

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Pondasi

Pondasi adalah salah satu konstruksi sebagai penghubung dalam sebuah struktur dengan tanah, sedangkan tanah sebagai penopangnya. Dalam pembangunan sebuah struktur bangunan, dibutuhkan perencanaan pondasi yang dapat menyambungkan antara tanah dengan sebuah struktur bangunan dengan tepat. Sementara itu, dalam pemilihan pondasi harus dapat disesuaikan dengan struktur tanah, sehingga pondasi tersebut akan terjadi kecocokan dalam berbagai jenis kondisi alam. Biasanya jenis pondasi terdapat dua macam, yaitu pondasi dangkal menurut kedalamannya (pondasi rakit, pondasi menerus, pondasi telapak), dan pondasi dalam (tiang bor, pondasi strauss, dan tiang pancang). Pada penelitian ini penulis berkeinginan untuk melakukan perencanaan pemakaian pondasi sumuran di proyek pada pembanguna gedung bertingkat tinggi (Simalango, Purba, and Sawito 2021).

Sedangkan pondasi sumuran merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi ini tepat digunakan pada kondisi tanah yang kurang baik dan lapisan tanah keras yang tidak terlalu dalam yaitu antara 3-5 m, namun tidak menutup kemungkinan pondasi sumuran bisa digunakan pada kedalaman lebih dari 5 m (Sjioen 2015).

Dalam perencanaan pondasi sumuran harus mampu menjaga kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar yang bekerja seperti beban angin, beban gempa. Diameter pondasi sumuran ini lebih besar dari pondasi tiang yaitu lebih dari 1 m. Pondasi sumuran disebut juga dengan pondasi kaison atau *well foundation* yang banyak digunakan apabila $4 < D_f/B < 10$ dengan D_f adalah kedalaman dan B adalah diameter atau lebar pondasi. Kaison merupakan sebuah silinder/kotak yang ditanam ke dalam tanah dan dibagian dalamnya diisi beton (Eka rizki fauziah irianti, 2021 2021).

Pondasi merupakan salah satu bagian struktur yang sangat vital bagi suatu bangunan, kegagalan suatu konstruksi secara keseluruhan bergantung pada mampu atau tidaknya pondasi dalam menahan beban, diperlukan perencanaan yang matang

agar ada kesesuaian jenis pondasi dengan karakteristik tanah, karena pondasi bertugas paling akhir dalam memikul sebagian besar beban bangunan untuk kemudian diteruskan ke tanah (Ummah 2019).

2.2 Jenis Pondasi

Secara umum terdapat dua jenis pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan pondasi suatu bangunan tergantung pada jenis struktur, beban-beban dan jenis tanahnya. Untuk konstruksi beban ringan biasanya dipakai pondasi dangkal, dan untuk konstruksi dengan beban yang besar, umumnya digunakan pondasi dalam.

2.2.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal digunakan apabila letak tanah kerasnya berada dekat dengan permukaan tanah dan tidak terlalu dalam yakni kedalaman pondasi kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$). Kapasitas daya dukung pondasi dangkal ialah kemampuan tanah dibawah pondasi menahan beban yang diteruskan oleh pondasi dangkal (Fauzi and Ikhyia 2016). Pondasi lain yang mempunyai lebar kurang dari jarak D , dimasukan dalam kategori pondasi dangkal, pada umumnya pondasi dangkal mempunyai kedalaman ≤ 3 meter, jenis-jenis pondasi dangkal :

a. Pondasi Telapak

Pondasi tapak adalah jenis pondasi yang memiliki ciri utama berupa penyebaran beban secara merata ke dalam tanah melalui permukaan dasar yang luas. Disebut “tapak” karena pondasi ini memiliki bentuk yang menyerupai tapak kaki manusia. Bentuk ini dirancang untuk menyebar beban secara efisien ke dalam tanah sehingga dapat menopang struktur bangunan di atasnya dengan baik. Kelebihan pondasi telapak adalah Mudah dalam pelaksanaan, Biaya relatif lebih murah dibanding pondasi dalam, Cocok untuk bangunan ringan hingga menengah. Kekurangan pondasi telapak adalah Tidak cocok untuk tanah lunak atau beban sangat berat. Kedalaman terbatas, bisa terpengaruh oleh perubahan muka air tanah atau erosi. Karakteristik pondasi telapak umumnya berbentuk persegi atau persegi panjang, tergantung pada bentuk dan besar beban kolom di atasnya (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Pondasi Telapak

