

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan komponen penting dalam sistem lahan dimana tanah dapat didefinisikan sebagai tubuh alam yang berdimensi dalam dan luas yang merupakan hasil dari proses pelapukan dan sintesis bahan-bahan asalnya yang secara fisik menjadi tempat tumbuh tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan udara, secara kimia menyediakan unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman dan secara biologi menjadi habitat bagi organisme yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara (Sandil et al., 2021).

Tanah merupakan komponen dasar yang memiliki peranan penting, tanah berfungsi sebagai penerima beban struktur di atasnya. Tanah yang baik adalah tanah yang memiliki daya dukung tanah yang tinggi, akan tetapi tidak semua jenis tanah memiliki daya dukung tanah yang tinggi, hal ini dikarenakan letak geografis yang berbeda dan tidak semua tanah mendapatkan treatment yang sama. Sifat kembang susut tanah lempung ekspansif menimbulkan permasalahan pada bidang konstruksi seperti terjadinya gelombang- gelombang pada permukaan jalan, terjadinya retak-retak (*cracking*) dan berbagai masalah lainnya, oleh karena itu perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk memperbaiki perilaku tanah tersebut (Fathonah et al., 2018).

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Tanah berbutir kasar dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran butiran. Bergantung klasifikasi yang digunakan, jika dipakai *MIT no-menclature*, butiran-butiran yang berdiameter lebih besar dari 2 mm, diklasifikasikan sebagai kerikil. Jika butiran dapat dilihat oleh mata, tetapi ukurannya kurang dari 2 mm, disebut pasir. Tanah pasir disebut pasir kasar jika berdiameter antara 0,6 – 0,2 mm, dan pasir halus bila diameternya 0,2 mm - 0,06 mm.

Dalam ASTM D2847, pembagian klasifikasi butiran tanah adalah sebagai berikut :

1. *Cooble* adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 12 in (300 mm) dan tinggal dalam saringan 3 in (75 mm) (untuk saringan lubang bujursangkar untuk standar Amerika)
2. *Boulder* adalah partikel-partikel batuan yang tidak lolos saringan 12 in (300 mm) (untuk saringan dengan lubang bujursangkar untuk standar Amerika)
3. Kerikil adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 3 in (75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 4 (4,75 mm)
4. Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tinggal dalam saringan 200 (0,0075 mm), dengan pembagian sebagai berikut :
 - a) Pasir kasar – butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan dalam saringan no.10 (2 mm)
 - b) Pasir sedang – butirannya lolos saringan no.10 (2 mm) tapi tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm)
 - c) Pasir halus – butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan di saringan no. 200 (0,075 mm)
5. Lanau adalah tanah yang butirannya lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Untuk klasifikasi, lanau adalah tanah berbutir halus atau fraksi halus dari tanah dengan indeks plastisitas kurang dari 4, atau jika diplot dalam grafik plstisitas letaknya dibawah garis miring yang memisahkan antara lanau dan lempung.
6. Lempung adalah tanah berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Lempung mempunyai sifat plastis dalam kisaran kadar air tertentu, dan kekuatannya tinggi bila tanah pada kondisi kering udara.

Menurut Fauziek & Suhendra (2018), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).

4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.1.3 Sifat-Sifat Teknis Tanah

Menurut Rochmawati & Irianto (2022). Sifat fisis tanah yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah yang ada. Sedangkan sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis.

1. Kadar air Pada dasarnya tanah terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian padat dan bagian rongga. Bagian padat terdiri dari partikel-partikel tanah yang padat sedangkan bagian rongga terisi oleh air dan udara. Untuk menentukan suatu kadar air dari tanah tersebut dapat dilakukan pengujian sampel tanah dengan membandingkan antara berat yang terkandung dalam tanah dengan berat butir tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Kadar air tanah ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah. Sedangkan pengeringan untuk benda uji yang tidak mengandung bahan organik dilakukan di atas kompor atau dibakar langsung setelah disiram dengan spiritus. Lakukan penimbangan dan pengeringan secara berulang-ulang sehingga mencapai berat yang tetap.
2. Berat jenis Menentukan berat jenis tanah ialah dengan mengukur berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah asli biasanya dipakai

sebuah cincin yang dimasukkan kedalam tanah sampai terisi penuh, kemudian atas dan bawahnya diratakan dan cincin serta tanahnya.

3. Analisa saringan Dalam analisis saringan, sejumlah saringan yang memiliki ukuran lubang berbeda-beda disusun dengan ukuran yang terbesar di atas yang kecil. Penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Tanah digolongkan ke dalam empat macam pokok sebagai berikut:
 - a) Batu kerikil dan pasir Golongan ini terdiri dari pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan batu.
 - b) Lempung Lempung terdiri dari butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat plastisitas dan kohesif. Kohesif menyatakan bahawa bagian itu melekat satu sama lainnya. Sedang plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan dapat diubah tanpa perubahan isi dan tanpa terjadi retakan.
 - c) Lanau Merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan mudah ditembus air dari pada lempung dan memperlihatkan sifat dilatasi yang tidak terdapat dalam lempung.
4. Analisa hydrometer Analisa hydrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air . Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.
5. Batas cair Batas cair tanah adalah kadar air minimum di mana sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Besaran batas cair digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah. Konsistensi dari lempung dan tanah-tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air dari tanah. Untuk mengatur kadar air tanah yang bersangkutan agar memenuhi persyaratan sangatlah sulit. Oleh karena itu, akan lebih baik jika dilakukan uji batas cair paling sedikit empat kali pada tanah yang sama

tetapi pada kadar air yang berbeda-beda sehingga jumlah pukulan N yang dibutuhkan untuk menutup goresan bervariasi antara 15-35.

6. Batas plastis Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum di mana suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8" (3,2 mm) menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah.
7. Kuat geser tanah Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi dan apabila distorsi yang terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpeleket satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser. Dalam hampir semua jenis tanah daya dukungnya terhadap tegangan tarik sangat kecil atau bahkan tidak mampu sama sekali. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng (*slope stability*).
8. *Triaxial Unconsolidated Undrained* adalah salah satu metode pengujian yang bertujuan untuk mencari properties tanah yang terdiri dari parameter c (kohesi) dan ϕ (sudut geser dalam). Pengujian triaksial uu merupakan satu langkah untuk pengujian kuat geser tanah. Pada pengujian triaksial uu, benda uji awal mula dibebani dengan tegangan sel lalu dibebani dengan beban normal, lewat aplikasi tegangan deviator sampai meraih keruntuhan. Pada aplikasi tegangan deviator sepanjang penggeserannya tidak diperbolehkan air keluar dari benda ujinya serta sepanjang pengujian katup drainase ditutup. Karena pada pengujian air tidak diperbolehkan mengalir keluar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya. Kondisi tanpa ada

drainase ini mengakibatkan ada desakan keunggulan desakan pori dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya.

2.2 Lereng

2.2.1 Pengertian Lereng

Lereng adalah bagian yang miring atau sisi yang landai pada sebuah bukit, gunung, perbukitan, ataupun pegunungan. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia untuk tujuan tertentu. Contoh lereng yang terbentuk secara alami adalah tebing sungai dan bukit. Sedangkan contoh dari lereng yang sengaja dibuat oleh manusia untuk tujuan tertentu adalah bendungan, tanggul sungai, serta galian timbunan untuk membuat jalan raya. Kondisi lereng yang tidak stabil berpotensi untuk memicu bencana longsor. Menurut SNI 8460-2017 Badan Standardisasi Nasional (2017), pembagian lereng dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Lereng Alam

Lereng alam terbentuk akibat kegiatan alam (erosi, gerakan tektonik, dan sebagainya). Material yang membentuk lereng memiliki kecenderungan tergelincir akibat beratnya sendiri dan gaya-gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material tersebut. Gangguan terhadap kestabilan terjadi bilamana tahanan geser tanah tidak dapat mengimbangi gaya-gaya yang menyebabkan gelincir pada bidang longsor.

2. Lereng Buatan

a) Lereng Galian

Lereng galian terbentuk akibat kegiatan penggalian atau pemotongan pada tanah asli. Perancangan pemotongan lereng galian yang dimaksud adalah usaha untuk membuat suatu lereng dengan kemiringan tertentu yang cukup aman dan ekonomis. Stabilitas pemotongan ditentukan oleh kondisi geologi, sifat teknis tanah, tekanan air akibat rembesan, dan cara pemotongan.

b) Lereng Timbunan

Lereng timbunan umumnya digunakan untuk badan jalan raya, jalan kereta api, dan bendungan tanah. Sifat teknis lereng timbunan dipengaruhi oleh jenis tanah, cara penimbunan dan derajat kepadatan tanah. Analisis secara terpisah harus dilakukan pada lereng timbunan, yaitu pada kondisi jangka pendek (saat

penimbunan selesai), kondisi jangka panjang, kondisi penurunan muka air seketika (*sudden draw-down*), dan gangguan gempa.

