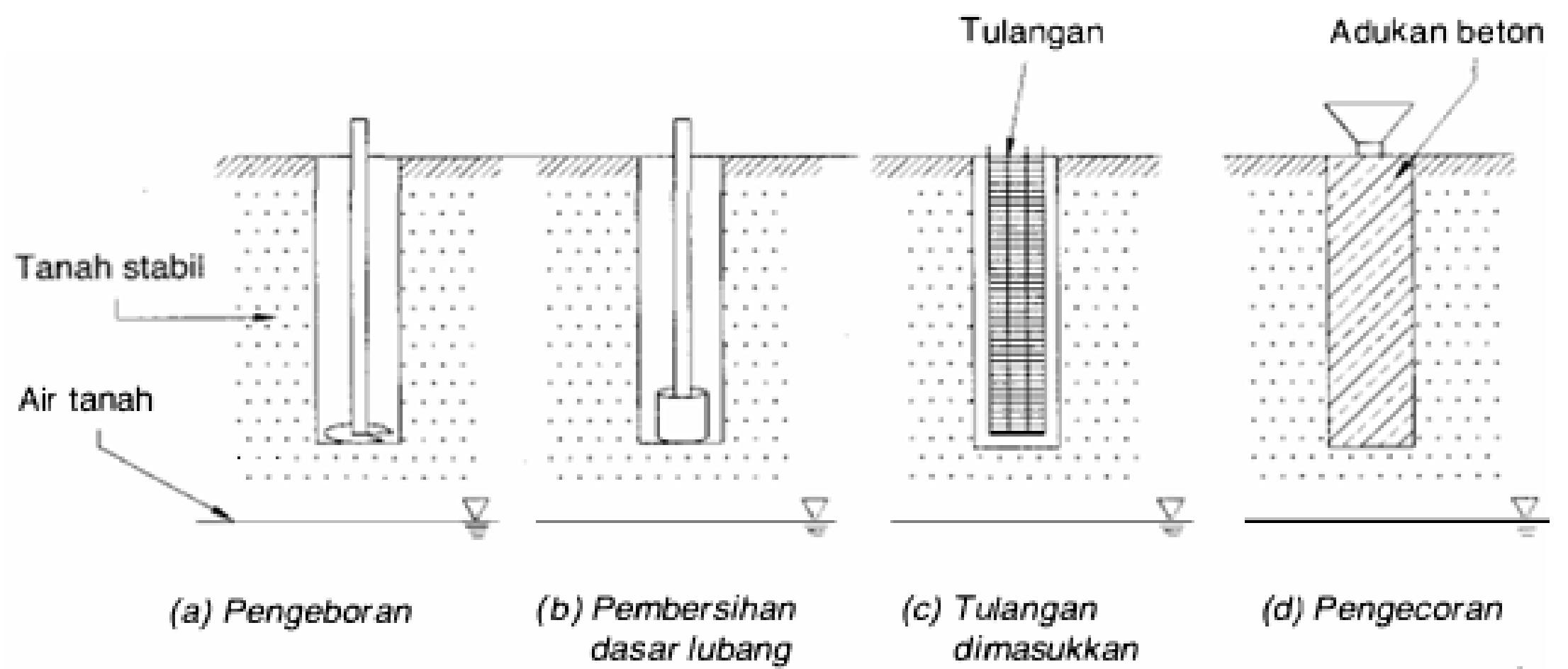
- 1) Metode kering
- 2) Metode basah
- 3) Metode *casing*.

Berikut ini penjelasan masing-masing metode tersebut.

a) Metode Kering

Metode kering cocok digunakan pada tanah di atas muka air tanah yang ketika dibor dinding lubangnya tidak longsor, seperti lempung kaku homogen. Tanah pasir yang mempunyai sedikit kohesi juga lubangnya tidak mudah longsor jika dibor.

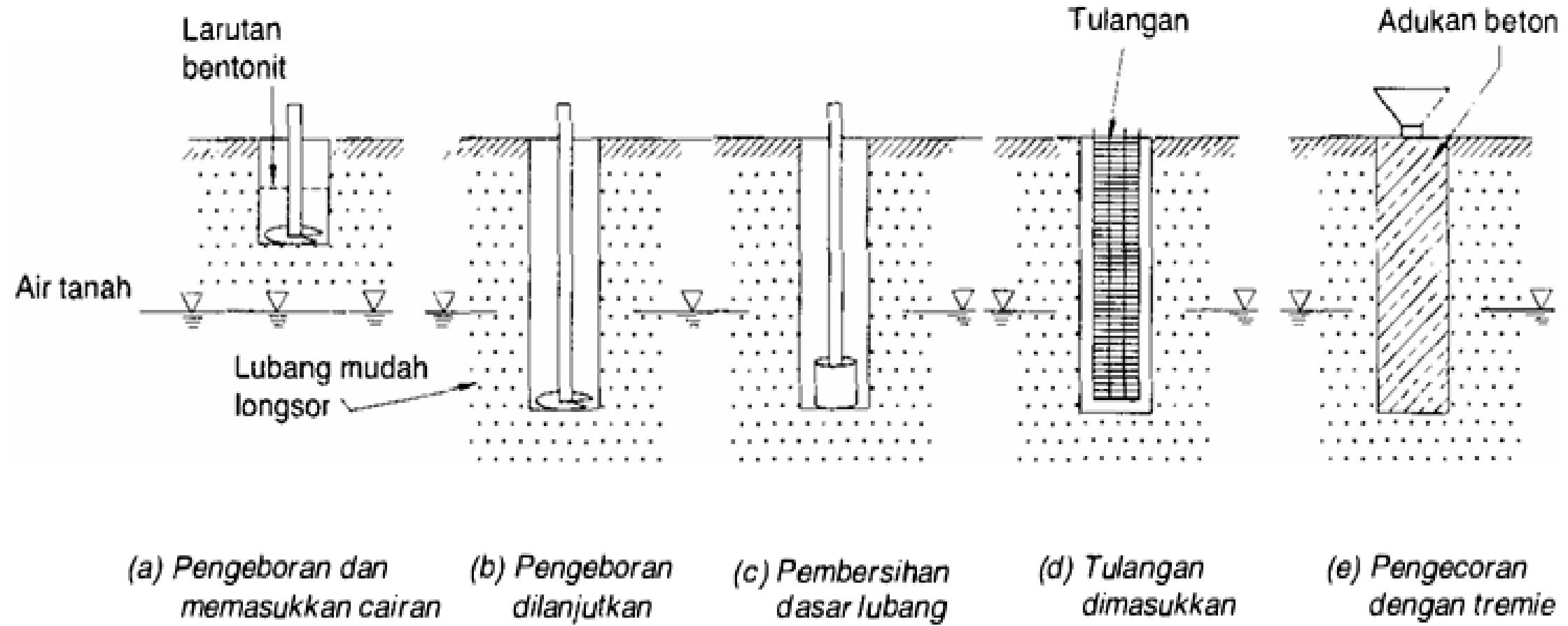
Metode kering juga dapat dilakukan pada tanah-tanah di bawah muka air tanah, jika tanahnya mempunyai permeabilitas rendah, sehingga ketika dilakukan pengeboran, air tidak masuk ke dalam lubang bor saat lubang masih terbuka. Pada metode kering, lubang dibuat dengan menggunakan mesin bor tanpa pipa pelindung (*casing*). Setelah itu, dasar lubang bor yang kotor oleh rontokan tanah dibersihkan. Tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor dan kemudian di cor (**Gambar 3.4**).



Gambar 3.4 Langkah-langkah pelaksanaan tiang bor dalam metode kering (Fleming et al., 2009).

b) Metode Basah

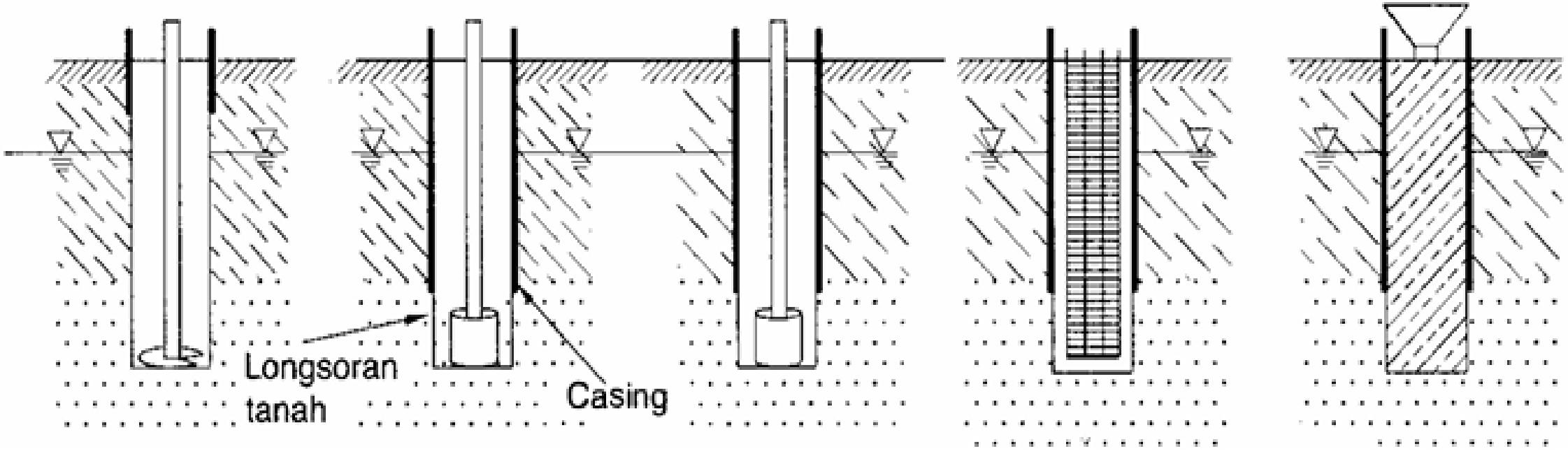
Metode basah umumnya dilakukan bila pengeboran melewati muka air tanah, sehingga lubang bor selalu longsor bila dindingnya tidak ditahan. Agar lubang tidak longsor, di dalam lubang bor diisi dengan larutan tanah lempung/*bentonite* atau larutan polimer. Jadi, pengeboran dilakukan di dalam larutan. Jika kedalaman yang diinginkan telah tercapai, lubang bor dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor yang masih berisi cairan *bentonite*. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang bor dengan pipa *tremie*. Larutan *bentonite* akan terdesak dan terangkut ke atas oleh adukan beton. Larutan yang ke luar dari lubang bor, ditampung dan dapat digunakan lagi untuk pengeboran di lokasi selanjutnya (**Gambar 3.5**).