b. Pondasi Batu Kali

Pondasi batu kali adalah jenis pondasi yang menggunakan batu kali sebagai bahan utama untuk membangun pondasi bangunan. Pondasi ini biasanya digunakan untuk bangunan dengan beban yang tidak terlalu besar, seperti rumah tinggal atau bangunan kecil lainnya (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Pondasi Batu Kali

c. Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

Pondasi batu bata adalah jenis pondasi yang menggunakan batu bata sebagai bahan utama untuk membangun fondasi bangunan. Pondasi ini dibuat dengan memasang batu bata secara berlapis-lapis dengan menggunakan mortar sebagai pengikat. Pondasi batu bata biasanya digunakan untuk bangunan dengan beban yang tidak terlalu besar, seperti rumah tinggal atau bangunan kecil lainnya. Pondasi ini memiliki kelebihan seperti kekuatan dan ketahanan yang cukup, serta dapat dibentuk dan dirancang sesuai dengan kebutuhan bangunan (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

d. Pondasi Rakit

Pondasi rakit adalah jenis pondasi yang menggunakan pelat beton yang tebal dan luas untuk menyebarkan beban bangunan ke tanah. Pondasi ini biasanya digunakan untuk bangunan dengan beban yang besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung yang rendah. Pondasi rakit dirancang untuk menyebarkan beban bangunan secara merata ke tanah, sehingga dapat mengurangi tekanan pada tanah dan mencegah penurunan atau pergeseran bangunan. Pondasi ini sering digunakan pada bangunan seperti gedung bertingkat, jembatan, atau bangunan lainnya yang memiliki beban yang besar (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Pondasi Rakit

2.2.2 Pondasi Dalam

a. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah jenis pondasi yang menggunakan tiang-tiang yang dipancangkan ke dalam tanah untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Pondasi ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung yang rendah. Pondasi tiang pancang dapat dibuat dari berbagai bahan, seperti beton, baja, atau kayu. Tiang-tiang pancang dipancangkan ke dalam tanah dengan menggunakan mesin pancang atau metode lainnya (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Pondasi Tiang Pancang

b. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran adalah jenis pondasi yang menggunakan lubang yang digali dan diisi dengan beton atau bahan lainnya untuk membentuk pondasi bangunan. Pondasi ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung yang rendah. Pondasi sumuran dapat dibuat dengan cara menggali lubang yang dalam dan lebar, kemudian diisi dengan beton atau bahan lainnya. Pondasi ini dapat digunakan untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Pondasi Sumuran

c. Pondasi *Strauss Pile*

Pondasi Strauss Pile adalah jenis pondasi yang menggunakan tiang beton yang dibuat dengan cara pengeboran dan pengecoran beton di tempat. Pondasi ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung yang rendah. Pondasi Strauss Pile dibuat dengan cara mengebor tanah hingga mencapai lapisan tanah yang stabil, kemudian diisi dengan beton yang dicor di tempat. Tiang beton yang dihasilkan dapat memiliki diameter yang bervariasi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan bangunan (Gambar 2.7).

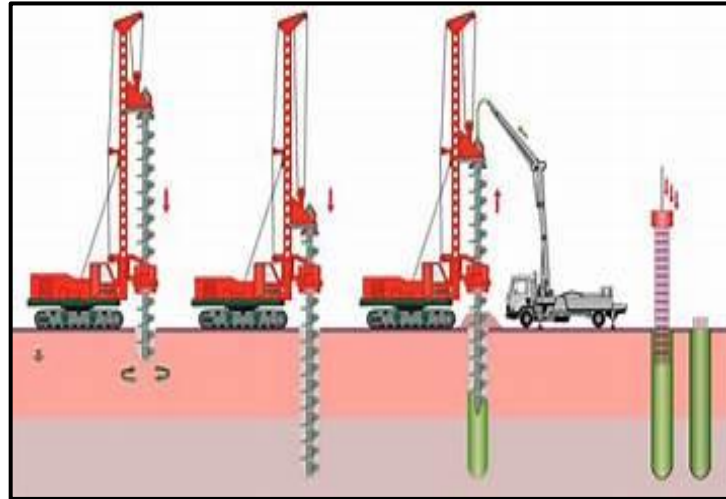


Gambar 2.7 Pondasi *Strauss Pile*

d. Pondasi *Bore Pile*

Pondasi Bore Pile adalah jenis pondasi yang menggunakan tiang beton yang dibuat dengan cara pengeboran dan pengecoran beton di tempat.