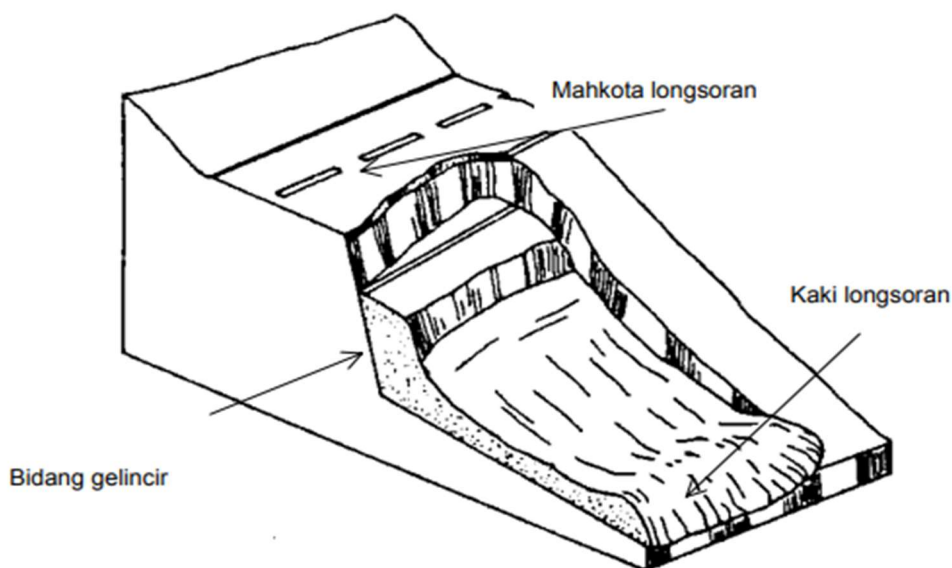
2.2.2 Keruntuhan Lereng

Keruntuhan lereng adalah suatu proses pergerakan dan perpindahan massa tanah atau batuan yang dapat terjadi dengan variasi kecepatan dari sangat lambat sampai sangat cepat dan tidak terkait banyak dengan kondisi geologi lokal. Keruntuhan bersifat lokal atau skala kecil dan umumnya terjadi pada lereng galian atau timbunan yang dibuat manusia.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2005), Klasifikasi berdasarkan pola pergerakan terbagi dalam tiga jenis, yaitu gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*) dan aliran (*flow*) :

1. Gelincir (*Slide*)

Gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir. Jenis-jenis gelincir berupa translasi, rotasi atau kombinasi keduanya (majemuk). Keruntuhan translasi ada yang berbentuk gelincir baji (*wedge slides*), jenis ini terjadi ketika massa tanah atau batuan terpecah belah sepanjang kekar-kekar (*joints*), sisipan (*seams*), rekahan (*fissures*) atau zone lemah sebagai akibat, misalnya, pembekuan air. Massa yang terpecah bergerak sebagai blok dan bergerak turun dalam bentuk baji seperti pada (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 : Keruntuhan Translasi

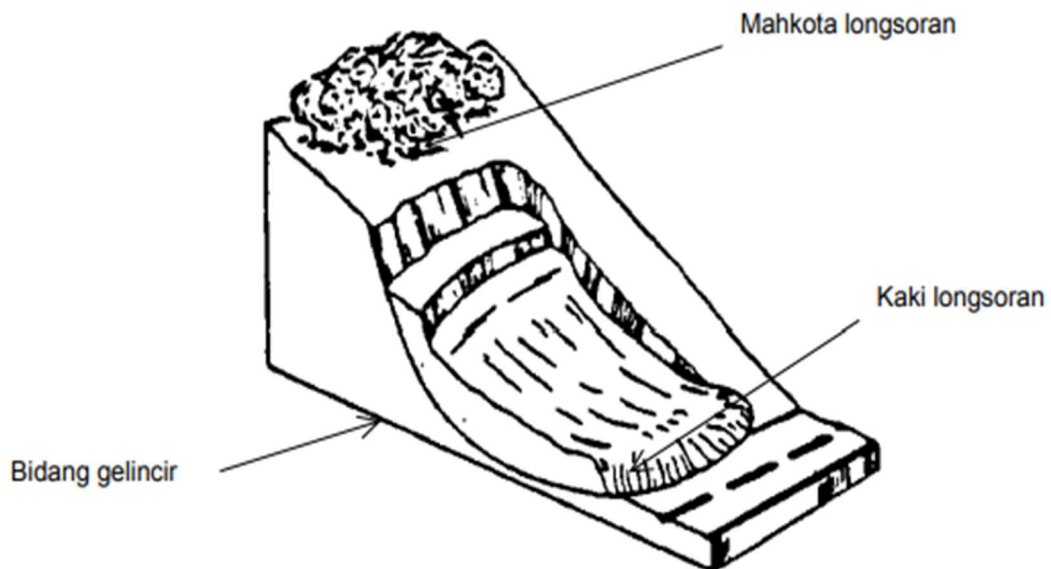
2. Gelincir Rotasi

a. Rotasi Pada Batuan

Tipe ini ditandai dengan adanya bentuk “sendok”. Bagian lereng atas terbentuk “gawir” melengkung dan di bagian tengah longsor terdapat bagian yang labil dan nampak adanya gelombang yang tidak rata (*bulging*). Jenis keruntuhan lereng ini sangat umum terjadi pada batuan contohnya pada serpih lapuk (*shale-marine*) dan mengalami retakan cepat. Gerakannya progresif serta meliputi daerah yang cukup luas. lereng ini sangat umum terjadi pada batuan contohnya pada serpih lapuk (*shale-marine*) dan mengalami retakan cepat. Gerakannya progresif serta meliputi daerah yang cukup luas.

b. Rotasi Pada Tanah

Tipe ini ditandai dengan adanya bidang gelincir lengkung dan gerakan rotasi. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng rotasi adalah gaya-gaya rembesan air tanah atau kemiringan lereng yang bertambah pada tanah residual. Bidang gelincir yang dalam biasanya terjadi pada tanah lempung lunak dan kenyal. Keruntuhan lereng rotasi pada tanah koluvial biasanya dangkal seperti pada (Gambar 2.2).

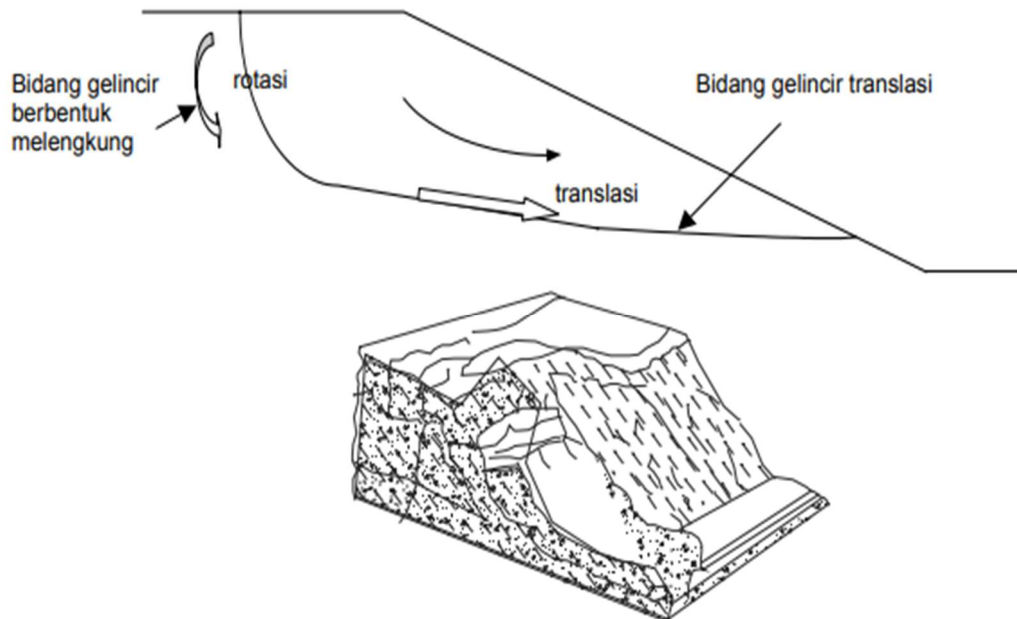


Gambar 2.2 : Tipe Keruntuhan Gelincir Rotasi

Contoh gelincir yang termasuk dalam gelincir rotasi adalah nendatan (*slump*), yaitu pergerakan tanah/batuan ke arah bawah dan keluar. Jumlah bidang gelincir yang terjadi adalah satu atau lebih.

c. Gelincir Kombinasi

Gelincir kombinasi merupakan bentuk gabungan gelincir translasi dan rotasi. Tipe gelincir ini terjadi pada tanah maupun batuan lapuk (Gambar 2.3).