Gambar 3.5 Prinsip pelaksanaan tiang bor dalam metode basah (Fleming et al., 2009).

c) Metode *Casing*

Metode ini digunakan bila lubang bor sangat mudah longsor, misalnya tanah di lokasi adalah pasir bersih di bawah muka air tanah. Untuk menahan agar lubang tidak longsor digunakan pipa selubung baja (*casing*). Pemasangan pipa selubung ke dalam lubang bor dilakukan dengan cara memancang, menggetarkan atau menekan pipa baja sampai kedalaman yang ditentukan. Sebelum sampai menembus muka air tanah, pipa selubung dimasukkan. Tanah di dalam pipa selubung dikeluarkan saat penggalian atau setelah pipa selubung sampai kedalaman yang diinginkan. Larutan *bentonite* kadang-kadang digunakan untuk menahan longsornya dinding lubang, bila penggalian sampai di bawah muka air tanah. Setelah pipa selubung sampai pada kedalaman yang diinginkan, lubang bor lalu dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam pipa selubung. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang (bila pembuatan lubang digunakan larutan, maka untuk pengcoran digunakan pipa *tremie*), dan pipa selubung ditarik ke atas, namun kadang-kadang pipa selubung ditinggalkan di tempat (**Gambar 3.3**).



- (a) Pengeboran dan memasukkan casing
- (b) Tekan casing sampai tanah yang mudah longsor
- (c) Pembersihan dasar lubang
- (d) Tulangan dimasukkan
- (e) Cor beton dengan casing ditarik / ditinggal

Gambar 3.3 Langkah-langkah pelaksanaan tiang bor dengan memasang casing (Fleming et al., 2009).

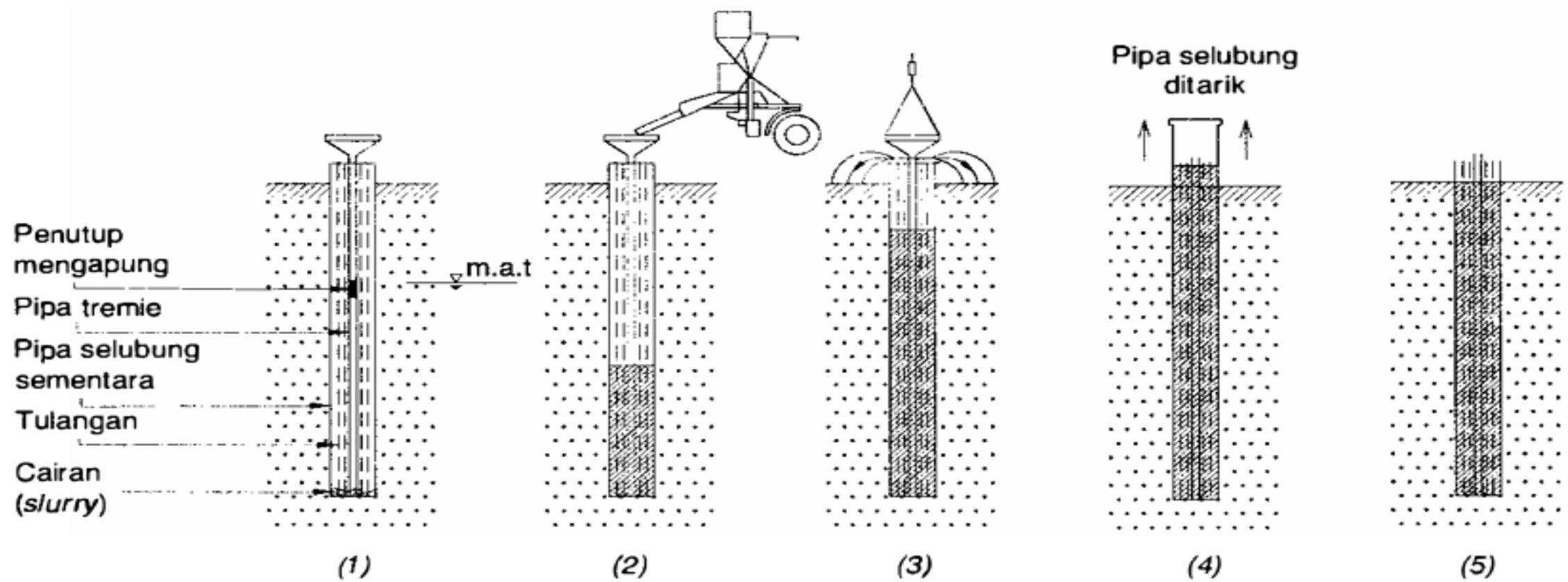
Prosedur pengecoran tiang bor di bawah muka air tanah dengan menggunakan pipa *tremie* adalah sebagai berikut:

Bila lubang bor menembus lapisan kerikil terendam air tanah yang di dasari oleh lempung kaku, maka digunakan pipa selubung (*casing*) untuk menahan agar lubang bor pada lapisan kerikil tidak longsor. Pipa selubung dipasang sedikit saja menancap di lapisan lempung, sedemikian hingga air tanah tidak masuk ke dalam pipa selubung. Dengan cara ini, maka pengeboran beton dapat dilakukan dalam kondisi kering. Namun, bila di lapangan lapisan terdiri tanah granuler yang terendam air tanah, maka pipa selubung harus dipasang hingga mencapai dasar lubang bor. Untuk kondisi yang terakhir ini, saat pengecoran digunakan pipa *tremie*. Pipa *tremie* (diameter minimum 150 mm untuk diameter agregat maksimum 20 mm) dan corong penampung adukan harus tahan terhadap bocoran air dan bersih agar adukan beton tidak terhambat mengalir ke bawah. Langkah-langkah pengecoran tiang bor dengan menggunakan pipa *tremie* ditunjukkan dalam **Gambar 3.4**. Sesuai nomer pada gambar tersebut, tahap-tahap pelaksanaan sebagai berikut (Fleming et al., 2009):

Tahap-tahap pelaksanaan sebagai berikut (Fleming et al., 2009):

- 1) Tulangan dan pipa *tremie* dimasukkan dalam lubang bor saat akan dimulai pengecoran.
- 2) Pengecoran dimulai dengan menuangkan air hingga kotoran kental tipis di bawah diangkat. Jika kontribusi kapasitas dukung oleh tahanan ujung signifikan, kotoran kental harus dibersihkan dengan pompa sebelum pengecoran.
- 3) Air keluar saat pengecoran.
- 4) Pipa selubung (*casing*) ditarik keluar (bila digunakan *casing* sementara).
- 5) Pekerjaan tiang bor sudah selesai.

Panjang pengecoran tiang harus dilebihkan ke atas sedikit, karena bagian atas tiang terbentuk oleh beton dengan kualitas buruk (lunak). Bagian ini nanti, betonnya dipecah dan tulangannya di cor dengan pelat penutup tiang (*pile cap*). Kualitas dari tiang bor sangat bergantung pada kualitas dari proses pelaksanaan, yaitu tahanan gesek dan tahanan ujung tiang sangat bergantung pada proses pelaksanaannya. Hal yang paling penting adalah agar selalu menjaga kebersihan dari lubang bor.



Gambar 3.4 Pengcoran dengan menggunakan pipa *tremie* (Fleming et al., 2009).

3.3.2 Pengaruh Pemasangan Tiang Bor

3.3.2.1 Tiang Bor dalam Tanah Granuler

Pada waktu pengeboran, biasanya dibutuhkan tabung luar (*casing*) sebagai pelindung terhadap longsoran dinding galian dan larutan tertentu kadang-kadang juga digunakan dengan maksud yang sama untuk melindungi dinding lubang tersebut. Gangguan kepadatan tanah, terjadi saat tabung pelindung di tarik ke atas saat pengecoran. Karena itu, dalam hitungan *kapasitas dukung tiang* bor di dalam tanah pasir, Tomlinson (1977) menyarankan untuk menggunakan *sudut gesek dalam* ultimit dari contoh terganggu, kecuali jika tiang diletakkan pada kerikil padat di mana dinding lubang yang bergelombang tidak terjadi. Jika pemadatan yang baik dapat dilakukan pada saat pengecoran beton yang berada di dasar tiang, maka gangguan kepadatan tanah dapat dieliminasi sehingga *sudut gesek dalam* (ϕ) pada kondisi padat dapat digunakan. Akan tetapi, pemadatan tersebut mungkin sulit dikerjakan karena terhalang oleh tulangan beton.

3.3.2.2 Tiang Bor dalam Tanah Kohesif

Penelitian pada pengaruh pekerjaan pemasangan tiang bor pada adhesi antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya, menunjukkan bahwa nilai adhesi lebih kecil dari pada nilai kohesi tak terdrainase (*undrained cohesion*) tanah sebelum pemasangan tiang. Hal ini, adalah akibat dari pelunakan lempung di sekitar dinding lubang bor. Pelunakan tersebut adalah pengaruh dari bertambahnya kadar air lempung oleh pengaruh-pengaruh: air pada pengecoran beton, pengaliran air tanah ke zona yang bertekanan lebih rendah di sekitar lubang bor, dan air yang dipakai untuk pelaksanaan pembuatan lubang bor. Pelunakan pada lempung dapat dikurangi, jika pengeboran dan pengecoran dilaksanakan dalam waktu 1 atau 2 jam.