Adapun perbedaan pondasi *bore pile* dengan pondasi *strauss pile* yaitu bore pile cocok untuk proyek besar, beban besar, dan kedalaman yang dalam, sedangkan pondasi *strauss pile* cocok untuk pekerjaan ringan, lahan sempit, kedalaman dangkal, dan budget terbatas. (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 *Pondasi Bore Pile*

2.3 Pondasi Sumuran (*Caisson Foundation*)

Di Indonesia pondasi kaisan (sumuran) sering dibuat berbentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran karena bentuknya yang mirip sumur. Pondasi sumuran diklasifikasikan sebagai bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam, digunakan apabila tanah dasar terletak pada kedalaman yang relatif dalam dengan persyaratan perbandingan kedalaman tertanam terhadap diameter lebih kecil atau sama dengan 4. Jika nilai perbandingan tersebut lebih besar dari 4 maka pondasi tersebut harus direncanakan sebagai pondasi tiang.

2.3.1 Kelebihan dan Kelemahan Pondasi Sumuran

Beberapa kelebihan dari pondasi sumuran :

1. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
2. Selama pelaksanaan sumuran tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.
3. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi sumuran hal ini dapat dicegah.

4. Karena dasar dari pondasi sumuran dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya ke atas.
5. Pondasi sumuran mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.
6. Permukaan di atas dimana dasar pondasi didirikan diperiksa secara langsung.

Beberapa kekurangan dari pondasi sumuran :

1. Proses penggalian atau pengeboran tanah yang dilakukan dapat mengakibatkan tanah longsor di sekitar wilayah tersebut.
2. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga kapasitas daya dukung tanah terhadap tiang, maka air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali ke dalam kolam air.
3. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan menunda pengeboran dan pengecoran sampai keadaan cuaca memungkinkan atau memasang tenda sebagai penutup.
4. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang casing untuk mencegah kelongsoran.
5. Karena diameter cincin sumuran cukup besar dan memerlukan banyak beton dan material, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biaya meningkat maka ukuran cincin pondasi sumuran disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan.

2.3.2 Jenis-jenis Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran (kaison) dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu kaison bentuk silinder/kotak terbuka (*open caisson /wells*), kaison bentuk silinder/kotak tertutup (*box caisson Ifloating caisson*), kaison bertekanan (*pneumatic caisson*) (Pustaka 1994).

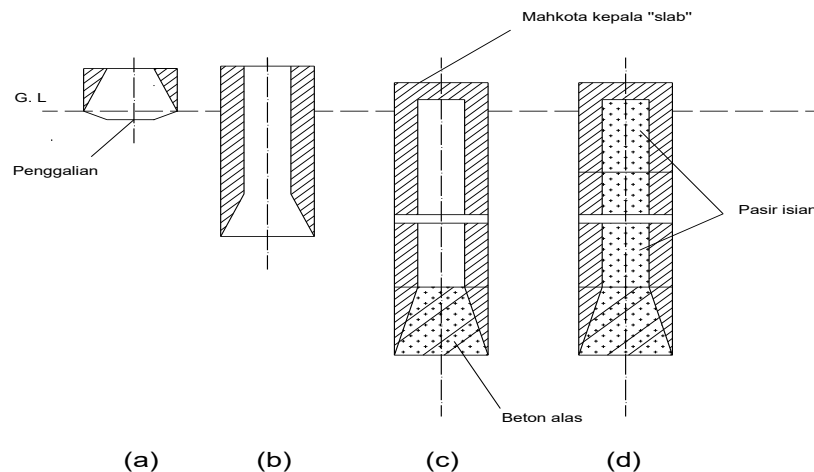
a. Kaison terbuka (*open caisson*)

Kaison jenis ini berbentuk kotak/ silinder yang terbuka dibagian atas dan bawahnya selama pelaksanaan konstruksi. Bahan dinding pondasi yang digunakan dalam tipe ini dapat terbuat dari kayu, batu pecah, atau

beton bertulang dan biasanya dibuat pada tanah yang mempunyai muka air tanah cukup dalam, sehingga tanah dapat dengan mudah dikeluarkan dari dalam silinder/kotak tersebut. Apabila muka air tanah tinggi maka jenis ini akan dapat digunakan apabila muka air tanah diturunkan terlebih dahulu.