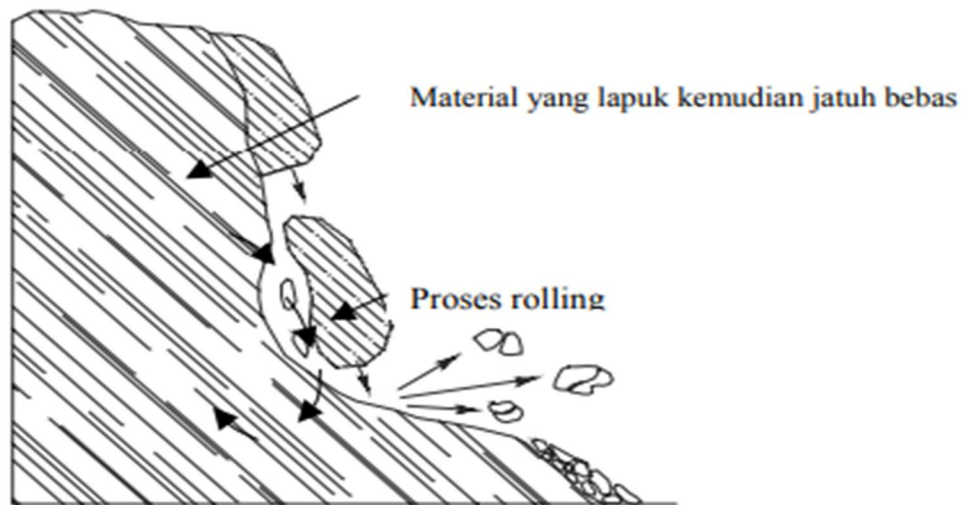


Gambar 2.3 : Tipe Keruntuhan Kombinasi

3. Jatuhan

Jatuhan pada lereng merujuk pada fenomena gerakan massa tanah atau batuan menuruni lereng akibat gravitasi, sering disebut longsor atau *mass wasting*, yang bisa terjadi pada lereng alami atau buatan manusia (seperti galian atau timbunan), dipicu oleh faktor seperti curah hujan tinggi, beban berlebih (bangunan, jalan), atau perubahan struktur tanah/batuan. Jenis-jenis jatuhan ini meliputi longsor tanah, jatuhan batu (*rockfall*), dan robohan (*topple*), yang dapat membahayakan infrastruktur dan permukiman.

Termasuk ke dalam kategori jatuhan adalah jatuh bebas (*free fall*) dan rolling serta jungkiran. Jatuh bebas dan rolling adalah material jatuh bebas yang kehilangan kontak dengan permukaan batuan. Pergerakan massa bergerak dari ketinggian tertentu melalui udara (Gambar 2.4)



Gambar 2.4 : Tipe Gerakan Keruntuhan Jatuhan

4. Aliran (*Flow*)

Aliran adalah suatu material lepas (batuan lapuk atau tanah) yang setelah mengalami proses penjenruhan akan mengalir seperti sifatnya fluida. Jenis aliran adalah sebagai berikut:

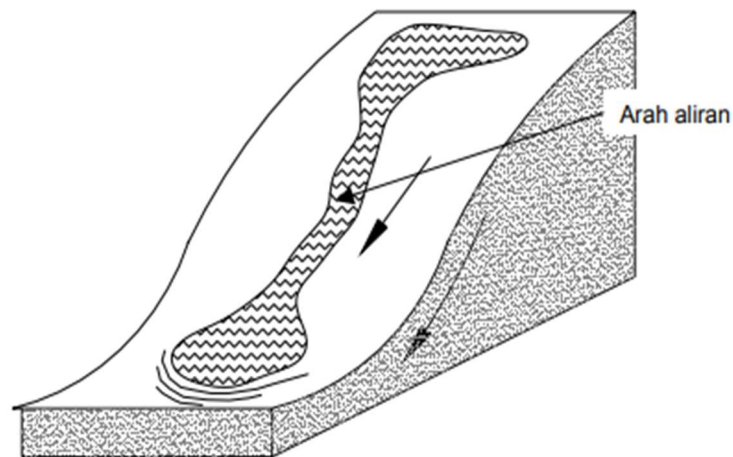
a) Aliran Batuan Lapuk atau Material Lepas

Aliran pada batuan lapuk termasuk ke dalam deformasi yang terus menerus, termasuk juga rangkak. Aliran jenis ini umumnya melibatkan rangkak dalam yang lambat dan perbedaan pergerakan antara unit –unit yang utuh. Ciri-ciri pergerakan aliran pada batuan lapuk adalah:

- 1) terjadi di sepanjang permukaan geser yang tidak saling berhubungan.
- 2) distribusi kecepatan mirip aliran fluida yang kental.

b) Aliran pada Tanah

Aliran pada tanah adalah pergerakan material yang menyerupai fluida kental. Permukaan gelincir pada bidang material yang bergerak dapat berupa permukaan tajam, perbedaan pergerakan atau suatu zona distribusi geser. Rentang pergerakan mulai dari sangat cepat sampai sangat lambat (Gambar 2.5).



Keterangan : Gambar arsiran menunjukkan bentuk keruntuhan yang tidak berpola.

Gambar 2.5 : Tipe keruntuhan lereng bentuk keruntuhan yang tidak berpola.

2.2.3 Penyebab Ketidakstabilan Lereng

Berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (2005), Secara umum, terdapat empat penyebab utama terjadinya ketidakmantapan lereng, yaitu :

1. Kondisi tanah/batuan setempat
 - Lunak dan lemah, sensitif dan material telah lapuk
 - Adanya retakan, kekar dan patahan
 - Variasi sifat fisik (permeabilitas, plastisitas, mineral dan sebagainya)
2. Morfologi
 - Pergerakan/pengangkatan permukaan tanah akibat gerak tektonik atau vulkanik aktif
 - Proses erosi (penggerusan lateral)
 - Proses penggerusan vertikal (scouring)
 - Penambahan beban tanah / tanah buangan di daerah puncak lereng
 - Pengupasan vegetasi akibat kekeringan atau kebakaran
3. Kondisi fisik di sekitar lereng
 - Hujan yang deras dan lama (banjir)
 - Drawdown yang cepat
 - Gempa bumi
 - Letusan gunung berapi
 - Kembang susut batuan lempeng marin

- Tekanan artesis
4. Ulah manusia (man-made)
 - Penggalian di kaki lereng
 - Penambahan beban di bagian atas lereng
 - Penggundulan hutan
 - Adanya irigasi di bagian atas lereng
 - Adanya kegiatan penambangan
 - Air yang bocor dari utilitas (PDAM)

2.2.4 Pencegahan Keruntuhan Lereng

Menurut Sholehah et al. (2020), Untuk mengurangi risiko longsor, berbagai upaya teknis dan non-teknis dapat dilakukan dengan pendekatan geoteknik yang terintegrasi. Beberapa metode yang sering diterapkan antara lain:

1. Perkuatan Penguatan lereng dapat dilakukan dengan menggunakan struktur penahan, seperti dinding penahan tanah atau groin, serta penanaman vegetasi untuk meningkatkan kohesi tanah. Vegetasi, terutama pohon dengan akar yang dalam, dapat memperkuat struktur tanah dan mengurangi erosi.
2. Sistem drainase yang baik sangat penting untuk mengalirkan air hujan agar tidak menggenang di lereng. Pemasangan saluran drainase atau sumur resapan dapat membantu mengurangi kadar air dalam tanah dan mencegah jenuh air yang menyebabkan longsor.
3. Pemantauan terhadap kondisi lereng sangat penting dalam menghadapi curah hujan ekstrem. Teknologi pemantauan modern, seperti sensor geoteknik dan pemodelan komputer, dapat membantu memantau pergerakan tanah dan mendeteksi potensi longsor lebih dini. Analisis geoteknik secara rutin dapat memberikan data yang diperlukan untuk perencanaan penguatan lereng yang lebih efektif.
4. Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali, seperti pembukaan lahan pertanian di lereng curam atau pembangunan infrastruktur yang mengganggu kestabilan tanah, dapat memperburuk kondisi stabilitas lereng. Oleh karena itu, perencanaan pembangunan yang memperhatikan aspek geoteknik sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan keamanan.