Pelaksanaan pengeboran juga mempengaruhi kondisi dasar lubang yang dibuat. Pengeboran mengakibatkan pelunakan dan gangguan tanah lempung di dasar lubang, yang berakibat menambah besarnya penurunan. Pengaruh gangguan ini sangat besar, terutama bila diameter ujung tiang diperbesar. Pada ujung tiang yang diperbesar ini kapasitas dukungnya sebagian besar bergantung pada tahanan ujung tiang. Karena itu, penting untuk membersihkan dasar lubang. Gangguan yang lain dapat pula terjadi akibat pemasangan tiang yang tidak baik, seperti: pengeboran yang melengkung, pemisahan campuran beton saat pengecoran dan pelengkungan tulangan beton saat pemasangan.

3.3.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor

3.3.3.1 Tiang Bor pada Tanah Granuler

Pada pemasangan tiang dengan cara dipancang, getaran dan beban kejut yang terjadi saat pemancangan menyebabkan tanah granuler memadat, sehingga menambah tahanan ujungnya. Namun, kejadian ini tidak terjadi bila tiang dipasang dengan mengebor tanah lebih dulu. Akibat pengeboran, tanah granuler di sekitar lubang bor dapat terganggu kepadatannya.

a) Metode O'Neil dan Reese (1989)

- **Tahanan ujung ultimit**

O'Neill dan Reese (1989) dari merekomendasikan tahanan ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada **pasir**, sebagai berikut:

$$f_b = 0,60\sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad (3.1)$$

dengan,

f_b' = tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

N_{60} = nilai N -SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ di bawahnya. Tidak perlu dikoreksi terhadap *overburden*.

d_b = diameter ujung bawah tiang bor (m)

σ_r = tegangan referensi = 100 kPa

N_{60} adalah N -SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian (lihat di **Bab 2**, buku **Analisis dan Perancangan Fondasi-I, Hary Christady Hardiyatmo**).

Tahanan ujung ultimit:

$$Q_b = A_b f_b \quad (3.2)$$

dengan A_b = luas dasar tiang bor.

Jika tiang bor dasarnya berdiameter lebih dari 120 cm, maka besarnya f_b dapat mengakibatkan penurunan lebih besar dari 25 mm (1 in.). Untuk memenuhi syarat penurunan ijin, O'Neill dan Reese (1989) menyarankan f_b direduksi menjadi f_{br} , dengan:

$$f_{br} = 4,17 \frac{d_r}{d_b} f_b \quad ; \text{ bila } d_b \geq 1200 \text{ mm} \quad (3.3)$$

dengan,

d_r = lebar referensi = 300 mm

d_b = lebar ujung bawah tiang bor

Nilai tahanan ujung satuan yang dipakai dalam perancangan adalah f_{br} . Sebagai alternatif, O'Neill dan Reese (1989) menyarankan untuk melakukan analisis penurunan, kemudian merubah perancangan tiang sedemikian hingga penurunannya masih dalam batas-batas toleransi. Jika penurunan toleransi dibolehkan lebih besar atau lebih kecil dari 25 mm, dan diameter tiang di mana penurunan berlebihan menjadi masalah, maka cara-cara penyesuaian dalam analisis hitungan f_b perlu dilakukan.

- **Tahanan gesek ultimit**

Pengeboran tanah saat pembuatan tiang bor pada pasir berakibat:

- 1) Dinding lubang tanah yang di bor lebih kasar, sehingga menaikkan rasio δ/ϕ' (sudut gesek antara tanah dan tiang bor terhadap *sudut gesek dalam tanah*).
- 2) Proses pelaksanaan mengurangi tegangan lateral dalam tanah, sehingga memperkecil rasio K/K_o .
- 3) Jika dalam proses pengeboran digunakan larutan lanau/lumpur, maka tahanan gesek atau koefisien gesek akan tereduksi.

Tahanan gesek satuan tiang bor dalam pasir dinyatakan oleh:

$$f_s = \beta p_o' \quad (3.4)$$

$$\beta = K \operatorname{tg} \delta \quad (3.5)$$

dengan,

f_s = tahanan gesek satuan (kN/m^2)

p_o' = tekanan *overburden* di tengah-tengah lapisan tanah (kN/m^2)

δ = sudut gesek antara tanah dan tiang (derajat)

Metode ini disebut dengan metode β . Nilai K/K_o ditunjukkan dalam **Tabel 3.1**, dan rasio δ/ϕ' ditunjukkan dalam **Tabel 3.2**. Koefisien β juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989):

$$\beta = 1,5 - 0,135 \sqrt{\frac{z}{d_r}} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3.6a)$$

dengan,

z = kedalaman di tengah-tengah lapisan tanah (m)

d_r = lebar referensi = 300 mm

Tabel 3.1 Nilai-nilai K/K_o untuk tiang bor (Kulhawy, 1991)

Metode pelaksanaan	K/K_o
Pelaksanaan kering dengan gangguan dinding lubang bor kecil, pengecoran cepat	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja baik	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja buruk	0,67
Dengan pipa selubung di bawah air	0,83

Tabel 3.2 Nilai-nilai δ/ϕ' untuk tiang bor (Kulhawy, 1991)

Metode pelaksanaan	δ/ϕ'
Lubang terbuka atau dengan pipa selubung sementara	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – <i>minimum slurry cake</i>	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – <i>slurry cake</i> banyak	0,8
Pipa selubung permanen	0,7

Bila lebar referensi $d_r = 300$ mm disubstitusikan ke **Persamaan (3.6a)**:

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3.6b)$$

Jika $N_{60} \leq 15$, maka β dalam **Persamaan (3.6b)** dikalikan dengan $N_{60}/15$, atau

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \quad \text{untuk } N_{60} \leq 15 \quad (3.6c)$$

N_{60} adalah N -SPT yang tidak dikoreksi terhadap *overburden* dan hanya dikoreksi oleh pengaruh prosedur (alat) di lapangan.

Beberapa nilai β untuk tanah non kohesif yang disarankan oleh Reese et al. (2006):

- Untuk pasir:

$$\beta = 0,25, \text{ jika } z > 26,14 \text{ m} \quad (3.6d)$$

- Untuk pasir yang banyak mengandung kerikil atau kerikil:

$$\beta = 2 - 0,15 (z)^{0,75}; \quad 0,25 \leq \beta \leq 1,8 \quad (3.6e)$$

- Untuk pasir berkerikil atau kerikil:

$$\beta = 0,25, \text{ jika } z > 26,5 \text{ m} \quad (3.6f)$$

Untuk pasir dan pasir berkerikil, fungsi β mencapai batasnya pada kedalaman $z = 1,5$ m dan 26 m, karena itu pembuatan batas-batas lapisan tanah harus dalam zona-zona di antaranya. Selain itu, batas lapisan juga harus dibuat pada permukaan air tanah. Batas-batas tambahan juga harus dibuat pada setiap interval 6 m, dan di mana batas dari lapisan pasir berakhir. Setelah itu, analisis didasarkan pada macam tanahnya (lempung atau batuan).

b) Metode AASHTO (1998)

Untuk menentukan tahanan gesek satuan (f_s) dan tahanan ujung satuan (f_b) dari tiang bor dalam pasir, AASHTO (1998) merekomendasikan cara-cara yang diusulkan oleh beberapa peneliti, seperti ditunjukkan dalam **Tabel-tabel 3.3** dan **3.4**. Dalam **Tabel 3.3**, terlihat bahwa persamaan yang diusulkan oleh Reese dan Hassan (1994), sama seperti persamaan yang diusulkan oleh Reese dan O'Neill (1989).

Contoh soal 3.1:

Tiang bor berdiameter 0,50 m dipasang dalam tanah pasir homogen, dengan $\varphi'_1 = 38^\circ$ dan $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ (**Gambar C3.1**). Jika permukaan air tanah sangat dalam, berapakah kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk beban tiang 750 kN, dengan menggunakan metode Poulos dan Davis (1980)? Berat volume tiang 24 kN/m^3 dan faktor aman $F = 2,5$.

Penyelesaian :

Untuk menghitung tahanan ujung ultimit Q_b :

Untuk tiang bor: $\varphi' = \varphi'_1 - 3^\circ = 38^\circ - 3^\circ = 35^\circ$. Dari **Gambar 2.22a**, $z_c/d = 7,2$ atau $z_c = 7,2 \times 0,5 = 3,6 \text{ m}$. Jadi, setelah kedalaman 3,6 m, tekanan *overburden* efektif dianggap konstan.

