

2. LANDASAN TEORI

2.1. Pendahuluan

Jenis dinding penahan tanah yang biasa digunakan dalam pembangunan *basement* di wilayah Surabaya adalah turap dan *bored pile walls*. Dinding penahan tanah ini digunakan apabila metode *vertical cut* dinilai tidak mampu mencapai kedalaman galian yang diinginkan.

Substruktur dan pondasi, seperti dinding penahan tanah dan dinding *basement* sangat dipengaruhi oleh tekanan lateral dikarenakan tinggi permukaan tanah pada satu sisi berbeda dengan sisi yang lain. Pembebanan vertikal (beban tambahan) yang letaknya berdekatan dengan substruktur juga dapat menyebabkan tekanan lateral. Beban tersebut biasanya berupa beban terbagi rata, beban titik, beban garis, dan beban terbagi rata memanjang. Besar tekanan lateral sangat bergantung pada karakteristik tanah dan tipe struktur dinding penahan tanah yang digunakan. Tekanan ini harus dihitung dengan teliti agar mencapai desain yang ekonomis dengan angka keamanan yang memadai.

Desain kedalaman *bored pile walls* dan kedalaman kritis dapat dicari dengan cara manual atau dengan bantuan *software* geoteknik. Perhitungan kedalaman *bored pile walls* dengan cara manual menggunakan prinsip yang sama dengan turap baik yang dianggap sebagai kantilever maupun dengan menggunakan ankur. Sedangkan kedalaman kritis dapat dicari dengan menganggap bidang longsor sebagai bidang datar atau lingkaran. *Software* geoteknik yang terbilang baru dan digunakan dalam penelitian ini adalah *Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik Software (GGU-Software)*.

GGU-Software adalah *software* buatan Jerman yang terdiri dari 43 program yang mencakup penyelidikan tanah, perencanaan substruktur sampai analisa laboratorium. Aplikasi dari *software* ini didesain untuk dapat memasukan *input* yang sederhana dan segera tampil di layar secara langsung agar dapat memberikan kendali yang optimum pada apa yang sedang dikerjakan.

2.2. Perkenalan *GGU-Software*

Pada studi ini *GGU-Software* yang digunakan adalah *GGU-Retain*. *GGU-Retain* digunakan dalam mendesain kedalaman *bored pile walls* yang diperlukan untuk setiap tipe tanah di Surabaya.

GGU-Retain merupakan *software* yang mempunyai kemampuan untuk menganalisa *sheet pile walls* (turap), *soldier-pile walls* dan *in-situ concrete walls* (*bored pile walls*, *diaphragm walls*, dan *contiguous pile walls*). Aplikasi dari *GGU-Retain* didasarkan pada ‘*Recommendations of the Working Group for Excavations (EAB)*’ [1]. Sampai dengan 50 lapisan tanah dapat dimasukkan dalam program ini. Pada setiap lapisan tanah, parameter-parameter berikut harus dimasukkan:

- Kedalaman [m]
- Berat jenis tanah (γ dan γ') [kN/m^3]
- Sudut geser dalam tanah [$^\circ$]
- kohesi (aktif dan pasif) [kN/m^2]
- sudut gesek tanah dengan dinding (aktif dan pasif) dalam rasio δ / ϕ
- permeabilitas dinding penahan tanah (kiri dan kanan) [m/s]

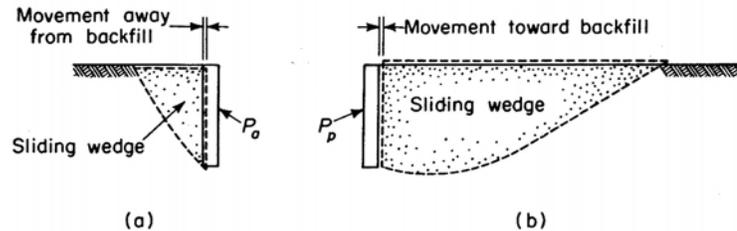
Dalam program ini, tekanan tanah aktif dianjurkan dihitung berdasarkan DIN 4085 dan tekanan tanah pasif dianjurkan dihitung berdasarkan Streck/WeiBenbach. Sebagai tambahan, *GGU-Retain* juga memberikan pilihan kepada pengguna untuk mengisi koefisien tekanan tanah yang dihitung sendiri.

2.3. Tekanan Tanah Lateral

2.3.1. Konsep Dasar

A. *Lateral strain*. Besar dan distribusi tekanan tanah yang bekerja pada struktur dinding penahan atau pondasi sangat bergantung pada *relative lateral strain* dari tanah di belakang struktur. Pemahaman yang jelas tentang ini adalah penting agar dapat menghitung tekanan tanah dengan tepat. Tekanan tanah yang dihitung berdasarkan keadaan *strain* yang salah dapat menghasilkan kesalahan yang fatal.