2.2.5 Stabilitas Lereng

Stabilitas tanah pada suatu lereng dapat terganggu akibat adanya pengaruh alam, iklim dan aktivitas manusia. Lereng dapat dianalisis melalui perhitungan Faktor Keamanan dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah dan bentuk geometri lereng. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya terhadap lingkungan disekitarnya sehingga mengetahui nilai faktor aman dari lereng tersebut sangat penting. Nilai faktor aman dapat diketahui dengan menghitung besar geser kestabilan lereng dan kuat geser yang menyebabkan longsor (Agnes T Mandagi et al., 2023)

2.3 Dinding Penahan Tanah

2.3.1 Pengertian Dinding Penahan Tanah

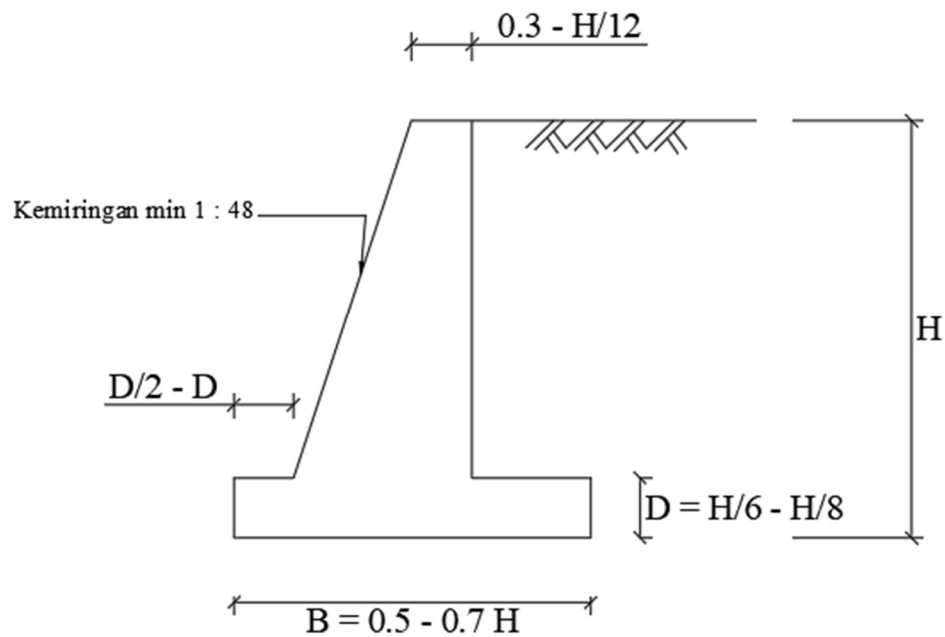
Bangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*) biasanya digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang tidak stabil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat struktur itu sendiri dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi. Ketika kondisi tanah terganggu akibat beberapa hal tertentu, seperti beban gempa, mesin yang menghasilkan getaran, peledakan, air tanah dan lain-lain yang dapat menurunkan sifat fisik dan sifat mekanik dari parameter tanah, akan terjadi kerusakan struktur dan membahayakan jiwa manusia. Perlu dihitung dan direncanakan kestabilan dari struktur pada dinding penahan tanah agar mampu menahan beban dari tanah dan pengaruh beban luar (Sari et al., 2020).

2.3.2 Tipe-Tipe Dinding Penahan Tanah

Menurut Bahtiar (2020), secara umum dinding penahan tanah terbagi dari beberapa tipe sebagai berikut :

1. Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (*Gravity Wall*)

Dinding ini terbuat atas pasangan batu atau beton tanpa tulangan; Kadang-kadang, tulangan ditempelkan di permukaan dinding guna mencegah keretakan permukaan yang disebabkan oleh fluktuasi suhu. Untuk dinding penahan tanah tipe gravitasi, dimensi tertinggi bervariasi, tetapi umumnya dinding gravitasi efektif hingga ketinggian sekitar 3-4 meter (sekitar 10-12 kaki), dengan lebar dasar proporsional ($0,5$ hingga $0,7 H$) (Gambar 2.6).

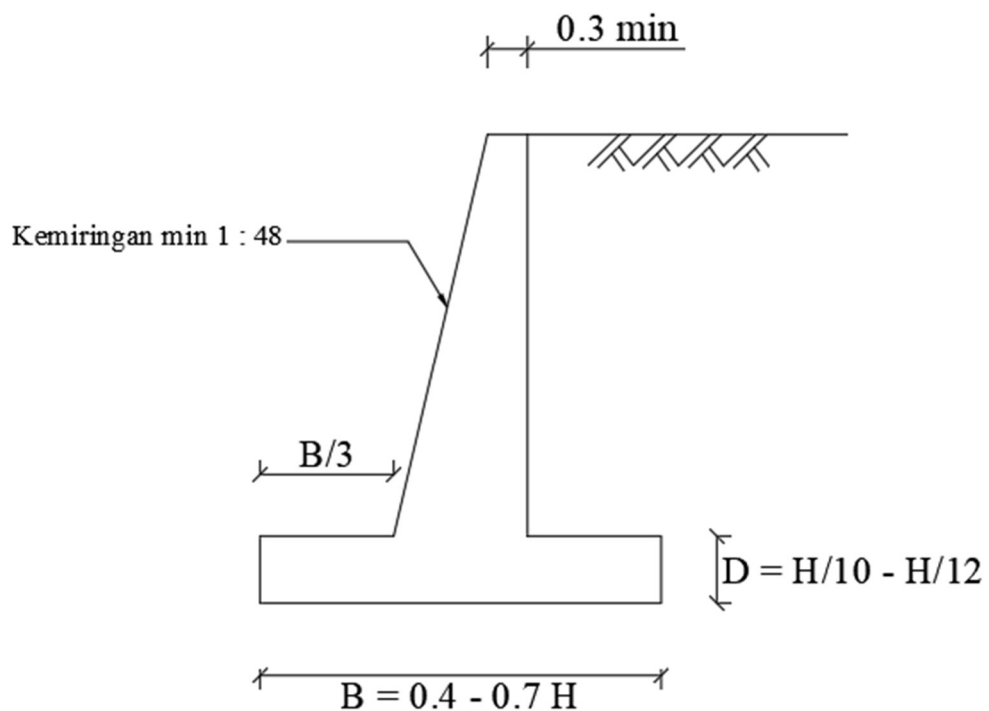


Gambar 2.6 : Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (*Gravity Wall*)

2. Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever (*Cantilever Wall*)

Tembok ini tersusun atas rangkaian dinding beton bertulang berbentuk huruf T. Berat sendiri dinding penahan juga berat tanah di atas tumit tapak (neraka) memberikan kestabilan konstruksi. Tumit tapak, ujung tapak, dan dinding vertikal (stem) merupakan tiga elemen struktur penopang. Tembok ini biasanya tidak lebih tinggi dari enam atau tujuh meter.