Jika dimisalkan lebih dulu $L/d = 30$, dari **Gambar 2.21**, maka $N_q = 60$.

$$p_o' = 3,6 \times 19 = 68,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_b' = p_o' = 68,4 \text{ kN/m}^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$Q_b = A_b p_b' N_q = 0,2 \times 68,4 \times 60 = 820,8 \text{ kN}$$

Tabel 3.3 Tahanan gesek satuan untuk tiang bor dalam pasir (AASHTO, 1998)

Peneliti	Tahanan gesek satuan (f_s) dalam tsf
Touma dan Reese (1974)	$f_s = K p_o' \operatorname{tg} \varphi < 2,5 \text{ tsf}$ $(1 \text{ tsf} = 1,08 \text{ kg/cm}^2)$ <p>dengan,</p> $K = 0,7 \text{ untuk } L < 25 \text{ ft} \quad (1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm})$ $K = 0,6 \text{ untuk } 25 \text{ ft} < L < 40 \text{ ft}$ $K = 0,5 \text{ untuk } L_b > 40 \text{ ft}$
Meyerhof (1976)	$f_s = N/100 \text{ tsf}$
Quiros dan Reese (1977)	$f_s = 0,026N < 2 \text{ tsf}$
Reese dan Wright (1977)	$f_s = N/34 \text{ (tsf) untuk } N \leq 53$ $f_s = (N - 53)/450 + 1,6 \text{ (tsf) untuk } 53 < N \leq 100$ $f_s \leq 1,7 \text{ tsf}$
Reese dan O'Neil (1988) (metode Beta)	$f_s = \beta p_o' < 2 \text{ tsf untuk } 0,25 \leq \beta \leq 1,2$ <p>dengan</p> $\beta = 1,5 - 0,135 \sqrt{z}, \text{ dengan } z \text{ dalam ft}$
O'Neil dan Hassan (1994) (metode Beta dimodifikasi)	$f_s = \beta p_o' < 2 \text{ tsf untuk } 0,25 \leq \beta \leq 1,2$ <p>dengan</p> $\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}, \text{ untuk } N_{60} > 15$ $\beta = N_{60}/15 (1,5 - 0,254 \sqrt{z}), \text{ untuk } N_{60} \leq 15$ <p>Kedalaman z dalam meter.</p>

- Tahanan gesek ultimit:

Sudut gesek dalam yang digunakan dalam hitungan Q_s adalah $\phi' = 38^\circ$

Dari **Gambar 2.22c** (dipilih untuk tiang bor), $K_d \operatorname{tg} \delta = 0,43$

Keliling tiang = $\pi d = \pi \times 0,50 = 1,57$ m

Tabel 3.4 Tahanan ujung satuan (f_b) untuk tiang bor dalam pasir (AASHTO, 1998)

Peneliti	Tahanan gesek satuan (f_s) dalam satuan tsf (1 tsf = 1,08 kg/cm ² = 105,6 kPa)
Touma dan Reese (1974)	Pasir longgar, $f_b = 0,0$ Pasir kepadatan sedang, $f_b = 16/K$ Pasir sangat padat, $f_b = 40/K$ dengan $K = 1$ untuk $d_b = 1,67$ ft $K = 0,6$ untuk $d_b \leq 1,67$ ft Berlaku untuk kedalaman tiang > 10 x diameter
Meyerhof (1976)	$f_b = (2N_{\text{koreksi}} d_b)/(15 d_b)$ $f_b < 4/(3N_{\text{koreksi}})$ untuk pasir $f_b < N_{\text{koreksi}}$ untuk lanau non plastis
Reese dan Wright (1977)	$f_b = 2/3N$ (tsf) untuk $N \leq 60$ $f_b = 40$ (tsf) untuk $N > 60$
Reese dan O'Neil (1988)	$f_b = 0,6 N$ (tsf) untuk $N \leq 75$ $f_b = 45$ (tsf) untuk $N > 75$

Catatan: d_b = diameter dasar tiang. Untuk diameter tiang $d > 4,17$ ft, tahanan ujung satuan harus direduksi menjadi $f_{br} = 4,17f_b/d$.

Tahanan gesek ultimit:

$$\begin{aligned}Q_s &= \Sigma A_s \bar{p}'_o K_d \operatorname{tg} \\&= 1,57 \times 3,6 \times \frac{1}{2}(0 + 68,4) \times 0,43 + 1,57 \times L_1 \times 68,4 \times 0,43 \\Q_s &= 83,1 + 46,17 L_1\end{aligned}$$

Berat tiang: $W_p = 0,20 \times L \times 24 = 4,8L$

$$= 4,8 (3,6 + L_1) \text{ (dengan, } L = z_c + L_1\text{)}$$

Kapasitas dukung ultimit neto:

$$\begin{aligned}Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\&= 820,8 + 83,1 + 46,17 L_1 - 4,8 (3,6 + L_1) \\&= 886,62 + 41,37 L_1\end{aligned}$$

Kapasitas dukung ijin (untuk faktor aman, $F = 2,5$):

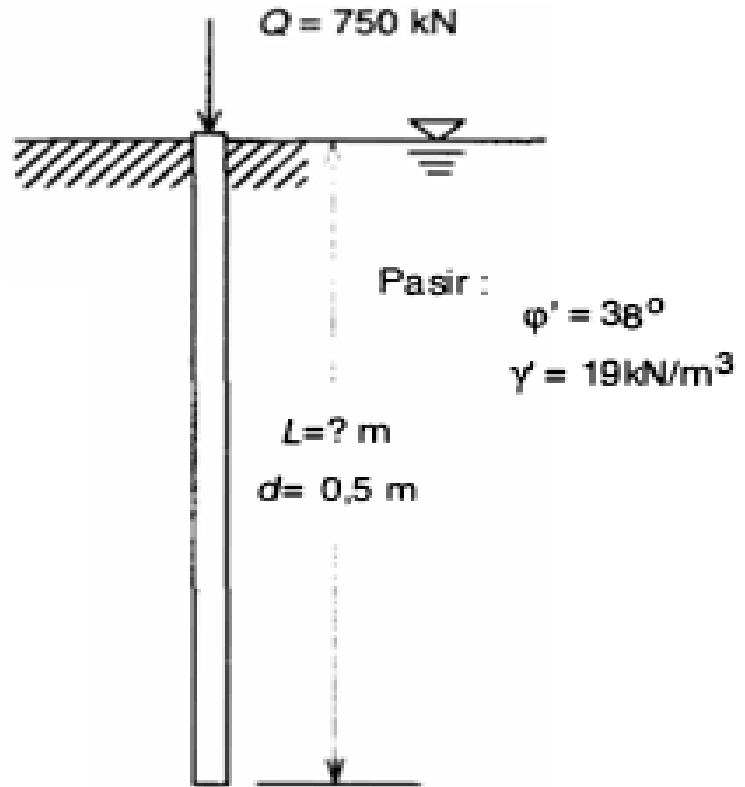
$$Q_u/F = Q$$

$$886,62 + 41,37 L_1 = 750 \times 2,5$$

$$L_1 = 23,9 \text{ m}$$

Panjang tiang yang dibutuhkan $L = 3,6 + 23,9 = 27,5 \text{ m.}$

Cek : $L/d = 27,5/0,5 = 55$. Dengan melihat **Gambar 2.21**, selisih nilai N_q yang diperoleh tidak begitu banyak. Jadi hasil hitungan dapat dianggap telah sesuai.



Gambar C3.1.

3.3.3.2 Tiang Bor pada Tanah Lempung

Pekerjaan pengeboran tanah pada pemasangan tiang menyebabkan perubahan kuat geser tanah lempung. Hal ini, karena proses pembuatan lubang saat pengeboran melonggarkan tanah, sehingga tahanan ujung tiang menjadi berkurang. Selain itu, karena tekanan tanah lateral menjadi berkurang di dekat dinding lubang bor, pada lempung terjadi pengembangan dan aliran air menuju ke permukaan dinding lubang bor. Proses pengecoran beton ke dalam lubang bor, juga menyebabkan pelunakan tanah lempung, sehingga mengurangi kuat geser lempung..

• Tahanan ujung ultimit

Tahanan ujung satuan tiang bor (f_b) menurut Skempton (1966) dinyatakan oleh persamaan :

$$f_b = \mu c_b N_c \quad (3.7a)$$

Tahanan ujung ultimit:

$$Q_b = A_b f_b \quad (3.7b)$$

atau

$$Q_b = \mu A_b c_b N_c \quad (3.7c)$$

dengan,

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

μ = faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$ untuk $d < 1$ m, dan $\mu = 0,75$ untuk $d > 1$ m

A_b = luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

c_b = kohesi tanah di bawah ujung tiang pada kondisi *tan terdrainase (undrained)* (kN/m^2)

N_c = faktor kapasitas dukung ($N_c = 9$)

Untuk menghitung tahanan ujung, Skempton (1966) menyarankan faktor kapasitas dukung $N_c = 9$. Kedalaman penembusan tiang pada lapisan pendukung disarankan paling sedikit 5 kali diameter tiang. Jika tanah termasuk jenis tanah lempung retak-retak, maka c_b diambil nilai minimumnya.

- **Tahanan gesek ultimit**

Tahanan gesek tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_s = A_s f_s$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \quad (3.8)$$

dengan,

f_s = tahanan gesek per satuan luas (kN/m^2)

c_d = adhesi (kN/m^2)

α = faktor adhesi

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*) (kN/m^2)

Untuk menghitung tahanan gesek sisi tiang bor, Skempton (1966) menyarankan faktor adhesi $\alpha = 0,45$. Dengan demikian, persamaan tahanan gesek sisi tiang bor, menjadi:

$$Q_s = 0,45 c_u A_s \quad (3.9)$$

dengan,

c_u = kohesi *tan terdrainase* di sepanjang tiang (kN/m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

Faktor adhesi pada tiang bor yang ujung bawahnya dibesarkan dapat diambil lebih kecil. Hal ini karena waktu pelaksanaan pekerjaannya yang lebih lama. Umumnya, tiang harus segera dicor sesudah pengeboran. Air yang dipakai untuk membantu proses pengeboran mengakibatkan penurunan faktor adhesi. Untuk tiang bor yang bentuknya membesar pada bagian bawah, disarankan agar tahanan geseknya (Q_s) diabaikan pada lokasi bagian atas pembesaran ujung sampai berjarak 1 kali diameter tiang, dihitung dari batas atas bagian yang dibesarkan (**Gambar 3.5**).

- **Kapasitas dukung ultimit**

Kapasitas dukung ultimit tiang bor dinyatakan oleh persamaan :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (3.10)$$

Dengan substitusi Q_b dan Q_s , akan diperoleh :

$$Q_u = \mu A_b N_c c_b + 0,45 c_u A_s \quad (3.11)$$

Persamaan (3.11) merupakan persamaan kapasitas ultimit untuk tiang bor cor di tempat.

Contoh soal 3.3:

Tiang bor dengan diameter $d = 0,50$ m dan panjang $L = 20$ m akan dipasang pada tanah lempung jenuh dengan kondisi lapisan tanah seperti dalam **Tabel C3.3**. Berat volume beton $\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Tabel C3.3.