Ketika tanah dicegah untuk mengalami *lateral strain* (ekspansi dan kontraksi) dengan memasang struktur dinding penahan tanah yang mempunyai kerigidan yang besar, tekanan yang bekerja disebut tekanan tanah pada saat diam (*earth pressure at rest*).



Gambar 2.1. (a) Tekanan Tanah Aktif; (b) Tekanan Tanah Pasif [3]

Apabila struktur dinding penahan tanah diijinkan berpindah menjauh dari tanah dibelakang dinding sehingga membiarkan tanah mengalami ekspansi, tekanan tanah akan menurun seiring dengan semakin meningkatnya ekspansi. Ekspansi yang lebih jauh akan menyebabkan kegagalan geser dimana baji tanah cenderung untuk berpindah maju ke depan dan ke bawah, Gambar 2.1(a). Pada keadaan runtuh inilah tekanan tanah mencapai harga minimum dan deformasi yang lebih lanjut tidak mengurangi besarnya tekanan tanah lagi. Tekanan minimum inilah yang dikenal dengan nama tekanan tanah aktif.

Sebaliknya jika struktur dinding penahan dipaksa untuk berpindah ke belakang ke arah tanah sehingga menyebabkan kontraksi pada tanah, gaya yang diperlukan untuk memulai perpindahan ini adalah lebih besar dibandingkan dengan tekanan tanah yang bekerja pada dinding rigid. Suatu gaya yang lebih besar diperlukan untuk memindahkan dinding pada jarak yang lebih jauh sampai mencapai keadaan runtuh dan baji tanah terbentuk, Gambar 2.1(b). Baji tanah ini berpindah ke belakang dan ke atas dari posisi mula-mula. Pada keadaan runtuh, tekanan tanah mencapai nilai maksimum yang disebut dengan tekanan tanah pasif atau perlawanan pasif. Setelah mencapai tahap ini, tidak ada gaya yang lebih besar yang dapat memindahkan baji tanah lebih jauh lagi.

B. Gesekan dan lekatan pada dinding. Pada saat runtuh, baji tanah berpindah ke arah depan sekaligus ke bawah seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(a). Apabila struktur penahan tanah dibiarkan mengalami pergerakan ke arah luar tetapi dibuat secara rigid untuk mencegah pergerakan ke bawah maka akan terdapat gerakan vertikal relatif antara bagian belakang dinding dengan tanah.

Lebih jauh lagi, jika bagian belakang dinding kasar dan regangan gesernya besar, tegangan geser sepanjang bagian belakang dinding adalah sama dengan total kekuatan geser tanah: $s = c + \sigma \tan \phi$. Pada kasus seperti ini, bagian belakang dinding dianggap kasar seluruhnya. Sebaliknya, jika bagian belakang dinding licin atau terdapat regangan geser relatif yang kecil antara dinding dan tanah maka tidak ada perlawanan terhadap geser sepanjang bagian belakang dinding dan tekanan tanah bekerja tegak lurus bagian belakang dinding. Pada kasus ini, dinding dianggap licin seluruhnya. Pada desain, besar gesekan dinding harus ditetapkan. Perlawanan terhadap geser s_w sepanjang bagian belakang dinding diasumsikan terdiri dari dua bagian:

$$s_w = c_a + \sigma \tan \delta \quad \dots(2.1)$$

dimana: s_w = perlawanan terhadap geser sepanjang bagian belakang dinding,

c_a = lekatan antara tanah dan dinding,

δ = sudut gesek dinding (*wall friction*),

σ = berat jenis tanah.

Untuk keperluan desain, harga-harga berikut dapat diasumsikan:

$c_a = c$ (kohesi tanah) tapi tidak melebihi 1000 psf

$\delta = 30^\circ$ untuk tiang baja yang dilapisi tar atau bitumen

= 20° untuk beton atau dinding pasangan batu bata

= 15° untuk turap baja tanpa lapisan

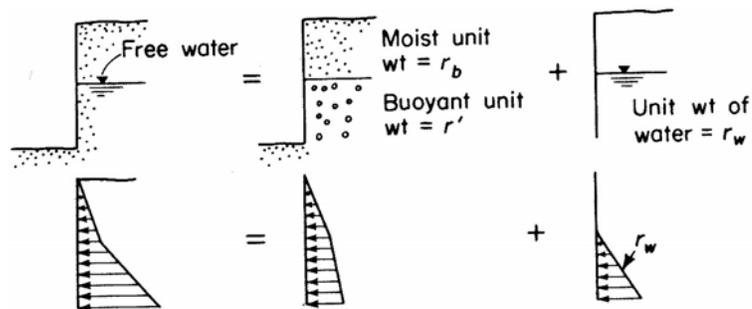
= 0° jika dinding cenderung berpindah ke arah bawah bersama-sama dengan tanah

= 0° untuk turap dengan kemampuan penetrasi kecil atau hanya mampu menembus tanah lunak atau *loose soil*

= 0° jika urugan terkena getaran

Pada studi ini, dinding dianggap licin seluruhnya dan nilai $\delta = 0^\circ$.