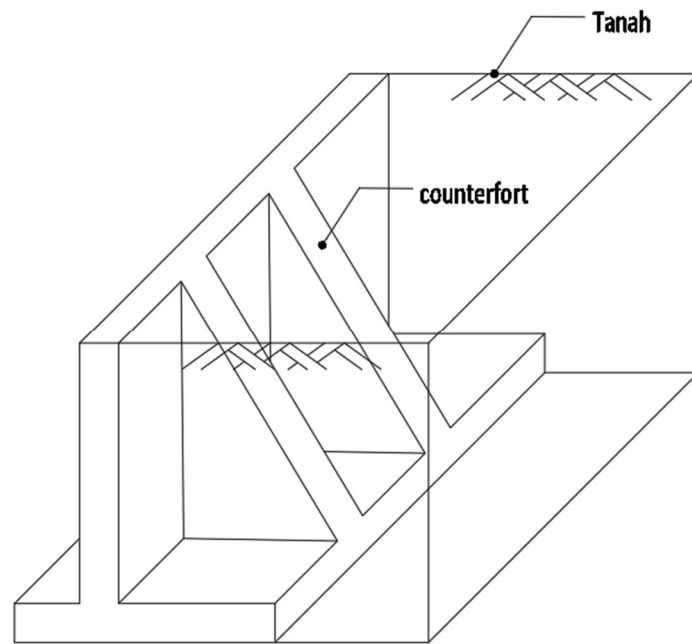
Dinding penahan tanah tipe gravitasi tipe tertinggi umumnya mencapai 6 hingga 8 meter (sekitar 20-26 kaki) karena stabilitasnya bergantung pada massa tanah di atas pelat dasar dan desain beton bertulang, menjadikannya ekonomis untuk ketinggian sedang hingga tinggi, namun untuk ketinggian lebih dari 8 meter, seringkali diperlukan modifikasi atau tipe dinding lain. Dimensi utamanya meliputi stem (dinding vertikal) yang relatif tipis, pelat dasar (*base slab*) yang lebar (*heel*/tumit dan *toe*/ujung kaki), dan stabilitas diperoleh dari bobot tanah di atas tumit pelat, (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 : Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever (*Cantilever Wall*)

3. Dinding Penahan Tanah Tipe *Counterfort*

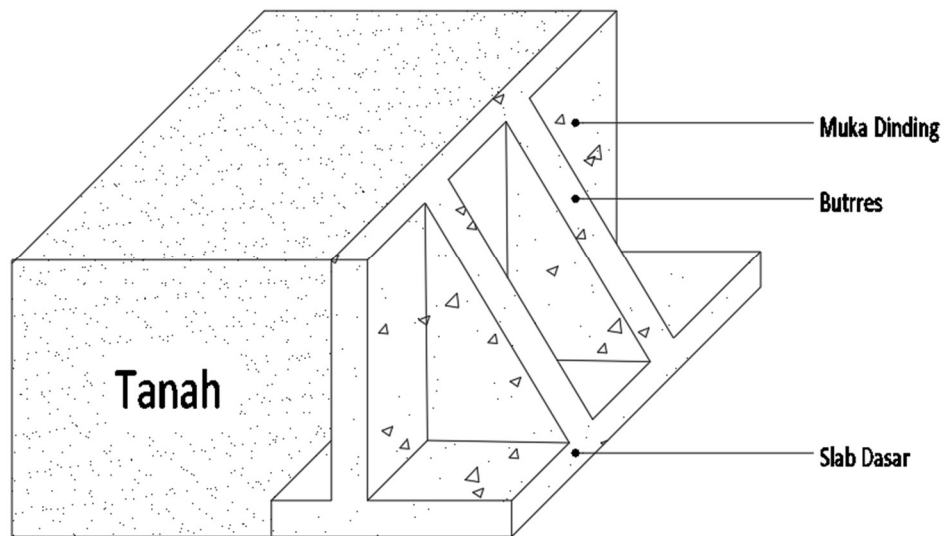
Dinding ini tersusun atas dinding tipis beton bertulang yang ditopang atas jarak tertentu dari dalam atas pelat ataupun dinding vertikal yang dikatakan counterfort (dinding penguat). Tanah dari tanggul mengisi area di atas pelat pondasi. Dinding vertikal dan bagian tumit harus dihubungkan satu sama lain jika tekanan tanah aktif di dinding cukup tinggi. Counterfort dimasukkan ke dalam tanggul pada interval tertentu dan berfungsi sebagai pengikat tarik untuk dinding vertikal. Jika tinggi dinding lebih besar dari tujuh meter, penggunaan dinding *counterfort* akan lebih hemat biaya, (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 : Dinding Penahan Tanah Tipe *Counterfort*

4. Dinding Penahan Tanah Tipe *Buttress*

Kecuali penempatan counterfort di depan tembok, dinding penopang dan dinding counterfort hampir identik. Struktur counterfort berfungsi untuk membawa tegangan tekan dalam hal ini. Tumitnya sepuluh kali lebih pendek dari ujung kaki di dinding ini. Berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit lokasi memberikan stabilitas pada konstruksi. Untuk mengurangi gaya baji yang bekerja pada dinding memanjang dan pelat lantai, maka dinding ini dibangun pada sisi dinding yang mengalami tekan. Untuk ketinggian di atas tujuh meter, tembok ini lebih hemat biaya. Kekurangan dari tembok ini adalah membutuhkan lebih banyak pekerjaan untuk menopangnya dibandingkan dengan jenis lainnya, dan lebih sulit untuk memadatkan tanah dengan cara menggulungnya ke belakang, dapat dilihat pada (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 : Dinding Penahan Tanah Tipe *Buttres*

2.3.3 Implementasi Dinding Penahan Tanah

Pada umumnya dinding penahan tanah ini dibangun untuk menstabilkan lereng atau tanah yang tidak stabil dan mencegah longsor akibat tekanan tanah, berat air, dan beban di atasnya, sehingga menciptakan lahan datar untuk bangunan, jalan, atau taman serta mencegah erosi dan banjir, menjamin keamanan infrastruktur, serta meningkatkan nilai estetika dan fungsi lahan (Diwalkar, 2020).

2.3.4 Tekanan Tanah Lateral

Gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah, yang dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanah.

Tekanan tanah lateral adalah sebuah parameter perencanaan yang penting di dalam sejumlah persoalan teknik pondasi, dinding penahan dan konstruksi – konstruksi lain yang ada di bawah tanah. Semuanya ini memerlukan perkiraan tekanan lateral secara kuantitatif pada pekerjaan konstruksi, baik untuk analisa perencanaan maupun untuk analisa stabilitas. Tekanan aktual yang terjadi di belakang dinding penahan cukup sulit diperhitungkan karena begitu banyak variabelnya. Ini termasuk jenis bahan penimbunan, kepadatan dan kadar airnya, jenis bahan di bawah dasar pondasi, ada tidaknya beban permukaan, dan lainnya. Akibatnya, perkiraan detail dari gaya lateral yang bekerja pada berbagai dinding penahan hanyalah masalah teoritis dalam mekanika tanah. (Sulistiyani, 2018)

Menurut Sulistyani (2018), Tekanan pada tanah terbagi menjadi 2 macam yaitu Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif.

1. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan Tanah Aktif terjadi akibat dinding penahan berotasi ke kiri terhadap titik A, maka tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan akan berkurang perlahan-lahan sampai mencapai suatu harga yang seimbang. Tekanan tanah yang mempunyai harga tetap atau seimbang dalam kondisi ini disebut tekanan tanah aktif. Menurut teori Rankine, untuk tanah berpasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah aktif pada dinding setinggi H dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana harga K_a untuk tanah datar adalah

$$K_a = \text{Koefisien tanah aktif} \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

γ = berat isi tanah (g/cm³)

H = tinggi dinding (m)

Φ = sudut geser tanah (°)

Adapun langkah yang dipakai untuk tanah urugan di belakang tembok apabila berkohesi (Kohesi adalah lekatan antara butir-butir tanah, sehingga kohesi mempunyai pengaruh mengurangi tekanan aktif tanah sebesar $2c \sqrt{K_a}$ maka tegangan utama arah horizontal untuk kondisi aktif adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2c \sqrt{K_a} H \dots\dots\dots(2.3)$$

2. Tekanan Tanah Pasif

dinding penahan berotasi ke kanan terhadap titik A, atau dengan perkataan lain dinding mendekati tanah isian, maka tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan akan bertambah perlahan-lahan sampai mencapai suatu harga tetap. Tekanan tanah yang mempunyai harga tetap dalam kondisi ini disebut tekanan tanah pasif. Menurut teori *rankine*, untuk tanah pasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada dinding akibat tekanan tanah pasif setinggi H dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana harga K_p untuk tanah datar adalah :

$$K_p = \text{Koefisien Tanah Pasif } \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

γ = berat isi tanah (g/cm³)

H = tinggi dinding (m)

Φ = sudut geser tanah (°)

Adapun langkah yang dipakai untuk tanah berkohesi, maka tegangan utama arah horizontal untuk kondisi pasif adalah:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2c \sqrt{K_p} H \dots \dots \dots (2.6)$$