Kedalaman (m)	c_u (kPa)
0 – 1,5	30
1,5 – 8	50
8 – 25	75

Hitung kapasitas dukung ijin tiang dengan metode Skempton (1966), bila faktor aman $F = 2,5$.

Penyelesaian :

Hitungan dilakukan menurut metode Skempton (1966)

$$\text{Luas dasar tiang} : A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling tiang} = \pi d = \pi \times 0,5 = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Berat tiang} W_p = \text{volume tiang} \times \gamma_{\text{beton}} = 0,2 \times 20 \times 25 = 100 \text{ kN}$$

- **Tahanan ujung ultimit**

Persamaan (3.7c):

$$Q_b = \mu c_b A_b N_c$$

Karena diameter tiang bor $d = 0,50 \text{ m} < 1 \text{ m}$, maka $\mu = 0,8$

Nilai c_b diambil kohesi rata-rata pada kedalaman $5d = 5 \times 0,5 = 2,5 \text{ m}$ di bawah dasar tiang, yaitu $c_b = 75 \text{ kPa}$.

$$f_b = \mu c_b N_c = 0,8 \times 75 \times 9 = 540 \text{ kN/m}^2 < 15000 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

$$Q_b = A_b f_b = 0,2 \times 540 = 108 \text{ kN}$$

- **Tahanan gesek ultimit**

Persamaan (3.9):

$$Q_s = \Sigma 0,45 c_u A_s$$

$$0,45 \times 30 \times 1,67 \times 1,5 = 33,81 \text{ kN}$$

$$0,45 \times 50 \times 1,67 \times 6,5 = 244,24 \text{ kN}$$

$$0,45 \times 75 \times 1,67 \times 12 = 676,35 \text{ kN}$$

$$Q_s = 33,81 + 244,24 + 676,35 = 954,4 \text{ kN}$$

Cek terhadap tahanan gesek satuan maksimum :

Diambil yang terbesar $f_s = 0,45 \times 75 = 33,75 \text{ kN/m}^2 < 107 \text{ kN/m}^2$
(OK!)

- **Kapasitas dukung ultimit neto**

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p = 108 + 954,4 - 100 = 962,4 \text{ kN}$$

- **Kapasitas dukung ijin**

$$Q_a = Q_u/2,5 = 962,4/2,5 = 385 \text{ kN}$$

b) Metode α

- **Tahanan ujung ultimit**

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan tahanan ujung tiang bor di dalam lempung:

$$f_b = c_u N_c' \leq 4000 \text{ kPa} \quad (3.12a)$$

$$N_c' = 6\left(1 + 0,2 \frac{L}{d}\right) \leq 9 \quad (3.12b)$$

dengan,

N_c' = faktor kapasitas dukung

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*) (kPa)

L = kedalaman ujung bawah tiang bor (m)

d_b = diameter ujung bawah tiang bor (m)

Kohesi tak terdrainase (c_u) diperoleh dari uji triaksial-UU. Dalam hitungan tahanan ujung tiang bor, kohesi diukur dari dasar tiang bor sampai sedalam $2d_b$ di bawahnya. Tapi, pertimbangan lain juga perlu dilakukan bila kuat geser sangat bervariasi dengan kedalaman. Jika diameter dasar tiang bor lebih besar dari 190 cm, maka nilai f_b dalam **Persamaan (3.12a)** akan menghasilkan penurunan lebih besar dari 25 mm, sehingga untuk kebanyakan bangunan, penurunan ini tidak diperkenankan. Untuk ini, bila diameter dasar tiang bor lebih besar 190 cm, maka f_b harus diubah menjadi (Reese dan O'Neill, 1989):

$$f_{br} = F_r f_b \quad (3.13)$$

dengan,

$$F_r = \frac{2,5}{120F_1(d_b / d_r) + F_2} \leq 1,0 \quad (3.14)$$

$$F_1 = 0,0071 + 0,0021(L/d_b) \leq 0,015 \quad (3.15)$$

$$F_2 = 1,59 \sqrt{\frac{c_u}{\sigma_r}} \quad \text{dengan } 0,5 \leq F_2 \leq 1,5 \quad (3.16)$$

dengan f_{br} adalah tahanan ujung satuan yang telah disesuaikan agar penurunan yang terjadi masih dalam batas toleransi.

O'Neill dan Reese (1999) menyarankan persamaan tahanan ujung maksimum dengan memperhatikan indeks kekakuan tanah:

$$f_b = c_u N_c' \quad (3.17)$$

$$N_c' = 1,33(\ln |I_r| + 1) \quad (3.18)$$

dengan I_r = indeks kekakuan tanah, di mana untuk material tak terdrainase seperti lempung jenuh:

$$I_r = \frac{E_s}{3c_u} \quad (3.19)$$

dengan E_s = modulus elastis tanah pada kondisi pembebangan tanpa terdrainase (*undrained*), yang diperoleh dari uji triaksial UU di laboratorium atau uji pressuremeter di lapangan. Hubungan nilai-nilai c_u , I_r dan N_c' yang disarankan oleh O'Neill dan Reese (1999) ditunjukkan dalam **Tabel 3.5**.

Jika $L/d < 3$, maka f_b harus direduksi menjadi:

$$f_b = 0,667 \left(1 + 0,1667 \frac{L}{d} \right) N_c' c_u \quad (3.20)$$

dengan,

L = panjang atau kedalaman tiang bor

d = diameter dasar tiang bor

Tabel 3.5 Hubungan nilai-nilai c_u , I_r dan N_c' (O'Neill dan Reese, 1999)

Kohesi tak terdrainase (c_u), kPa	Indeks kekakuan tanah (I_r)	Faktor kapasitas dukung (N_c')
24	50	6,55
48	150	8,01
96	250	8,69
192	300	8,94

- **Tahanan gesek**

Tahanan gesek dihitung dengan persamaan:

$$f_s = \alpha c_u \quad (3.21)$$

dengan,

α = faktor adhesi

c_u = kohesi tak terdrainase (kN/m²)

Dari hasil uji beban pada tiang bor, O'Neill dan Reese (1999) menyarankan

$$\alpha = 0,55 \quad \text{untuk} \quad c_u/p_r < 1,50 \quad (3.22)$$

dan

$$\alpha = 0,55 - 0,1(c_u/p_r - 1,5) \quad \text{untuk } 1,5 \leq c_u/p_r \leq 2,5 \quad (3.23)$$

dengan c_u = kohesi tak terdrainase dan p_r = tekanan atmosfer atau tekanan referensi = 100 kPa.

Dalam menghitung f_s , bagian sedalam 1,5 m dari puncak tiang bor dan $1d$ dari bagian atas pembesaran ujung tidak diperhitungkan (**Gambar 3.5**). Bila tiang bor ujungnya tidak diperbesar, maka tahanan gesek setinggi $1d$ dari dasar tiang tidak diperhitungkan. Reese dan O'Neill membatasi tahanan gesek tiang per satuan luas (f_s) maksimum 260 kPa. Nilai-nilai yang disarankan tersebut hanya berlaku untuk lempung tidak sensitif dengan nilai sensitivitas maksimum kurang dari 4.

Metode lain untuk menentukan faktor adhesi untuk tiang bor pada tanah lempung diberikan oleh Kulhawy dan Jackson (1989). Nilai-nilai faktor adhesi (α) ditunjukkan dalam **Gambar 3.6**. Nilai-nilai adhesi dalam gambar ini didasarkan pada hasil uji dari 65 tiang bor yang tertarik dan 41 tiang bor yang tertekan. Faktor adhesi untuk tiang bor umumnya menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan tiang pancang akibat pengaruh pelunakan tanah di sekitar sisi tiang.

Tahanan gesek tiang dihitung dengan **Persamaan (3.8):**

$$f_s = \alpha \ c_u$$

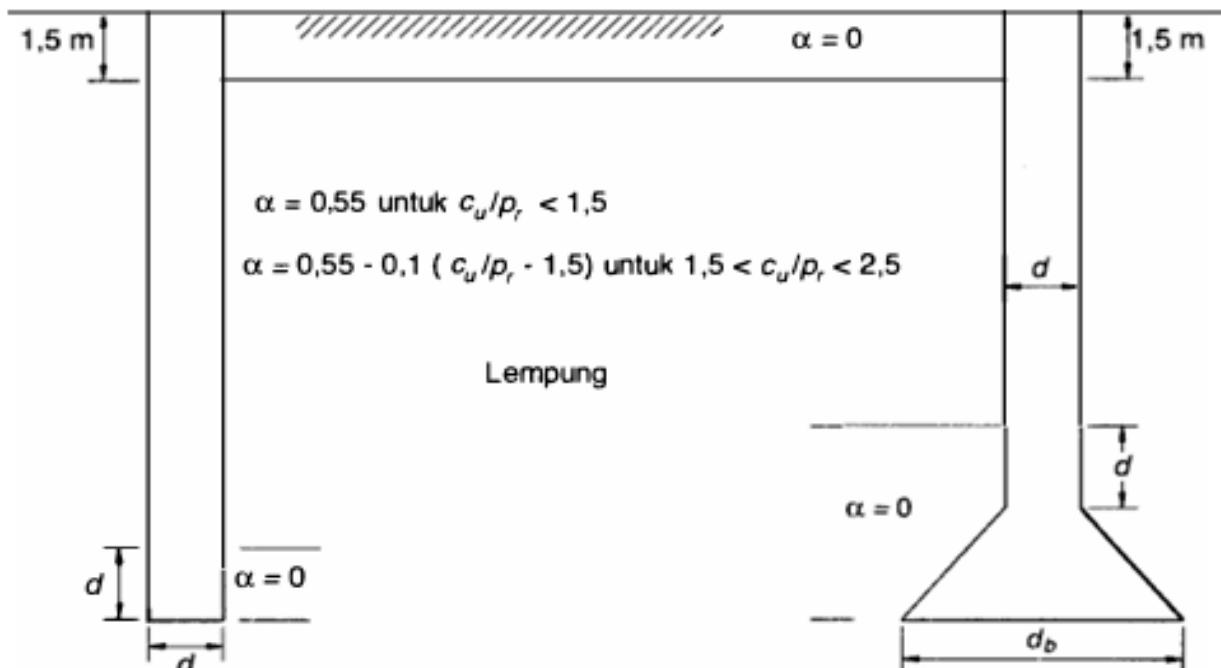
dengan,

$$c_u = \text{kohesi tak terdrainase (kN/m}^2\text{)}$$

α = faktor adhesi yang diambil dari **Gambar 3.6.**

Nilai c_u diperoleh dari uji triaksial-UU.