Pembuatan pondasi kaisan jenis ini dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dibuat ditempat lain (*prefabricated*), setelah selesai baru dipindahkan ke lokasi dan cara yang kedua dengan dibuat langsung di lokasi.

Cara pelaksanaan pemasangan pondasi diawali dengan meletakkan bagian dasar kaisan dengan bagian dinding yang tajam di permukaan tanah, selanjutnya dilakukan penggalian, tanah dari dalam kaisan. Selama pelaksanaan penggalian, kaisan mengalami penurunan secara perlahan-lahan. Pekerjaan tersebut dilakukan terus sampai sisi dasar kaisan mencapai tanah keras. Setelah pekerjaan galian selesai, dilanjutkan dengan pengecoran beton alas sampai ketebalan tertentu. Setelah beton cukup kering, kemudian dimasukkan bahan pengisi (biasanya pasir) lalu ditutup dengan beton penutup (Gambar 2.9).

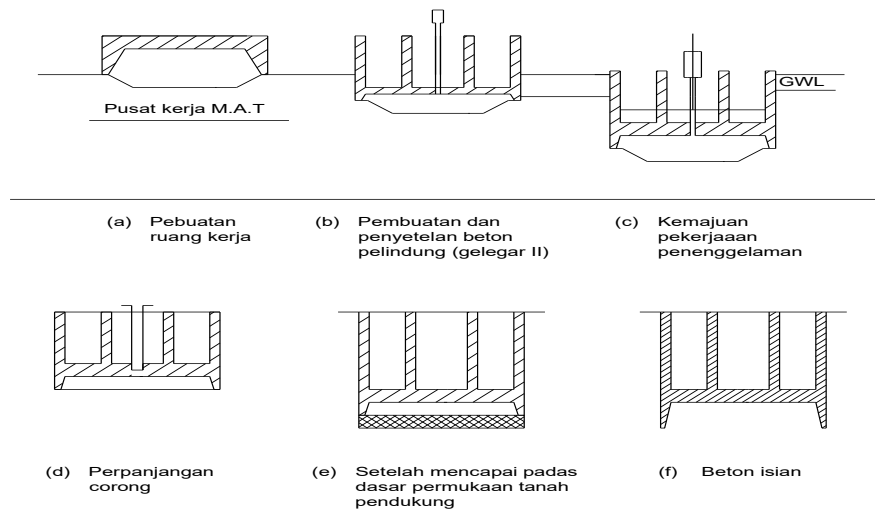


Gambar 2.9 Cara Pemasangan Pondasi Kaisan Terbuka

b. Kaisan bertekanan

Bilamana dijumpai pekerjaan pondasi dengan tekanan air cukup besar (pondasi di laut), maka digunakan sistem *Pneumatik caisson*. Pondasi jenis ini mempunyai ruangan khusus sebagai tempat kerja dengan