2.4 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

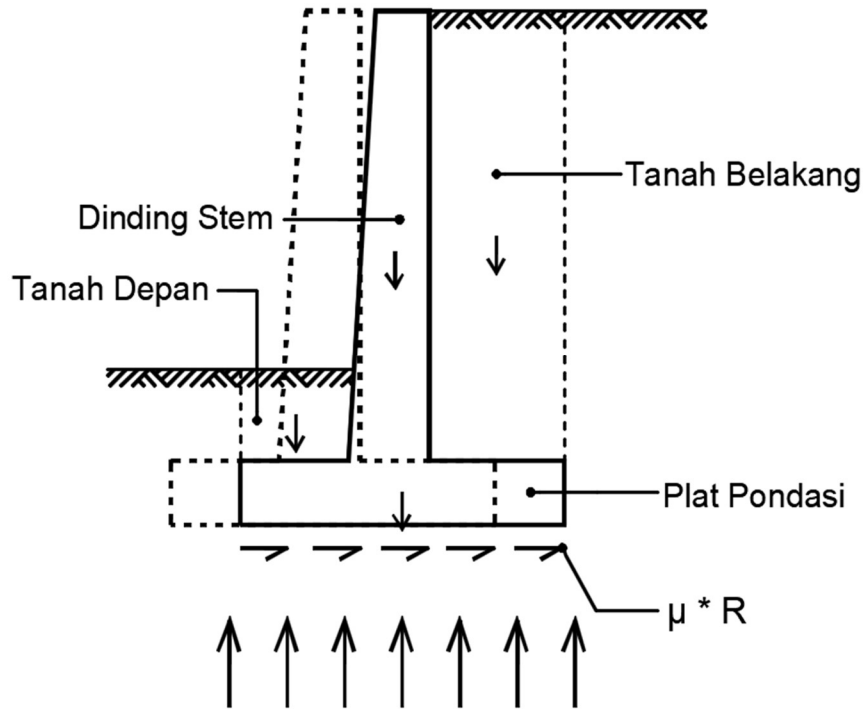
Stabilitas dinding penahan tanah adalah kemampuan dari dinding untuk menahan beban tanah dan beban lainnya tanpa mengalami kegagalan structural dan pergeseran terhadap dinding penahan tanah, stabilitas sangat penting untuk memastikan keselamatan dan keamanan struktur serta lingkungan disekitarnya.

Analisis stabilitas dinding penahan tanah dapat ditinjau sebagai berikut :

1. Faktor aman terhadap Guling, Geser Lateral, Daya Dukung Dasar Tanah.
2. Tekanan yang terjadi pada tanah dasar pondasi harus melebihi daya dukung izin.
3. Stabilitas pada lereng harus memenuhi syarat.

2.4.1 Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas geser dinding penahan tanah tipe kantilever tertinggi dicapai dengan desain yang tepat, seringkali menggunakan perkuatan seperti geogrid atau penambahan tanah timbunan di depan dinding (tanah pasif), untuk meningkatkan gaya gesek pada dasar pondasi dan tekanan tanah pasif, memastikan faktor keamanan (FK) geser > 1.5 (biasanya 2.0), serta dengan pemilihan dimensi yang memadai (tinggi & lebar tapak) berdasarkan analisis metode Rankine atau Coulomb, di mana Coulomb sering memberikan nilai FK yang lebih tinggi. Stabilitas terhadap pergeseran dapat dilihat pada (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 : Stabilitas Terhadap Geser

Faktor keamanan terhadap geser dapat ditulis :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{\sum F_r}{\sum F_d} \geq 1,5 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

$\sum F_d$ = jumlah gaya dorong horizontal

Atau dapat ditulis :

$$\sum F_r = (\sum V) \text{ atau } \tan \theta_2 + Bc_2$$

$$\sum F_d = Pa$$

Dari persamaan diatas bila dikombinasikan :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{(\sum V) \tan \theta_2 + Bc_2}{Pa} \dots \dots \dots (2.8)$$

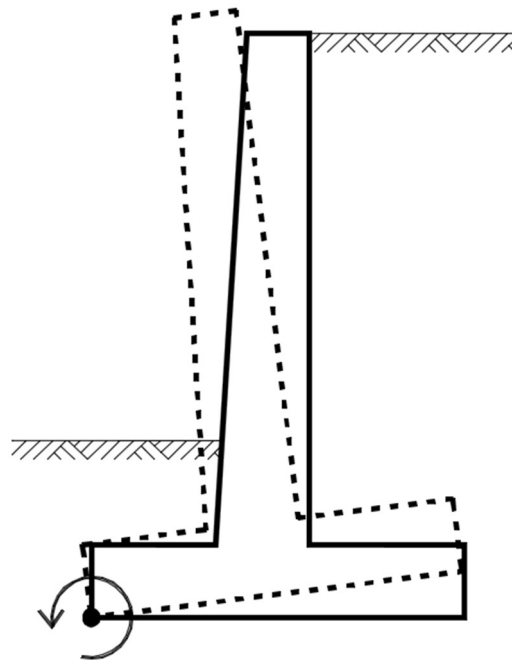
Dalam beberapa kasus, tekaanan tanah pasif (Pp) tidak dimasukan kedalam perhitungan sehingga diperoleh hasil yang lebih aman terhadap sudut geser dalam θ_2 dan C_2 dikalikan dengan koefisien k_1 dan k_2 maka persamaan diatas menjadi :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \cdot \theta_2) + Bk_2 \cdot C_2 + P}{Pa} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana koefisien k_1 dan k_2 berkisar antara 1/2 sampai 1/3

2.4.2 Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas terhadap penggulingan dapat dilihat pada (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 : Stabilitas Terhadap Guling

Suatu dinding penahan tanah stabil terhadap guling jika dinilai faktor keamanannya (F_s guling) lebih besar 1,5.

$$F_s \text{ overtuning} = \frac{\sum Mr}{\sum M_0} > 1,5 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

M_r = Jumlah gaya momen yang akan mempertahankan guling

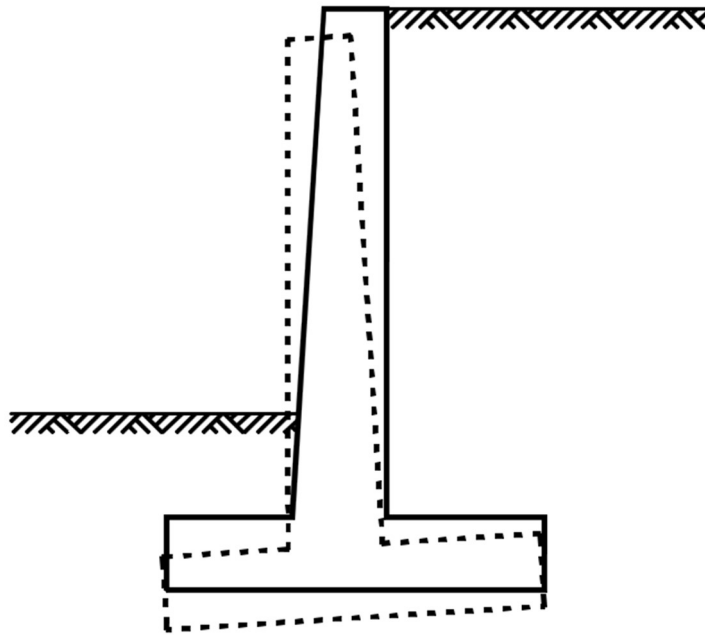
M_0 = Jumlah momen yang akan membuat guling

$$\sum M_r = (W_1 \cdot X_1) + (W_2 \cdot X_2) + W_3 \cdot X_3$$

$$\sum M_0 = P_a \cdot \frac{1}{3} \cdot H$$

2.4.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Gaya-gaya horizontal dan vertical pada dinding akan menimbulkan tegangan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah yang berada didasar dinding. Beban vertical yang diterima tanah pada lapisan pondasi dari dinding penahan tanah harus dicek keamanan terhadap daya dukung tanah. Stabilitas terhadap daya dukung (Gambar 2.12)



Gambar 2.12 : Stabilitas Terhadap Daya Dukung

Faktor keamanan daya dukung tanah terhadap keseluruhan kapasitas dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$F_s \text{ dd} = \frac{Q_u}{Q_{max}} \geq 3 \dots \dots \dots (2.11)$$

Untuk nilai maksimum dan minimum, dimana :

$$Q_{max} = \frac{\sum v}{B} \left(1 + \frac{6.e}{B} \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

$$Q_{min} = \frac{\sum v}{B} \left(1 - \frac{6.e}{B} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Untuk nilai eksentrisitas dapat diperoleh dari :

$$E = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{W_{tot}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Kapasitas daya dukung tanah dapat dihitng dengan persamaan Mayerhof berikut:

$$Q_u = c.N_c.F_{cd}.F_{ci} + q.N_q.F_{qd}.F_{qi} + 0,5.B.\gamma.N_\gamma.F_{\gamma d}.F_{\gamma i} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