α = faktor adhesi



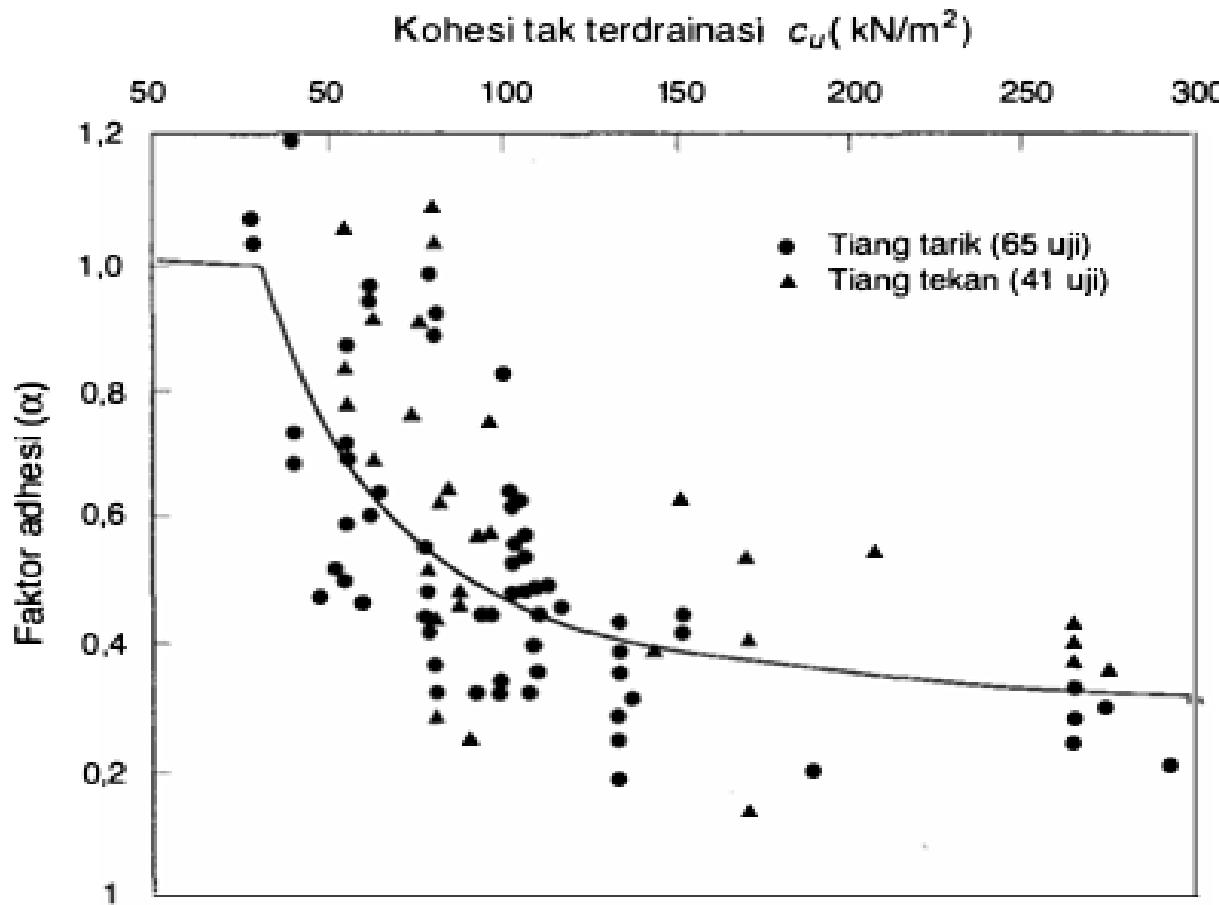
(a) Tiang bor tanpa pembesaran ujung

(b) Tiang bor dengan pembesaran ujung

Gambar 3.5 Faktor adhesi (α) untuk tiang bor (Reese dan O'Neill, 1989).

Jika di dalam tanah ditemui lapisan lempung retak-retak yang kaku dengan kandungan lanau tinggi, pengambilan contoh tanah menjadi sulit. Untuk ini uji penetrasi statis, seperti SPT dan sondir dapat dilakukan. Hitungan kapasitas dukung tiang dengan menggunakan data SPT atau sondir merupakan pendekatan empirik yang umumnya cukup baik digunakan sebagai pendekatan awal. Beberapa hubungan N -SPT dengan kohesi tak terdrainase (c_u) ditunjukkan dalam **Tabel 3.6**.

Faktor adhesi untuk tiang bor pada tanah lempung yang disarankan oleh AASHTO (1998), ditunjukkan dalam **Tabel 3.7**.



Gambar 3.6 Hubungan kohesi tak terdrainase (c_u) dan faktor adhesi (α) untuk tiang bor (Kulhawy dan Jackson, 1989).

Tabel 3.6 Hubungan secara pendekatan c_u dengan N -SPT untuk lempung (AASHTO, 1998)

Nilai pendekatan c_u (kPa)	Peneliti
$c_u = 12,5 N$	Sanglerat, 1972
$c_u = 7 N$	Reese et al. (1976)
$c_u = 4 - 6 N$	Stroud dan Butler (1975)
$c_u = 6 N$	Kulhawy dan Mayne (1990)

3.3.4 Tahanan Tarik Tiang Bor

Tiang yang menahan gaya tarik ke atas batangnya akan mengalami tarikan yang mengakibatkan diameternya mengecil, walaupun hanya sedikit. Sebagai akibatnya, tahanan geseknya menjadi

tidak sebesar tiang tekan, sehingga bila di lapangan tidak dilakukan uji beban tarik, O'Neill dan Reese (1989) menyarankan untuk tiang tanpa pembesaran ujung, tahanan gesek tiang tarik di ambil 0,75 dari tiang tekan, atau

$$f_{s(\text{tarik})} = 0,75 f_{s(\text{tekan})} \quad (3.24)$$

Tabel 3.7 Faktor adhesi untuk tiang bor pada tanah lempung (AASHTO, 1998)

Kuat geser tak terdrainase, c_u (kPa)	Faktor adhesi (α)
< 200	0,55
200 – 300	0,49
300 – 400	0,42
400 – 500	0,38
500 – 600	0,35
600 – 700	0,33
700 – 800	0,32
800 – 900	0,31
> 900	Dihitung sebagai batu

Untuk tiang bor dengan pembesaran ujung pada tanah lempung O'Neill dan Reese (1989) menyarankan (**Gambar 3.7**):

$$Q_{u(\text{tarik})} = (\pi/4)(d_b^2 - d_r^2)(c_u N_u + p_o) \quad (3.25)$$

Untuk lempung tidak retak-retak:

$$N_u = 3,5 L_b/d_b \leq 9 \quad (3.26)$$

Untuk lempung retak-retak:

$$N_u = 0,7 L_b/d_b \leq 9 \quad (3.27)$$

dengan,

$Q_{u(\text{tarik})}$ = kapasitas tarik tiang dengan pembesaran ujung

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*)

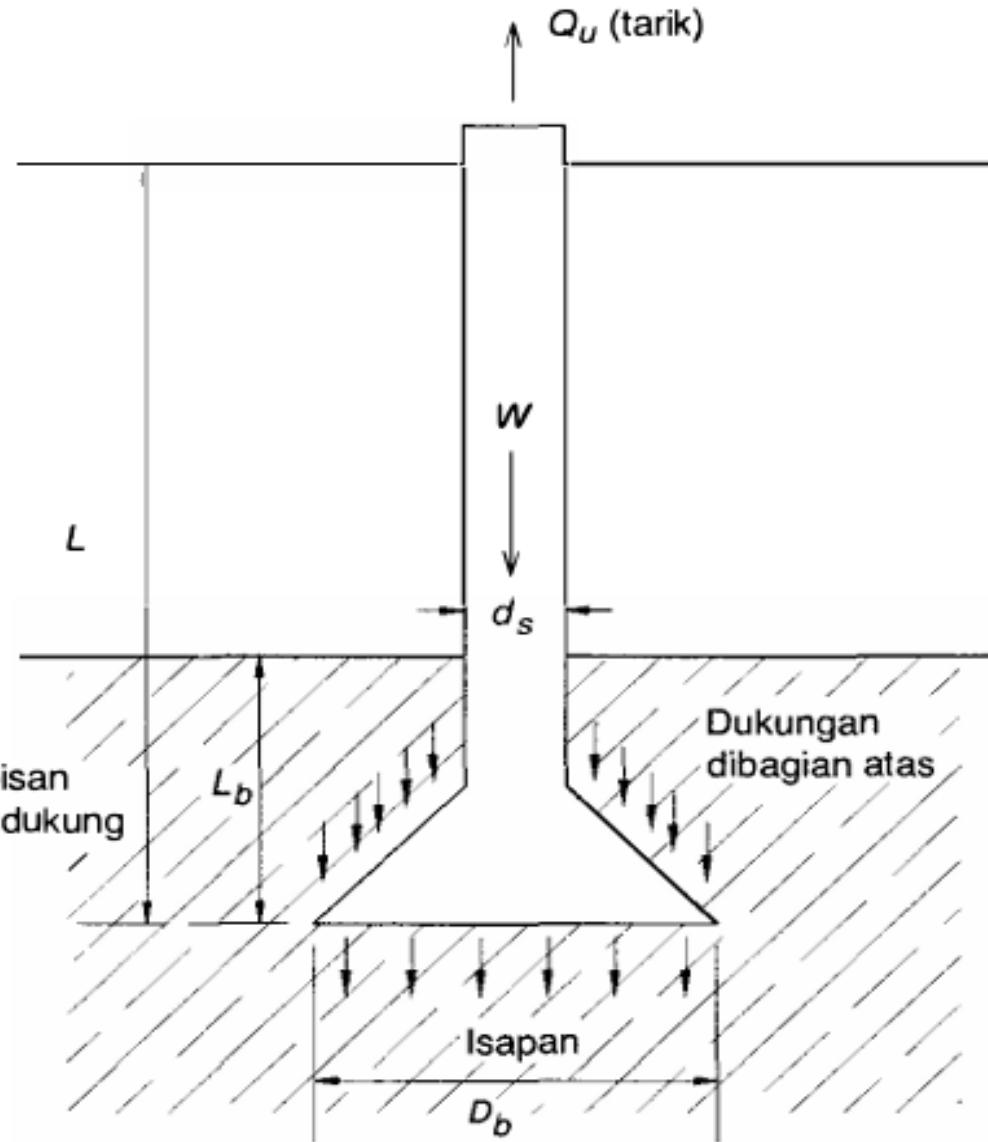
N_u = faktor kapasitas dukung beban tarik