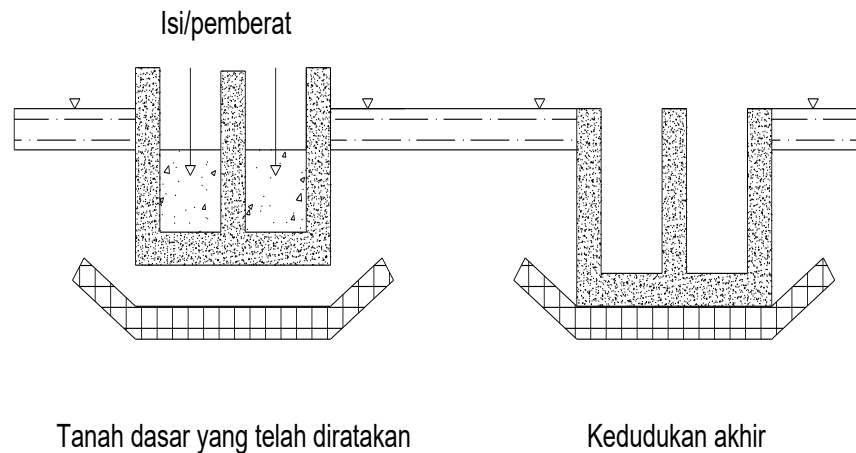
tekanan dalam ruangan tersebut lebih tinggi dari tekanan atmosfer, dengan tujuan untuk mencegah rembesan air dari bawah agar tidak masuk kedalam ruangan kerja. Secara umum konstruksi ini hampir sama dengan sisi terbuka dengan ruangan kerja di bagian bawah (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Cara Pemasangan Pondasi Kaison Terbuka

c. Kaison tertutup (*Box caisson*)

Bentuk pondasi biasanya adalah kotak / silinder dengan sisi bagian atasnya terbuka, sedangkan sisi bawah tertutup. Biasanya konstruksi ini terbuat dari beton bertulang. Pembuatan pondasi, jenis ini, umumnya di tempat kering (*prefabricated*), setelah selesai baru dipindahkan ke lokasi. Tipe tersebut dipakai untuk tanah yang mempunyai kuat dukung cukup tinggi dan kedalaman muka air tanah cukup dangkal. Selain itu, tipe ini sering dipakai untuk pondasi yang berada di air dengan beban yang bekerja tidak berat. Pondasi jenis ini biasanya dipakai untuk pondasi jembatan dan pemecah gelombang. Pelaksanaan pemasangan pondasi biasanya dibawa dari tempat pembuatan menuju lokasi. Untuk menjamin stabilitas pondasi, selama penarikan biasanya di dalam pondasi diberi pemberat berupa pasir. Sebelum pondasi ditenggelamkan tanah dasar pondasi harus rata/datar sehingga kedudukan akhir pondasi benar-benar stabil (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Cara Pemasangan Pondasi Kaison Tertutup

2.4 Daya Dukung Pondasi Sumuran

Menurut (Panguriseng & Sariman, 2022) dalam buku yang berjudul *Rekayasa Pondasi Dangkal*, menyatakan bahwa pondasi sumuran yang ditempatkan dengan melakukan ekskavasi tanah sebelum menempatkan casing sumuran, dikategorikan sebagai “pondasi dangkal”. Sedangkan pondasi sumuran yang dimasukkan ke dalam lapisan tanah melalui tekanan, dimana tidak dilakukan gangguan pada lapisan tanah yang berada di luar casing sehingga terjadi mobilisasi tahanan kulit pada dinding luar sumuran, maka pondasi sumuran semacam itu dikategorikan sebagai “pondasi dalam”.

Untuk menentukan daya dukung pondasi terlebih dahulu mengetahui data – data tanah, momen yang bekerja dan beban yang membebani Pada sumuran umumnya didukung oleh tanah dengan kondisi tiang yang tertahan pada ujung (*End Bearing Pile*) Tiang semacam ini dimasukkan sampai lapisan tanah keras sehingga beban yang ada dipikul oleh lapisan ini di salurkan ke dalam tanah keras yang berada pada ujung tiang.

Dalam (Yulinar & Inra, 2021) Persamaan daya dukung tiang sumuran dapat dihitung dengan Metode Reese dan O’Neill (1989) (Oemar et al. 2021) sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : Q_u = Daya dukung ultimit

Qb = Daya dukung ujung tiang

Qs = Daya dukung selimut

Wp = Berat sumuran

a. Daya dukung sumuran berdasarkan Standar Penetration Test (SPT)

Daya dukung pada ujung tiang pada pondasi umumnya diperoleh dari jumlah tahanan ujung dengan luas penampang. Untuk perhitungan daya dukung ujung tiang, yaitu :

$$Qb = Ab \times fb \rightarrow fb = 0,60\sigma_r \times N_{60} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : Qb = Daya Dukung ujung tiang (ton)

Ab = Luas penampang ujung tiang (cm^2)

fb = Tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

σ = Tegangan referensi = 100 kPa

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

Persamaan umum yang digunakan untuk menghitung daya dukung selimut tiang adalah sebagai berikut :

$$Qs = 0,1 \times N \times As \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : N = Nilai NSPT rata-rata sepanjang tiang

As = Luas penampang tiang (m)

Selain itu daya dukung sumuran juga dapat diperoleh dari hasil pengujian lapangan menurut Mayerhof (1956) dan Terzaghi & Peck (1974) (Aisah and Dhiniati 2023).