C. Tekanan hidrostatik. Ketika sebagian atau seluruh lapisan tanah dibelakang struktur dinding penahan tanah terendam air, tekanan tanah dianggap terdiri dari dua komponen: komponen pertama disebabkan oleh tekanan hidrostatik dan yang lainnya disebabkan oleh berat tanah yang mengapung. Berat tanah yang mengapung dibawah muka air adalah sama dengan berat dari partikel-partikel tanah dalam atmosfer dikurangi berat air yang menggantungkan partikel-partikel ini, Gambar 2.2. Jika muka airnya sama pada kedua sisi struktur dinding penahan tanah, tekanan hidrostatiknya adalah nol.



Gambar 2.2. Tekanan Lateral di Bawah Muka Air [3]

2.3.2. Teori-Teori Tekanan Tanah

Teori-teori tekanan tanah dapat diklasifikasikan dalam empat kategori:

1. Teori elastisitas yang biasanya digunakan untuk menghitung tekanan vertikal dan lateral dalam tanah dikarenakan beban tambahan.
2. Teori plastisitas yang digunakan dalam teori Rankine.
3. Teori baji tanah (*wedge theory*) yang dikembangkan pertama kali oleh Coulomb dan kemudian diperluas untuk kondisi-kondisi yang lebih umum.
4. Kaidah-kaidah empiris yang digunakan untuk desain substruktur yang sangat tidak tentu seperti turap dengan ankur dan *open cut bracings*.

Kedua teori yaitu teori Rankine dan teori baji tanah memperlakukan massa tanah dalam kondisi runtuh. Oleh karena itu, hasil perhitungan dari

teori-teori ini hanya berlaku jika massa tanah runtuh oleh *internal shear*. Apabila, struktur dinding penahan tanah tidak mampu mengalami pergerakan sampai keruntuhan geser yang dikehendaki terjadi, teori Rankine dan teori baji tanah akan memberikan hasil yang salah.

Pada studi ini, teori tekanan tanah yang digunakan dalam perhitungan manual kedalaman *bored pile walls* adalah teori Rankine.

2.3.3. Teori Rankine

Teori Rankine membahas tegangan dalam masa tanah ketika mencapai keadaan keseimbangan plastis yaitu bilamana terjadi keruntuhan geser di setiap titik pada masa tanah itu. Kedudukan keseimbangan plastis ini hanya dapat dicapai bila terdapat deformasi yang cukup pada masa tanah tersebut.

Dalam mengembangkan teorinya, Rankine menggunakan asumsi-asumsi:

- tanah dalam keadaan homogen dan isotropis
- permukaan tanah merupakan garis lurus (horizontal atau miring)
- tidak ada gesekan antara tanah dan dinding penahan
- posisi dinding penahan selalu dalam keadaan vertikal.

Ketika tanah diijinkan untuk mengalami ekspansi (tekanan tanah aktif) atau kontraksi (tekanan tanah pasif), bidang runtuh akan terbentuk diantara tanah tersebut. Apabila tidak diganggu oleh bagian belakang dinding atau struktur yang lain, bidang runtuh akan berupa rangkaian garis-garis lurus dengan sudut i terhadap horizontal:

$$\text{Tekanan tanah aktif: } i = 45 + \varphi/2 \quad \dots(2.2)$$

$$\text{Tekanan tanah pasif: } i = 45 - \varphi/2 \quad \dots(2.3)$$

Pada saat keadaan diatas dipenuhi, tanah dikatakan dalam keadaan Rankine dan teori Rankine dapat digunakan:

$$p_a = q K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad \dots(2.4)$$

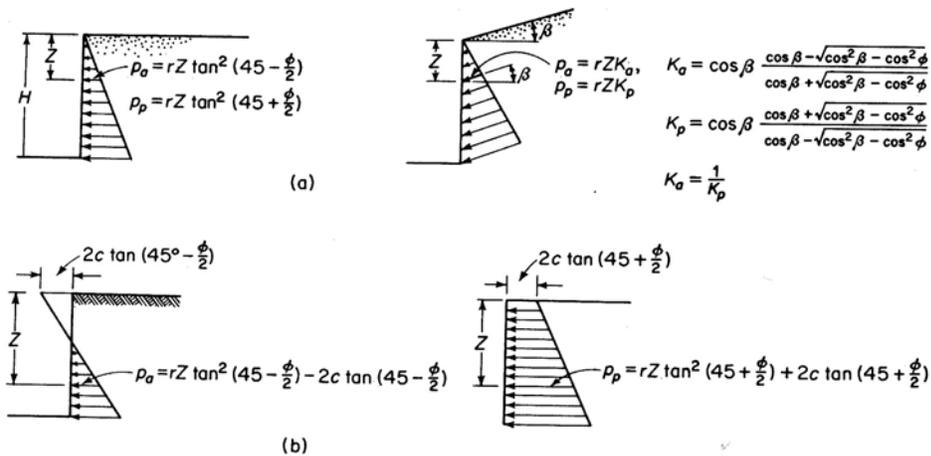
$$p_p = q K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad \dots(2.5)$$

dimana p_a dan p_p = tekanan tanah pasif dan aktif pada kedalaman z ;

q = tekanan vertikal atau beban dikarenakan berat tanah diatas
 z , menggunakan berat jenis tanah *submerged* untuk
 bagian di bawah muka air tanah;

c = kohesi dalam tanah;

K_a dan K_p = koefisien tekanan tanah aktif dan pasif.



Gambar 2.3. Rangkuman Rumus Rankine yang Biasa Digunakan

(a) Tanah Granular; (b) Tanah Kohesif [3]

Harga K_a dan K_p ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Terlihat bahwa: $K_a = 1/K_p$.

Harga K_0 (tekanan tanah pada saat diam) sulit ditentukan. Harga K_0 secara empiris untuk pasir: $K_0 = 1 - \sin \phi$ (2.6)

Sedangkan harga K_0 untuk *normally consolidated clay*:

$$K_0 = 0,19 + 0,233 \log I_p \quad \text{.....(2.7)}$$

dimana ϕ = sudut geser tanah;

I_p = *plasticity index*.

Hasil-hasil percobaan mengindikasikan:

$K_0 = 0,35 - 0,60$ untuk pasir dan kerikil
 $= 0,45 - 0,75$ untuk lempung dan lanau
 $= 1,0$ untuk lempung overconsolidated

2.3.4. Penentuan Properti-Properti Tanah dalam Perhitungan Tekanan Tanah

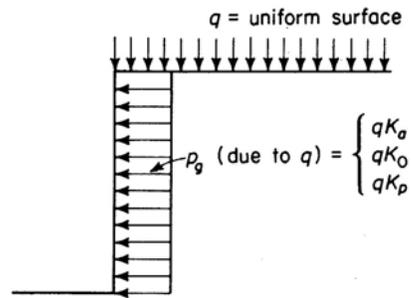
Nilai berat jenis tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) yang akan digunakan dalam perhitungan tekanan tanah harus dicari dari tes-tes yang dilakukan pada sampel tanah dengan memberikan kondisi yang sama seperti yang akan terjadi setelah konstruksi. Harga-harga ini sangat penting untuk ditentukan sehubungan dengan desain. Apabila tidak ditentukan sebelumnya, nilai-nilai γ , kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) dapat diambil berdasar material-material yang sudah ada dan konstruksi dilakukan berdasar asumsi minimum dalam desain. Untuk dinding penahan tanah yang mempunyai ketinggian kecil sampai sedang, desain tekanan dapat diperoleh dari kaidah-kaidah empiris.

Harga c dan ϕ dapat ditentukan dari *shear test* atau *triaxial test* untuk tanah granular dan harga tersebut dapat langsung digunakan dalam perhitungan tekanan. Tekanan tanah yang terjadi di lapangan tidak terlalu berbeda dengan hasil perhitungan. Beda halnya dengan tanah kohesif, tanah jenis ini kondisinya dapat berubah setelah konstruksi selesai. Tekanan tanah harus dihitung berdasar kekuatan geser minimum agar lebih aman.

Pada studi ini, harga c diambil dari data sondir untuk setiap tipe-tipe tanah yang ada, sedangkan nilai γ diambil dari literatur. Nilai sudut geser tanah (ϕ) diambil sama dengan 5^0 dengan anggapan tidak terjadi kondisi *Unconsolidated-Undrained (UU)* sepenuhnya. Sudut gesek dinding (δ) diambil sebesar 0^0 sebagai asumsi bahwa dalam penelitian ini tidak ada *wall friction*. Hal ini memberikan hasil yang lebih konservatif pada pengerjaan *bored pile walls*.