L_b = kedalaman dasar pembesaran ujung terhadap permukaan lapisan pendukung

d_b = diameter dasar pada pembesaran ujung

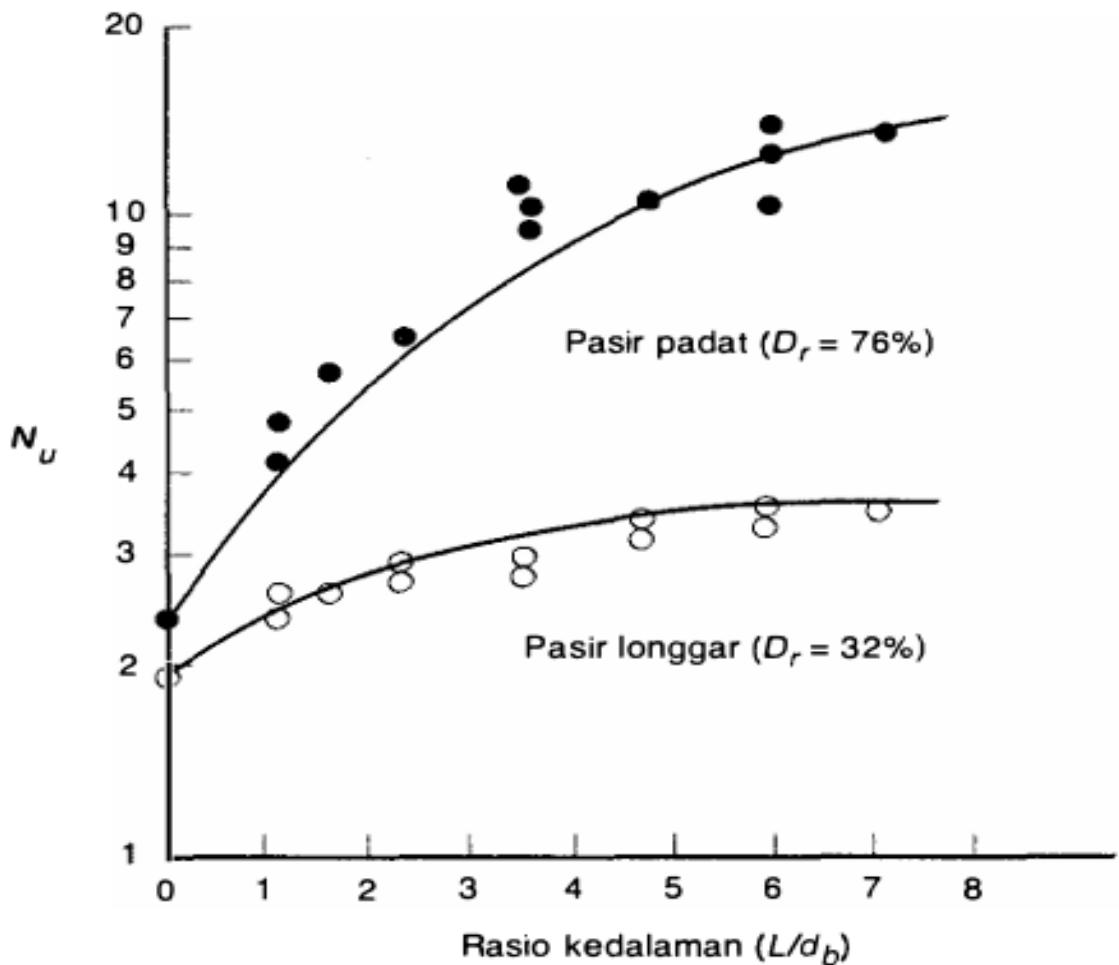
d_s = diameter pada bagian yang tidak dibesarkan

p_o = tegangan total di dalam tanah di atas dasar tiang



Gambar 3.7 Tahanan tarik tiang bor dengan pembesaran ujung (O'Neill dan Reese, 1989).

Untuk menghitung kapasitas tarik ultimit total, hasil hitungan dalam **Persamaan (3.25)** dapat ditambahkan ke persamaan: $Q_{u(\text{tarik})} = f_s A_s + W_p$. O'Neill merekomendasikan untuk mengabaikan tahanan sisi tiang antara dasar fondasi sampai $2d_b$ di atas dasar.



Gambar 3.8 Faktor kapasitas dukung N_u untuk fondasi dengan pembesaran ujung dalam tanah pasir (Dickin dan Leung, 1990).

Bila dasar tiang berada di bawah muka air tanah, maka ketika tiang ditarik, bagian bawahnya mengalami isapan yang menambah tahanan tariknya. Namun nilai isapan ini sulit ditentukan, sehingga dalam hitungan lebih baik pengaruh isapan diabaikan.

Untuk fondasi tiang beton ditumbuk dengan pembesaran ujung (seperti tiang Franki) pada pasir, maka dapat digunakan persamaan:

$$Q_{u(\text{tarik})} = A_b N_u p_o' \quad (3.28)$$

dengan,

$$A_b = \text{luas dasar tiang (m}^2\text{)}$$

N_u = faktor kapasitas dukung tarik (**Gambar 3.8**)

p_o' = tekanan *overburden* efektif pada dasar tiang (kN/m²)

Persamaan (3.28) dapat ditambahkan dengan $Q_{u(\text{tarik})} = f_s A_s + W_p$. Tiang bor dengan pembesaran ujung umumnya tidak bisa digunakan dalam pasir, sehingga **Persamaan (3.28)** tidak digunakan untuk tiang bor.

3.3.5 Faktor Aman Tiang bor

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu.

Tomlinson (1977) menyarankan faktor aman untuk tiang bor:

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2$ m :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (3.29)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawahnya :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \quad (3.30)$$

Bila diameter tiang (d) lebih dari 2 m, kapasitas tiang ijin perlu dievaluasi dari pertimbangan penurunan tiang. Selanjutnya, penurunan struktur harus pula dicek terhadap persyaratan besar penurunan toleransi yang masih diijinkan.

Faktor aman (F) untuk tiang bor juga bergantung terutama pada informasi dari hasil uji beban statis, keseragaman kondisi tanah, dan ketelitian program penyelidikan tanah. Nilai-nilai tipikal faktor aman untuk tiang bor yang disarankan oleh Coduto (2001) dan Hannigan et al. (1997) ditunjukkan dalam **Tabel 3.8**. Nilai-nilai dalam tabel tersebut berlaku untuk bangunan-bangunan pada umumnya. Untuk bangunan-bangunan yang khusus, maka nilai-nilai faktor amannya dapat ditambah atau dikurangi.

Tabel 3.8 Faktor aman untuk **tiang bor** (Coduto, 2001; Hannigan et al., 1997)

Informasi dalam perancangan			Faktor aman (<i>F</i>)	
Uji beban statis	Kondisi tanah	Program penyelidikan lokasi	Beban ke bawah (tiang tekan)	Beban ke atas (tiang tarik)
Ya	Seragam	Teliti	2,0*	3,0*
Ya	Tak teratur	Rata-rata	2,5	4,0
Tidak	Seragam	Teliti	2,5	5,0
Tidak	Seragam	Rata-rata	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Teliti	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Rata-rata	3,5	6,0

* Jika uji beban statis sangat teliti dan kondisi sifat-sifat tanah dapat didefinisikan dengan baik, faktor aman beban ke bawah dapat direduksi 1,7 kalinya dan beban ke atas 2,5 kalinya.

Seperti halnya pada tiang pancang, dalam **Tabel 3.8** terlihat bahwa untuk memilih faktor aman, maka harus mempertimbangkan banyak faktor. Umumnya, faktor aman untuk beban tarik lebih besar dari beban tekan. Hal ini, karena keruntuhan akibat beban tarik lebih bersifat segera dan merusakkan (terutama saat gempa). Karena itu, banyak ahli fondasi menyarankan faktor aman 1,5 sampai 2 kali faktor aman untuk beban tekan.