Dalam menentukan daya kapasitas daya dukung berdasarkan percobaan di lapangan baik Cone Penetration Test (CPT) maupun Standard Penetration Test (SPT), pada umumnya mempunyai keuntungan bahwa dengan cara tersebut kapasitas daya dukung dapat diperoleh langsung setelah hasil tes di lapangan dilaksanakan. Cara ini memerlukan pengamatan lanjutan dan pengalaman dalam menentukan kelakuan dari sifat-sifat tanah setempat.

Menurut Mayerhof (1956), untuk tanah pasir daya dukung ijin dari pondasi dapat diperoleh dengan cara berikut ini:

Untuk $(B) \leq 1,22 \text{ m}$

$$q_{ijin} = 12(kN/m^2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Untuk $(B) > 1,22 \text{ m}$

$$(net) = 8N \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 (kN/m^2) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana : q_{all} = daya dukung izin netto dengan penurunan maksimum 2,5 cm

N = Nilai N-spt

B = Lebar Pondasi

Terzaghi dan Peck juga memberikan chart empiris untuk menentukan daya dukung yang aman untuk suatu pondasi dengan membatasi penurunan maksimum 2,5 cm dan perbedaan penurunan diferensial 2 cm. (Gambar 2.12).

$$q_{all} = 3,5(N-3) \left[\frac{B+0,3}{2B} \right]^2 R_{w2} R_d \dots \dots \dots (2.6)$$

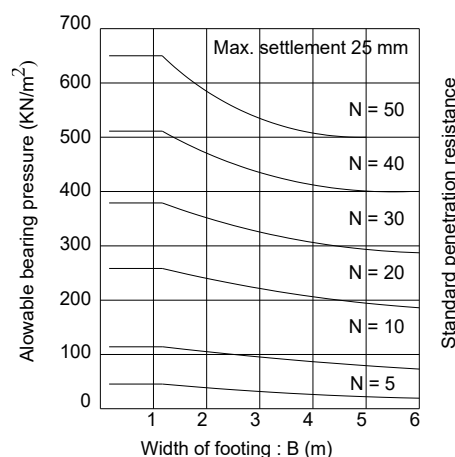
Dimana : q_{all} = daya dukung izin netto dengan penurunan maksimum 2,5 cm

N = Nilai N-spt

B = Lebar pondasi

R_{w2} = Faktor reduksi akibat air tanah = $0,5(1 + z_{w2}/B)$

R_d = Faktor kedalaman = $1 + D/B < 2,0$



Gambar 2.12 Daya Dukung Izin Berdasarkan Nilai N-spt dan Lebar Pondasi

b. Daya dukung sumuran berdasarkan Cone Penetration Test (CPT)

Dengan berdasarkan nilai tahanan ujung conus dari uji sondir Mayerhof mengajukan daya dukung bersih dari pondasi dengan batas penurunan ijin 25 mm sebagai berikut :

Untuk $(B) \leq 1,22 \text{ m}$

$$q_{ijin} = \frac{qc}{30} (kg/m^2) \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk $(B) > 1,22 \text{ m}$

$$q_{ijin} = \frac{qc}{50} \left(\frac{B+3}{B}\right)^2 (kg/m^2) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : q_{ijin} = daya dukung ijin untuk penurunan 2,54 cm

qc = tahanan ujung rata-rata pada 0 s/d B dari bawah dasar pondasi

Maksud penggunaan faktor-faktor aman adalah untuk meyakinkan keamanan tiang terhadap keruntuhan tiang dengan mempertimbangkan penurunan tiang pada 15 beban kerja yang diterapkan. Untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan struktur bangunan menurut (Reese & O' Neill, 1989) (Oemar et al. 2021) sebagai berikut:

Tabel 2.1 Faktor Keamanan Untuk Pondasi Tiang

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (SF)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2.3	3	3.5	4
Permanen	2	2.5	2.8	3.4
Sementara	1.4	2	2.3	2.8

Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan jembatan besar, dan lain-lain. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun, bahkan mungkin hanya beberapa saat saja selama masa konstruksi.