2.3.5. Beban Tambahan

A. Beban terbagi rata. Apabila pada permukaan tanah terdapat beban merata, perhitungan tekanan tanah sering dikerjakan dengan menggantikan beban dengan lapisan tambahan yang *equivalent*. Tebal dari lapisan tambahan ini adalah sama dengan beban distribusi dibagi berat jenis tanah.



Gambar 2.4. Tekanan Lateral Akibat Beban Terbagi Rata [3]

Perhitungan tekanan lateral akibat beban merata relatif sederhana. Jika teori baji tanah digunakan, beban tambahan dapat langsung dimasukkan dalam perhitungan berat baji tanah. Apabila menggunakan teori Rankine, tekanan akibat beban merata q adalah tekanan konstan yang sama dengan

$$p_q = q K_a, p_q = q K_0, \text{ atau } p_q = q K_p \quad \dots(2.8)$$

dimana koefisien tekanan tanah K_a , K_0 , atau K_p konstan pada lapisan manapun yang mempunyai nilai ϕ konstan, Gambar 2.4.

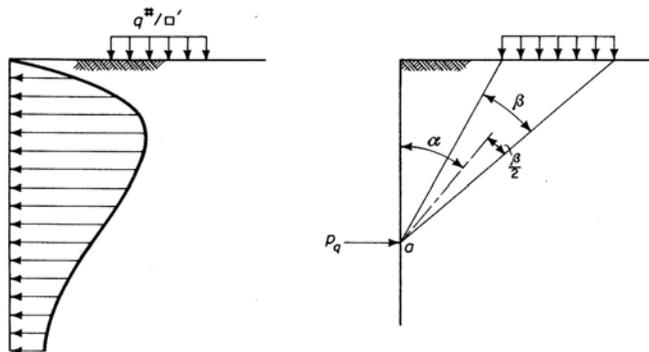
B. Beban terbagi rata memanjang. Beban terbagi rata memanjang dapat berupa jalan raya, jalan kereta api atau timbunan yang sejajar dengan dinding penahan tanahnya. Menurut Gambar 2.5, anggaplah:

p_q = tekanan horizontal pada titik a;

β = sudut visibilitas pada titik a, dalam radian;

α = sudut antara garis vertikal dan garis bagi sudut β ;

q = beban terbagi rata memanjang, psf.



Gambar 2.5. Tekanan Lateral Akibat Beban Terbagi Rata Memanjang [3]

Tekanan lateral yang terjadi pada dinding rigid adalah dua kali dari harga yang ditentukan dalam teori elastisitas:

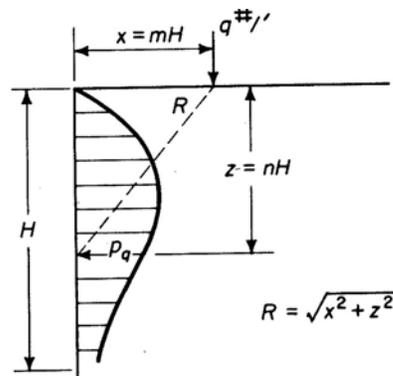
$$p_q = \frac{2q}{\pi} (\beta + \sin \beta) \sin^2 \alpha + \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin \alpha) \cos^2 \alpha \quad \dots(2.9)$$

seperti yang terlihat pada Gambar 2.5, harga p_q bervariasi sesuai dengan kedalaman.

C. Beban garis. Pondasi plat lajur dengan lebar yang kecil, dinding beton, pagar, saluran yang terletak dalam tanah adalah beban garis. Sama seperti beban terbagi rata memanjang, tekanan lateral bertambah dari nol pada permukaan tanah sampai harga maksimum pada kedalaman tertentu dan secara bertahap berkurang sampai sama dengan nol pada kedalaman yang lebih besar, Gambar 2.6. Tekanan horizontal dapat dihitung dengan persamaan:

$$\left. \begin{aligned} p_q &= 1.27q \frac{xz}{R^4} \\ &= 1.27 \frac{q}{H} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2} \end{aligned} \right\} (m > 0.4) \quad \dots(2.10)$$

$$p_q = 0.203 \frac{q}{H} \frac{n}{(0.16 + n^2)^2} \quad (m < 0.4) \quad \dots(2.11)$$



Gambar 2.6. Tekanan Lateral Akibat Beban Garis [3]

D. Beban titik. Beban roda kendaraan atau setiap beban yang terpusat pada area yang kecil dapat dianggap sebagai beban titik. Intensitas

tekanan lateral akibat beban ini tidak hanya bervariasi dengan kedalaman tetapi juga dengan jarak horizontal beban. Tekanan terbesar terdapat di sepanjang garis ab yang terletak paling dekat dengan beban, Gambar 2.7. Sepanjang garis ab , tekanan horizontal p dapat dihitung melalui persamaan-persamaan empiris berikut (Terzaghi, 1954):