C = Kohesi tanah Kn/m²

B = Lebar Pondasi (m)

e = eksentrisitas (m)

v = berat beban vertical (kN)

N_c,N_q,N_γ = Faktor kapasitas daya dukung

γ = Berat volume (kN/m³)

untuk faktor-faktor daya dukung ($N_c, N_q, N_\gamma, N'_c, N'_q, N'_\gamma$) dapat dilihat pada Tabel 2.1 :

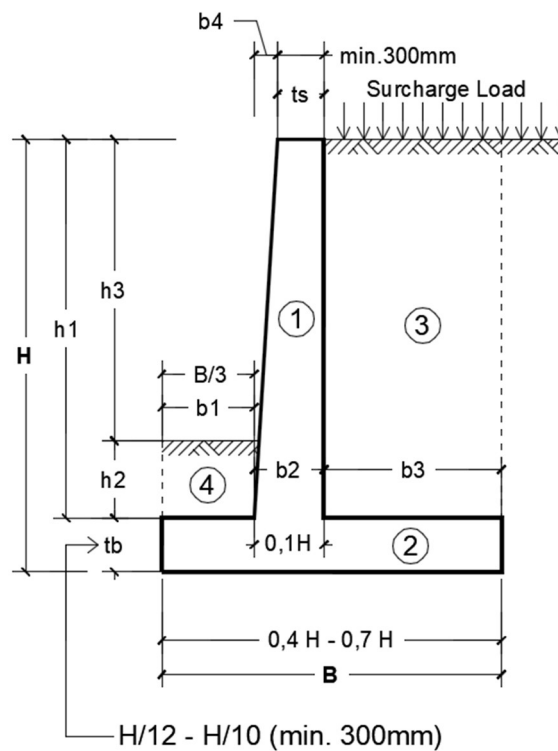
Tabel 2.1 : Nilai Faktor Kapasitas Daya Dukung (N_c, N_q, N_γ) menurut Meyerhof

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1	0	26	22,25	11,85	8
1	5,38	1,09	0,002	27	23,94	13,2	9,46
2	5,63	1,2	0,01	28	25,8	14,72	11,19
3	5,9	1,31	0,02	29	27,86	16,44	13,24
4	6,19	1,43	0,04	30	30,14	18,4	15,67
5	6,49	1,57	0,07	31	32,67	20,63	18,56
6	6,81	1,72	0,11	32	35,49	23,18	22,02
7	7,16	1,88	0,15	33	38,64	26,09	26,17
8	7,53	2,06	0,21	34	42,16	29,44	31,15
9	7,92	2,25	0,28	35	46,12	33,3	37,15
10	8,35	2,47	0,37	36	50,59	37,75	44,43
11	8,8	2,71	0,47	37	55,63	42,92	53,27
12	9,28	2,97	0,6	38	61,35	48,93	64,07
13	9,81	3,26	0,74	39	67,68	55,96	77,33
14	10,37	3,59	0,92	40	75,31	64,2	93,69
15	10,98	3,94	1,13	41	83,86	73,9	113,99
16	11,63	4,34	1,38	42	93,71	85,38	139,32
17	12,34	4,77	1,66	43	105,11	99,02	171,14
18	13,1	5,26	2	44	118,37	115,31	211,41
19	13,93	5,8	2,4	45	133,88	134,88	262,74
20	14,83	6,4	2,87	46	152,1	158,51	328,73
21	15,82	7,07	3,42	47	173,64	187,21	414,32
22	16,88	7,82	4,07	48	199,26	222,31	526,44
23	18,05	8,66	4,82	49	229,93	265,51	674,91
24	19,32	9,6	5,72	50	266,89	319,07	873,84
25	20,72	10,66	6,77				

2.5 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Menurut (SNI 8460-2017), Dinding penahan tanah kantilever terbuat dari beton bertulang, karena dimensi dan base slab menjadi relative tipis. Selain itu bobotnya sendiri, dinding penahan tanah kantilever ini menggandakan pada bobot masa tanah yang berada diatas slab, untuk menjaga stabilitasnya. Dinding penahan tanah ini bisa menahan tanah hingga tinggi 8m.

Dinding penahan tanah kantilever berbentuk T merupakan dinding beton bertulang, secara keseluruhan dinding dipakai tulangan untuk menahan gaya lintang dan momen yang bekerja pada dinding. Dinding tipe kantilever ini memiliki dimensi yang kecil (Sulistiyani, 2018), (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 : Dimensi Tipikal Dinding Penahan Tanah Kantilever

2.5.1 Prosedur Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Secara umum, Langkah-langkah hitungan perencanaan struktur dinding penahan tanah dapat dilakukan (Maulana Arif, 2011) sebagai berikut :

1. Menentukan parameter-parameter tanah yang diketahui, dihitung gaya-gaya bekerja diatas dasar pondasi dinding penahan tanah.
2. Perhitungan stabilitas dinding penahan tanah kantilever dengan dimensi lapangan.

3. Perhitungan faktor keamanan dinding penahan tanah .
4. Perhitungan stabilitas dinding penahan tanah kantilever dengan dimensi yang baru.
5. Perhitungan Faktor keamanan dinding penahan tanah kantilever dimensi yang baru.
6. Perhitungan faktor keamanan terhadap stabilitas secara menyeluruh (*Overall Stability*)
7. Perencanaan tulangan dinding kantilever baru.

2.5.2 Perhitungan Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Bagian-bagian dinding penahan tanah kantilever terdiri dari : dinding, pelat fondasi belakang dan pelat fondasi depan. Pada setiap bagian ini dirancang seperti cara merancang struktur kantilever. Untuk merancang pelat fondasi, tekanan tanah yang terjadi pada bagian dasar fondasi yang dihitung lebih dulu, yaitu dengan menganggap distribusi tekanan tanah linear.

Tekanan pada tanah dasar akibat beban dinding penahan yang terjadi pada ujung-ujung pelat fondasi yang dihitung dengan sebagai berikut :

Bila $e \leq B/6$

$$q = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

Bila $e > B/6$

$$q \text{ maks} = \frac{2v}{3(B-2e)} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