Faktor-faktor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi :

1. Pengendalian Baik : kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi di dasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan profesional, terdapat informasi uji pembebanan di atau dekat proyek dan pengawasan konstruksi di laksanakan secara ketat.
2. Pengendalian Normal : Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi di atas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tiang.
3. Pengendalian Kurang : Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, pengawasan pekerjaan kurang, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik. Pengendalian Buruk : Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai.

c. Daya dukung sumuran berdasarkan Laboratorium

Berikut beberapa rumus yang digunakan dalam uji laboratorium untuk menentukan kapasitas dukung pondasi Sumuran :

1. Rumus Terzaghi:

$$Q_{ult} = cN_c + \gamma DN_q + 0,5\gamma BN_\gamma \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana: Q_{ult} = daya dukung ultimit

c = kohesi tanah

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung

γ = berat volume tanah

D = kedalaman sumuran

B = diameter sumuran

2. Rumus Meyerhof:

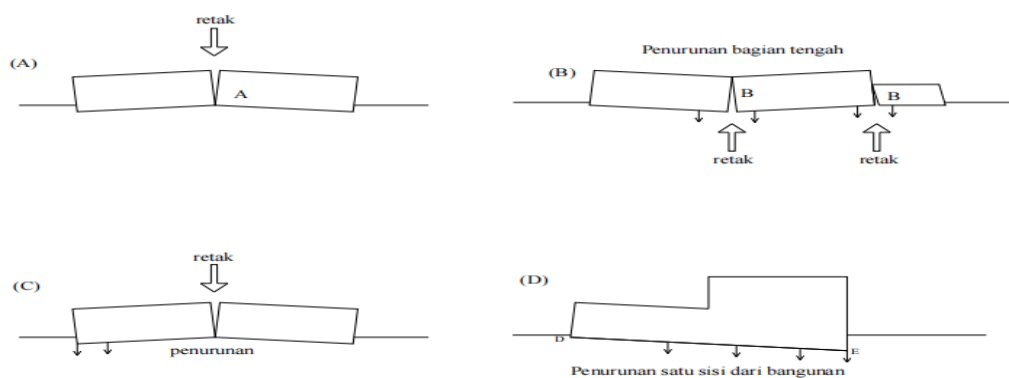
$$Q_{ult} = cN_c + \gamma DN_q + 0,5\gamma BN_\gamma * s \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana: s = faktor bentuk sumuran

Rumus-rumus tersebut digunakan untuk menghitung daya dukung ultimit sumuran berdasarkan sifat fisik dan mekanik tanah yang diperoleh dari uji laboratorium. Hasil perhitungan daya dukung ultimit kemudian dapat digunakan untuk menentukan daya dukung izin sumuran dengan mempertimbangkan faktor keamanan yang sesuai.

2.5 Penurunan Pondasi Sumuran

Istilah penurunan (settlement) di gunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Jika seluruh permukaan tanah di bawah dan di sekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan terjadi tidak berlebihan, maka turunnya bangunan tidak akan terlihat oleh pandangan mata dan penurunan yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan bangunan. Namun, kondisi demikian tentu mengganggu baik pandangan mata maupun kestabilan bangunan, jika penurunan terjadi berlebihan umumnya penurunan tak seragam lebih membahayakan bangunan daripada penurunan total (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan

Dari Tabel 2.2, penurunan ijin menurut (showers,1962) (Sitompul and Lubis 2021) didapatkan syarat penurunan ijin total untuk bangunan dinding bata = 25 – 30 mm.