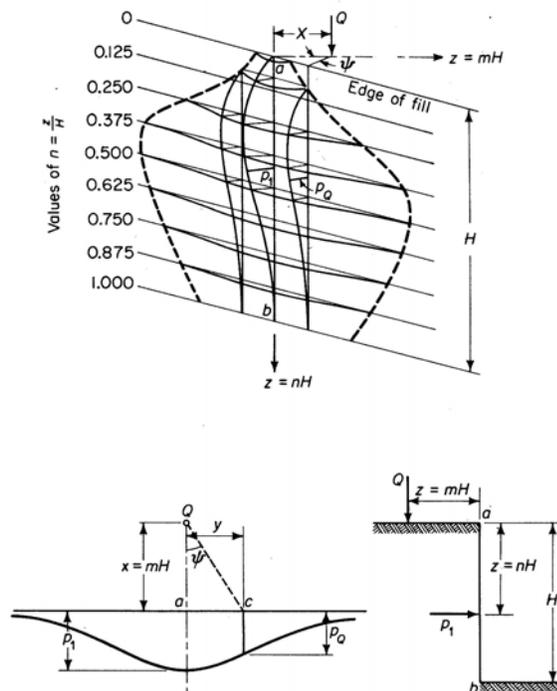
$$p_1 = 1.77 \frac{Q}{H^2} \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3} \quad (m > 0.4) \quad \dots(2.12)$$

$$p_1 = 0.28 \frac{Q}{H^2} \frac{n^2}{(0.16 + n^2)^3} \quad (m < 0.4) \quad \dots(2.13)$$

Tekanan horizontal di titik-titik lain pada kedua sisi garis ab lebih kecil dibandingkan p_1 pada kedalaman yang sama, dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$p_Q = p_1 \cos^2 (1.1\psi) \quad \dots(2.14)$$

Notasi-notasi yang digunakan dalam persamaan diatas dijelaskan melalui Gambar 2.7.



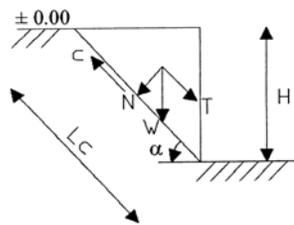
Gambar 2.7. Tekanan Lateral Akibat Beban Titik [3]

2.4. Macam-Macam Metode Galian yang Digunakan di Surabaya

Berdasarkan data sondir pada penelitian Setiobudi. M dan Wahono.Y.B [12] jenis tanah di Surabaya pada lapisan atas merupakan lapisan tanah lempung yang cukup tebal sehingga pada penelitian ini semua analisa difokuskan pada perhitungan tanah liat.

A. **Vertical cut.** Galian *vertical cut* merupakan galian yang termurah. Adapun perhitungan kelongsoran galian *vertical cut* meliputi:

- a.) Kelongsoran galian diasumsikan sebagai bidang datar pada dasar galian sepanjang kemiringan galian. Bidang kelongsoran galian dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada gambar tersebut ditunjukkan gaya berat tanah di atas bidang longsor (W), gaya pelongsor (T), gaya normal tanah di atas bidang longsor (N), sudut bidang longsor (α), dan tinggi galian (H).



Gambar 2.8. Bentuk Bidang Longsor Datar [4]

Maka angka keamanan (F_s) dapat dituliskan dalam bentuk:

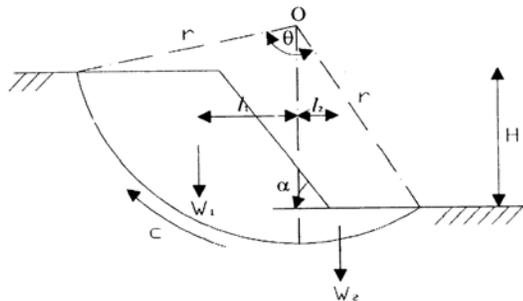
$$F_s = [c \times L_c \times \tan(45^\circ + \varphi/2)] / (T + P \sin \alpha) \quad \dots(2.15)$$

dimana c = kohesi;

φ = sudut geser tanah;

L_c = panjang bidang longsor.

- b.) Kelongsoran galian diasumsikan sebagai lingkaran.