Contoh soal 3.4:

Tiang bor dengan pembesaran ujung dipasang dalam lapisan lempung seperti dalam **Gambar C3.3**. Panjang total tiang bor 18 m, dengan diameter di bagian atas 60 cm dan dasarnya 150 cm. Muka air tanah sangat dalam. Hitung kapasitas dukung ultimit tiang bor:

- a) untuk gaya tekan ke bawah
- b) untuk gaya tarik ke atas

Penyelesaian:

- a) Tahanan tiang terhadap gaya tekan
• Tahanan ujung ultimit

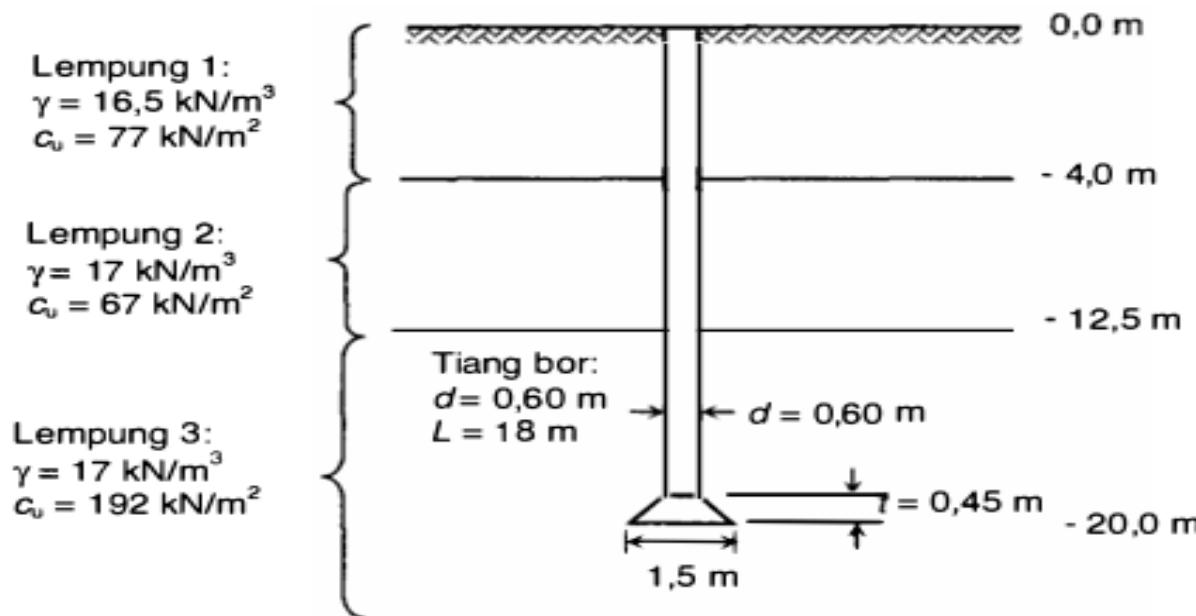
Persamaan (3.12b):

$$N_c' = 6(1 + 0,2 \frac{L}{d_b}) = 6(1 + 0,2 \frac{18}{1,5}) = 17 > 9, \text{ dipakai } N_c' = 9$$

$$f_b = c_u N_c' = 192 \times 9 = 1728 \text{ kPa} < 4000 \text{ kPa (OK!)}$$

Tahanan ujung ultimit:

$$Q_b = A_b f_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,5^2 \times 1728 = 3054 \text{ kN}$$



- Tahanan gesek ultimit:

$$\text{Keliling tiang} = \pi d = \pi \times 0,60 = 1,88 \text{ m}^2$$

Persamaan (3.21) dan (3.22):

$$f_s = \alpha c_u \quad (\text{syarat, } f_s \text{ maksimum } 260 \text{ kPa})$$

Tahanan gesek pada 1,5 m di bagian atas dan $\{t + 1d = 0,45 + (1 \times 0,6) = 1,05 \text{ m}\}$ dari bagian bawah diabaikan. Hitungan tahanan gesek ultimit ditunjukkan dalam **Tabel C3.4**.

Tabel C3.4.

Interval kedalaman (m)	c_u (kPa)	α	f_s (kPa)	A_s	ΔQ_s (kN)
0 – 1,5	-	-	-	-	0
1,5 – 4,0	77	0,55*	42,35	$2,5 \times 1,88 = 4,7$	$4,7 \times 42,35 = 199$
4 – 12,5	67	0,55*	36,85	$8,5 \times 1,88 = 16$	$16 \times 36,85 = 589,6$
12,5 – 18,95	192	0,51**	97,92	$6,45 \times 1,88 = 12$	$12 \times 97,92 = 1175$
18,95 – 20	-	-	-	-	0
				Jumlah	$Q_s = 1963,6$ kN

*Persamaan (3.22)

** Persamaan (3.23)

- **Kapasitas dukung ultimit**

Berat tiang bor:

$$\begin{aligned}
 W_p &= \{ \frac{1}{4} \pi d^2 (18,95 - 0,45) \gamma_{\text{beton}} \} \\
 &\quad + \frac{1}{4} \pi \{ \frac{1}{2} (1,5 + 0,6) \}^2 \times 0,45 \times \gamma_{\text{beton}} \\
 &= \{ \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \times 18,5 \times 25 \} \\
 &\quad + \frac{1}{4} \pi \{ \frac{1}{2} (1,5 + 0,6) \}^2 \times 0,45 \times 25 \\
 &= 130,8 + 9,74 = 140,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas dukung ultimit neto:

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\
 &= 3054 + 1963,6 - 140,54 = 4877,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Tahanan tiang akibat gaya tarik

Persamaan (3.25):

$$Q_{u(\text{tarik})} = (\pi/4)(d_b^2 - d_s^2)(c_u N_u + p_o)$$
$$p_o = 4 \times 16,5 + 8,5 \times 17 + 7,5 \times 17 = 202 \text{ kN/m}^2$$

Untuk lempung tidak retak-retak, berlaku **Persamaan (3.26):**

$$N_u = 3,5 L_b/d_b = 3,5 \times \frac{18}{0,6} = 105 > 9, \text{ diambil } N_u = 9$$

$$Q_{u(\text{tarik})} = (\pi/4)(1,5^2 - 0,6^2)(192 \times 9 + 202)$$
$$= 1,484(1930) = 2864 \text{ kN}$$

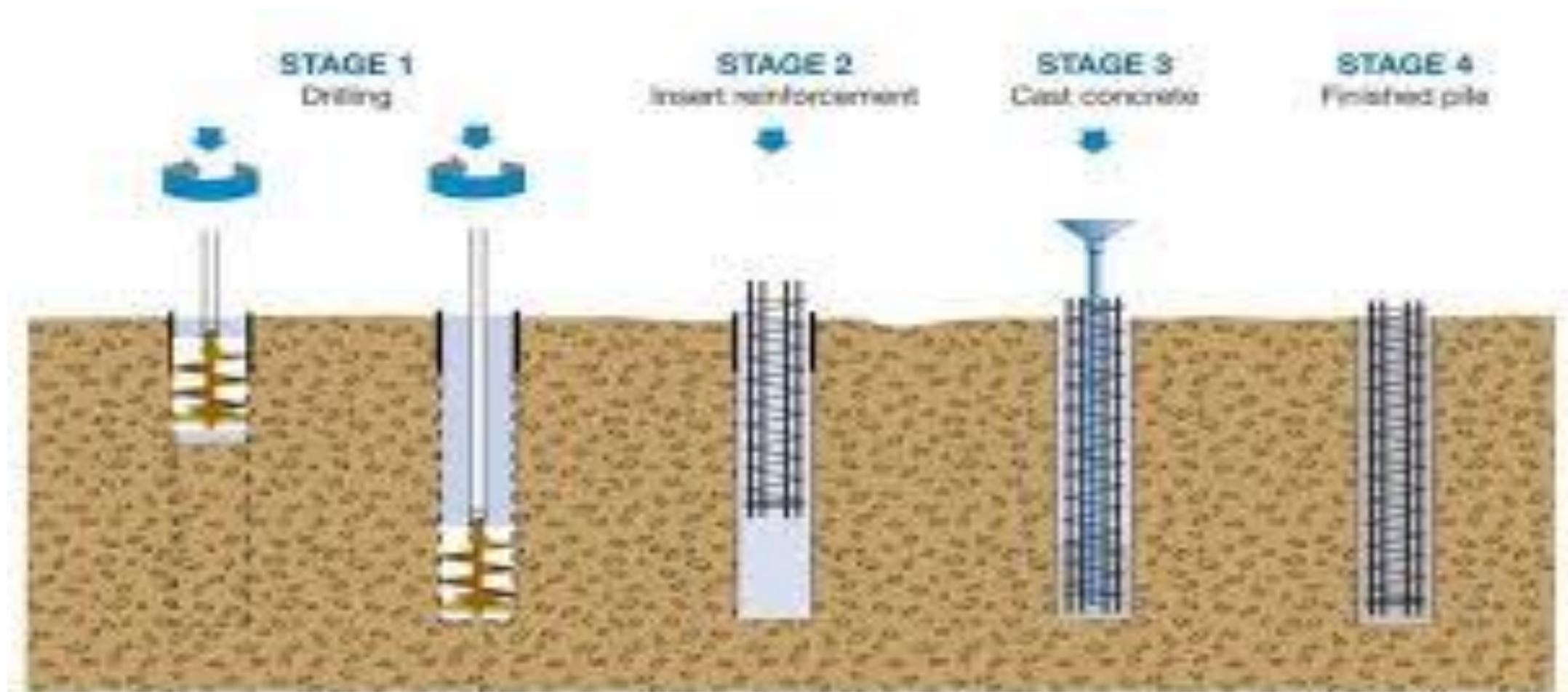
Bila tahanan gesek diperhitungkan, maka bagian $2 \times$ diameter pembesaran ujung atau $2 \times 1,5 = 3 \text{ m}$ diabaikan. Dengan melihat **Tabel C3.4**, untuk lapisan paling bawah: $f_s = 97,92 \text{ kN/m}^2$, A_s antara kedalaman $12,5 \text{ m} - 17 \text{ m} = 4,5 \times 1,88 = 8,46 \text{ m}^2$, $\Delta Q_s = A_s f_s = 8,46 \times 97,92 = 828,4 \text{ kN}$.

Jadi, tahanan gesek total:

$$Q_s = 199 + 589,6 + 828,4 = 1617 \text{ kN}$$

Tahanan tarik ultimit tiang bor:

$$Q_{u(\text{tarik}) \text{ total}} = Q_{u(\text{tarik})} + Q_s + W_p = 2864 + 1617 + 140,54$$
$$= 4621,54 \text{ kN}$$



SEKIAN TERIMAKASIH