Tabel 2.2 Penurunan Ijin

Tipe Gerakan	Faktor Pembatasan	Penurunan Maksimum
Penurunan Total	Drainase	15 – 30 cm
	Jalan masuk	30 – 60 cm
	Kemungkinan penurunan tidak seragam: bangunan dinding bata	2,5 – 5 cm
	Bangunan rangka	5 – 10 cm
	Cerobong asap, silo, pondasi rakit (mat)	8 – 30 cm

Lanjutan Tabel 2.3 Penurunan Ijin

Tipe Gerakan	Faktor Pembatasan	Penurunan Maksimum
Kemiringan	Stabilitas terhadap penggulingan	Bergantung pada tinggi dan lebar
	Miringnya cerobong asap, menara	0,004 L
	<i>Rolling of trucks, dll.</i>	0,01 L
	<i>Stacking of goods</i>	0,01 L
	Operasi mesin - perkakas benang tenun	0,003 L
	Operasi mesin – generator turbo	0,0002 L
	Rel Dereak (<i>crane rail</i>)	0,0003 L
Gerakan Tidak Seragam	Drainase lantai	0,01 L
	Dinding bata kontinyu tinggi	0,0005 - 0,001 L
	Bangunan penggiling satu lantai (dari batu bata) dinding retak	0,001 – 0,002 L
	Plesteran retak (gypsum)	0,001 L
	Bangunan rangka beton bertulang	0,0025 – 0,004 L
	Bangunan dinding tirai beton bertulang	0,003 L
	Rangka baja	0,002 L
	Rangka baja sederhana	0,005 L

Penyelesaian untuk perhitungan penurunan karena menerima beban dari arah vertikal adalah sebagai berikut :

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana : S_1 = penurunan batang tiang

S_2 = penurunan yang disebabkan beban pada titik tiang

S_3 = penurunan yang disebabkan oleh beban yang ditransmisikan sepanjang poros tiang.

Prosedur untuk memperkirakan tiga element penurunan tiang pondasi adalah sebagai berikut :

- Penurunan Akibat Deformasi Aksial Tiang (S_1) Untuk perkiraan besarnya penurunan pada pondasi tiang tunggal, maka deformasi tiang batang dapat dievaluasi menggunakan prinsip – prinsip dasar mekanika bahan.

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha \cdot Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana : Q_{wp} = beban vertical yang diterima pondasi

Q_{ws} = beban yang dikarenakan gesekan selimut pondasi

A_p = luas penampang tiang

L = panjang tiang

E_p = modulus elastisitas beton, (beton ($4700/\sqrt{f'c}$))

α = koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut pada pondasi. Seragam atau parabola murni, nilai α adalah setara dengan 0,5

Untuk perkiraan modulus elastisitas tanah bisa didapatkan dari Tabel 2.3 (Bowles, 1997) (Berlinda and Susanto 2007).

Tabel 2.4 Perkiraan Modulus Elastisitas (E)

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 20000
Loess	15000 - 60000
Serpih	140000 - 1400000

- Penurunan dari Ujung Tiang (S2)

Bahan ajar rekayasa pondasi II, Pintor Tua Simatupang menjelaskan metode semiempiris untuk memperoleh besarnya penurunan dari ujung tiang (S2).

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) s \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana : μ_s = nisbah poisson

E_s = modulus elastisitas tanah, (beton $(4700/\sqrt{f'c'})$)

q_{wp} = tahanan ujung tiang, ($q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$)

D = diameter pondasi sumuran

I_{ws} = factor pengaruh = 0,85 untuk bentuk pondasi lingkaran

Nisbah Poisson didefinisikan sebagai perbandingan negatif antara regangan lateral dan regangan aksial. (Nisbah Poisson) menunjukkan adanya pemanjangan ke arah lateral (lateral expansion) akibat adanya tegangan dalam arah aksial.

Untuk nilai μ_s diambil = 0,3 diambil dari Tabel 2.4.

Tabel 2. 5 Parameter Elastic Tanah

Jenis Tanah	Nisbah Poisson μ_s
Pasir Lepas	0,20 – 0,40
Pasir Padat Medium	0,25 – 0,40
Pasir Padat	0,30 – 0,40
Pasir Kelanauan	0,2 – 0,40
Pasir dan Kerikil	0,15 – 0,40
Lempung Lunak	
Lempung Medium	0,2 – 0,50
Lempung Kaku	

- Penurunan akibat pengalihan beban (S3)

Penyelesaian penurunan yang disebabkan oleh beban yang dibawa oleh batang tiang :

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{P_L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana : P = Keliling Tiang

L = Panjang Tiang Tertanam

$$w_p = \text{Faktor Pengaruh} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$