Gambar 2.9. Bentuk Bidang Longsor Lingkaran

Pada Gambar 2.9, bidang longsor berbentuk lingkaran dengan titik pusat lingkaran O, jari-jari lingkaran (r), sudut bidang longsor (θ), gaya berat tanah di atas bidang longsor (W_1, W_2), jarak antara titik berat tanah di atas bidang longsor dengan titik O (l_1, l_2), dan nilai kohesi (c). Angka keamanan galian (F_s) sama dengan satu apabila momen pada titik pusat lingkaran sama dengan nol, sehingga:

$$F_s = \frac{\text{Momen.Penahan}}{\text{Momen.Pelongsor}} = \frac{(c \times r) + W_2 \times l_2}{W_1 \times l_1} \dots\dots(2.16)$$

B. Turap (*Sheet pile*). Yang dimaksud dengan *sheet pile* adalah suatu konstruksi sementara atau permanen yang terbuat dari baja, kayu maupun beton bertulang yang digunakan untuk menahan tekanan tanah atau air, seperti penahan tebing galian dan bendungan supaya tidak berakibat kelongsoran dan terjadinya rembesan air. Stabilitas *sheet pile* didapat dari reaksi horizontal tanah di bawah galian atau dari ankur.

Turap Kantilever

Pada turap kantilever, kestabilan turap sepenuhnya ditahan oleh tekanan tanah pasif yang berada di muka dindingnya. Turap tipe ini biasanya digunakan untuk kedalaman galian tanah yang tidak terlalu dalam. Kedalaman galian dapat mempengaruhi panjang dari turap kantilever. Bila kedalaman galian semakin dalam maka turap yang dibutuhkan semakin panjang dan mengakibatkan bertambahnya momen lentur. Pada pemakaian turap kantilever, pergeseran arah lateral relatif besar.

Pada umumnya tanah di Surabaya merupakan tanah kohesif dan lapisan pasir berada pada lapisan tanah yang paling dalam. Perencanaan turap kantilever pada tanah kohesif sangat kompleks karena kuat geser lempung berubah menurut waktu, dimana dengan sendirinya tekanan tanah lateral yang bekerja pada turap kantilever juga akan berubah, maksudnya tekanan tanah pada saat turap selesai dipancang akan berbeda dengan tekanan tanah yang bekerja setelah waktu yang lama.

Sesuai dengan teori Rankine, besar tekanan tanah pasif dan tekanan tanah aktif dinyatakan oleh Persamaan 2.4 dan 2.5. Kedalaman turap yang tertanam dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi jumlah gaya-gaya horizontal sama dengan nol.

Turap dengan Angkur

Turap dengan angkur sangat cocok untuk galian dalam, namun tergantung pada jenis tanah galian dan kondisi sekitarnya. Turap dipancang berderet kemudian dilakukan penggalian. Angkur diletakkan pada bagian atas turap dengan kedalaman tertentu dan ukuran diameter angkur tanah yang menembus tanah tergantung dari besarnya tekanan tanah.

Stabilitas dan tekanan-tekanan pada turap dengan angkur tergantung pada interaksi faktor-faktor kekakuan relatif dari bahan turap, kedalaman turap yang tertanam, kemudah-mampatan tanah, kuat geser tanah, kelelahan angkur, kedalaman angkur dari permukaan galian dan lain-lain.

Ada dua metode perhitungan untuk turap dengan angkur, yaitu metode ujung bebas (*free end method*) dan metode ujung tetap (*fixed end method*). Metode ujung tetap hanya tepat diterapkan pada turap yang dipancang di dalam tanah granular dan diurug dengan tanah granular. Oleh karena itu, untuk jenis tanah di Surabaya yang pada umumnya tanah kohesif digunakan metode ujung bebas.

Dalam analisa *free end method* dianggap bahwa turap yang tertanam di bawah galian tanah tidak cukup untuk menahan tekanan yang terjadi di bagian bawah ujung turap. Metode *free end method* ini didasarkan pada beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Turap merupakan bahan yang sangat kaku dibandingkan dengan tanah disekitarnya.
2. Turap dapat berotasi dengan bebas, tetapi tidak diijinkan bergerak secara lateral di tempat angkurnya. Pada kapasitas *ultimatenya*, turap runtuh oleh gerakan ke arah luar di lokasi angkurnya.
3. Tekanan tanah yang bekerja pada dinding dapat dihitung dengan teori Rankine dan Coulomb.

Masalah yang mendasar pada metode ini adalah memperkirakan kedalaman minimum *embedment depth* yang dibutuhkan untuk stabilitas, gaya

yang harus diberikan pada angkur, dan momen maksimum pada turap. Pada metode ini, distribusi dari tekanan tanah pasif dan aktif diasumsikan hidristatis.