q = Beban

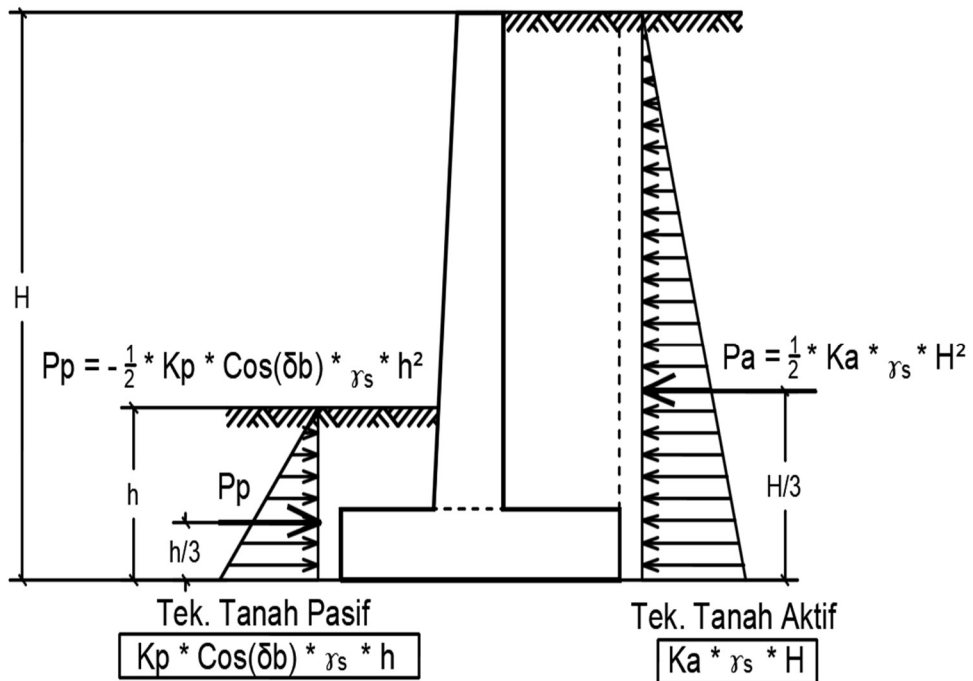
e = Eksentrisitas

B = Lebar Fondasi

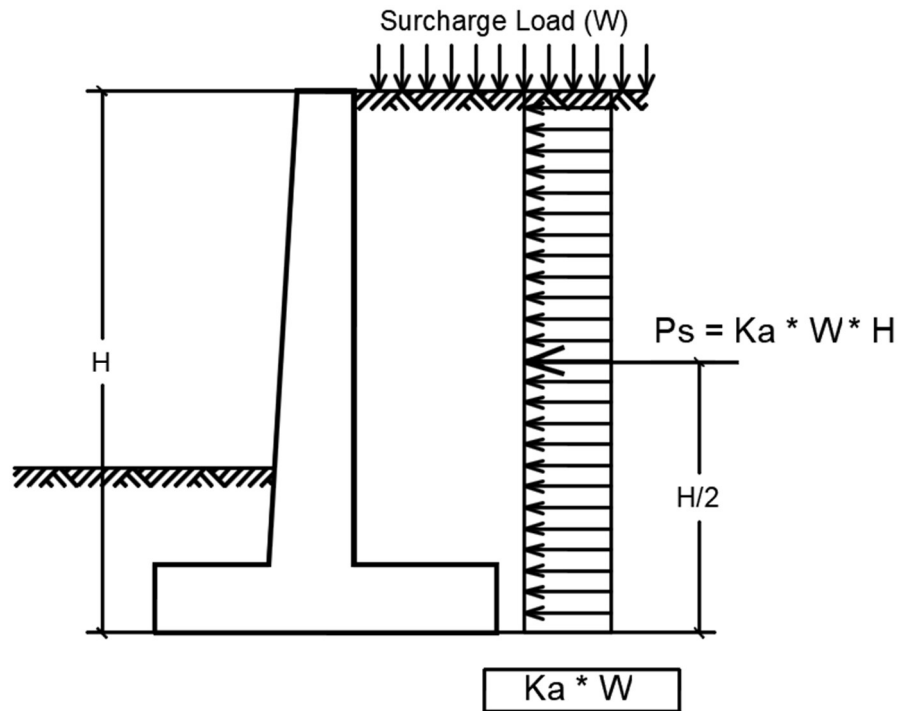
Bila $e \leq B/6$, maka tekanan dinding ketanah yang terjadi berbentuk trapezium, sedangkan bila $e > B/6$, maka diagram tekanan berupa segitiga.

Pelat fondasi dianggap sebagai struktur kantilever yang bentangnya dibatasi oleh bagian vertical dari tubuh dinding penahan. Pelat fondasi depan. Gaya-gaya yang bekerja, dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh dinding vertical dibagian depan. Pada bagian ini, pelat cenderung mengalami momen positif dengan tegangan tarik terletak pada sisi bawah.

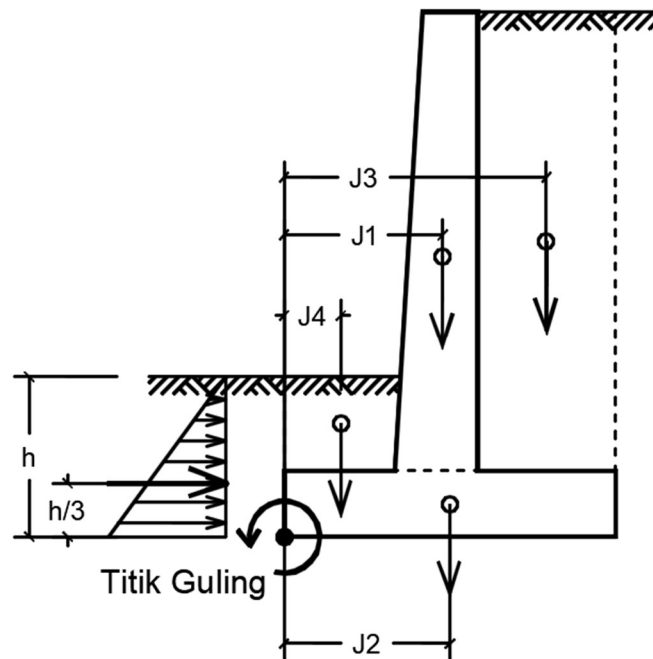
Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah dengan permukaan tanah urug, pelat pondasi depan dianggap sebagai pelat pondasi yang dijepit oleh dinding vertical dibagian depan. Gaya-gaya yang bekerja adalah gaya tekanan tanah keatas , dikurangi oleh berat tanah diatas pelat depan. Pada bagian depan pelat cenderung mengalami momen positif dengan tegangan tarik terletak pada sisi bawah. (Gambar 2.13) gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kenatilever.



Tekanan Tanah Lateral (a)



Tekana Akibat Beban Tambahan (b)



Tekanan Momen Guling (c)

Gambar 2.14 : Tekanan-Tekanan Yang Bekerja Pada DPT Kantilever

2.5.3 Perhitungan Penulangan Kantilever

Berdasarkan (SNI 2847-2019) mengenai persyaratan beton bertulang, beton prategang ataupun nonprategang dengan penggunaan baja tulangan yang memenuhi syarat penulangan minimum, dan didesain dengan asumsi bahwa kedua

material tersebut bekerja sebagai satu kesatuan untuk menahan gaya-gaya yang bekerja. Penulangan dinding penahan tanah kantilever melibatkan pemasangan tulangan baja pada dinding vertical (*stem*). Tumit (*heel*), dan kaki (*toe*) untuk memperkuat struktur beton dan menahan tekanan tanah. Tulangan ini berfungsi untuk menahan momen lentur, tegangan tarik, dan geser yang terjadi akibat tekanan tanah.

1. Penulangan pada Dinding Vertikal (*Stem*)

Tulangan vertikal berfungsi untuk menahan tegangan tarik yang terjadi akibat tekanan tanah. Jarak antara tulangan vertikal dan diameter tulangan disesuaikan dengan perhitungan, mempertimbangkan kekuatan beton dan jenis tanah. Tulangan horizontal juga ditempatkan untuk membantu menahan tegangan lentur dan geser *stem*.

a. Tulangan lentur

Kebutuhan tulangan lentur ini didasarkan pada momen lentur yang timbul pada dinding akibat gaya horizontal yang timbul dikalikan dengan faktor beban sebesar 1,6. Penulangan lentur dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{t_c}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Sehingga diperoleh Rasio Tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\rho_{min} = 0,0014 \dots\dots\dots(2.23)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.24)$$

b. Tulangan horizontal

Tulangan horizontal sebagai tulangan sudut dan suhu. Tulangan horizontal minimum yang diperlukan pada dasar dinding sesuai (SNI 2847-2019).

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{t_c}}}{f_y} b \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b \cdot d \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 \dots \dots \dots (2.26)$$

Karena sisi luar dinding penahan tanah senantiasa terkeropos dengan udara luar dan ketebalan dinding yang lebih dari 250mm maka sesuai SNI 2847:2019 diperlukan minimal 1/2 hingga 2/3 dari luas tulangan horizontal untuk dipasang disisi luar dinding dan sisanya dipasang pada sisi dalam dinding. Dalam hal ini luas tulangan yang dibutuhkan dibagi merata pada kedua sisi dinding, sehingga dapat digunakan rumus :

$$0,5 A_s \dots \dots \dots (2.27)$$

c. Desain terhadap geser

Penampang kritis untuk tinjauan geser adalah sejarak d (lebar efektif) dari dasar dinding

$$V_u = H_{a1} + H_{a2} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) > V_u \dots \dots \dots (2.25)$$

2. Penulangan pada tumit

Tulangan pada tumit bertujuan untuk menahan momen lentur dan gaya geser yang terjadi karena tekanan tanah yang menekan tumit. Tulangan tumit biasanya berupa batang baja tulangan yang diletakkan dibagian bawah tumit dan terkadang juga dibagian atas tumit.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots \dots \dots (2.28)$$

Sehingga diperoleh Rasio Tulangan (ρ)

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\rho_{\min} = 0,0014 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.31)$$

3. Penulangan pada kaki

Tulangan pada kaki berfungsi untuk menahan gaya tekan yang terjadi akibat tekanan tanah yang menekan kaki. Tulangan kaki biasanya berupa batang baja tulangan yang diletakkan dibagian bawah kaki.

Penampang kritis untuk perhitungan geser diukur sejarak d (lebar efektif) dari muka dinding penahan tanah. Besar gaya geser terfaktor yang bekerja dihitung dari besar tegangan tanah dikali dengan faktor 1,6 dikurangi dengan berat sendiri bagian ujung kaki hingga jarak d (lebar efektif) dari muka dinding dikalikan dengan faktor 1,2 maka :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(2.33)$$

Sehingga diperoleh Rasio Tulangan (ρ)

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \dots\dots\dots(2.34)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0014 \dots\dots\dots(2.36)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.37)$$