C. *Bored pile walls*. Ide dasar penggunaan *bored pile walls* sebagai struktur penahan tanah berawal dari penggunaan *bored pile walls* sebagai pondasi konvensional. Sebagai struktur penahan tanah, *bored pile walls* dapat digunakan pada hampir semua jenis tanah dan segala jenis lapangan. Pada lahan yang padat dan ramai, *bored pile walls* cocok digunakan karena tidak menimbulkan kebisingan selama pelaksanaan.

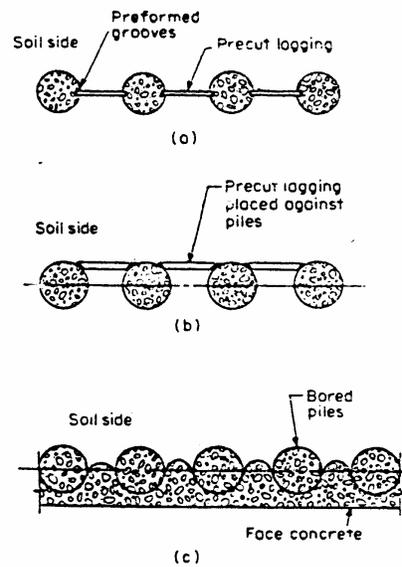
Bored pile walls dapat dibuat dalam berbagai macam konfigurasi sesuai dengan kebutuhan dan jenis tanahnya:

1. *Contiguous walls*, dengan *piles* yang saling bersinggungan.
2. *Intermitten walls*, dengan *piles* dapat dipasang dengan jarak sedikit lebih besar daripada diameternya.

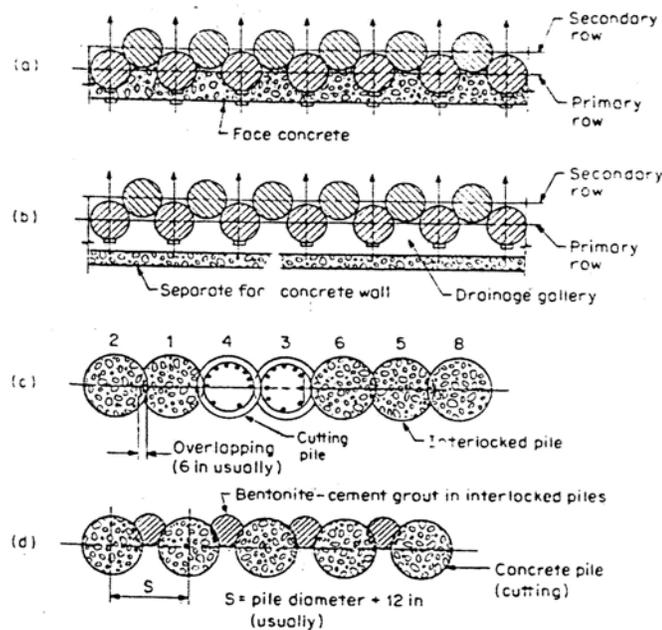
Untuk meningkatkan kestabilan terhadap guling, *bored pile walls* dapat dipasang miring membentuk suatu sudut terhadap vertikal.

Konfigurasi dan tipe *pile* ditentukan oleh beban yang bekerja, kondisi tanah dan metode pelaksanaan. Konfigurasi dari tiga tipe dasar *pile* dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan 2.11. *Intermitten walls* yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dilengkapi dengan *pre-cut lagging* yang dipasang seperti pada (a) dan (b) atau menggunakan *face wall* seperti pada (c).

Pada Gambar 2.11(a) dan (b), *Bored piles* pada barisan utama (*primary row*) dibuat lebih dulu dengan jarak antar *pile* lebih kecil dari diameternya. Kemudian *bored piles* pada *secondary row* diletakkan dengan posisi seperti pada gambar. Setelah itu ditambahkan *face concrete* atau *separate for concrete wall* pada sisi luar *bored pile walls*, Gambar 2.11. Metode *secant pile wall* digunakan untuk keadaan tanah yang jelek atau dimana dituntut kondisi yang kedap air.



Gambar 2.10. Macam-Macam *Bored Pile Wall*: (a) Dinding dengan *Lagging* yang disisipkan; (b) Dinding dengan *Pre-cut Lagging* yang Dipasang di Depan *Pile*; (c) Dinding dengan *Concrete Face Wall* [6]



Gambar 2.11. Dinding *Contiguous Bored-Pile*: (a) *Tangent Wall* dengan *Concrete Face* di Depan *Pile*; (b) *Tangent Wall* dengan *Separate Concrete Face* untuk Mengontrol *Seepage*; (c) *Secant Wall* dengan *Pile* Berdiameter Sama; (d) *Secant Pile* dengan Material yang Berbeda [6]