

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Medan dan Kota Binjai yang terletak dibagian utara pulau sumatera, tepatnya terletak di provinsi sumatera utara. Kota Medan merupakan Kota terbesar ketiga di Indonesia setelah Kota Jakarta dan juga Kota Surabaya, sedangkan Kota Binjai dijuluki sebagai Kota Rambutan. Medan sebagai Kota Metropolitan dan pintu gerbang Indonesia dibagian barat ini biasa dikatakan mampu berperan dalam lingkup Internasional maupun Nasional. Secara geografis Kota Medan terletak pada 3°30' - 3°43' lintang utara dan 98°35' - 98°44' bujur timur, sedangkan geografis Kota Binjai 3°31'40'' - 3°40'02'' lintang utara dan 98°27'3'' - 98°32'32'' bujur timur.

Kota Medan dan Kota Binjai ialah Kota besar yang memiliki intensitas kendaraan yang cukup tinggi, baik kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat. Dari segi aspek segi lingkungan, Intensitas kendaraan yang padat tadi dapat menimbulkan berbagai macam pencemaran. Pencemaran yang dimaksud adalah pencemaran udara, pencemaran suara, pencemaran limbah kendaraan.

Konsekuensi dari pencemaran tersebut berdampak bagi masyarakat yang tinggal di Kota Medan dan Kota Binjai. Untuk meminimalisir resiko dari padatnya intensitas kendaraan padat tersebut, maka diperlukan suatu moda transportasi alternatif. Keberadaan moda transportasi darat, air, dan udara menjadi faktor yang sangat berperan penting dalam memperlancar roda perekonomian dan pembangunan di Indonesia. Salah satu moda transportasi darat yang banyak digunakan oleh masyarakat Kota Medan dan Kota Binjai ialah kereta api (KA). Hal tersebut disebabkan karena keunggulan kereta api sebagai moda transportasi darat yang memiliki harga yang cukup terjangkau untuk berbagai kalangan serta kapasitas angkut penumpang dan barang terbesar dalam sekali perjalanan. Moda transportasi alternatif yang dimaksud adalah transportasi menggunakan kereta api. Kereta api sebagai transportasi alternatif tidak bisa menampung padatnya jumlah

penduduk Kota Medan dan Kota Binjai, maka tahun 2020 pertengahan yang dimana tepatnya di bulan juli bawasan nya Pemerintah merealisasikan Proyek paket peningkatan jalan kereta api lintas medan – binjai sepanjang 21 km. diharapkan dengan teralisasi proyek tersebut dapat menampung padatnya jumlah penduduk Kota Medan dan Kota Binjai.

Alasan saya mengambil judul tersebut dikarenakan perlu nya analisa terhadap bangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*) baik penulangan terhadap beban dinamis yang bekerja terhadap bangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*), faktor keamanan terhadap geser, faktor keamanan terhadap guling, dan faktor keamanan terhadap daya dukung tanah. Apabila dari faktor keamanan tersebut baik faktor keamanan terhadap geser, faktor keamanan terhadap guling dan juga faktor keamanan daya dukung tanah dinyatakan aman. Maka tidak lagi terjadi resiko terkena kereta api karena amblesnya tanah yang disebabkan oleh getaran rel, dan juga tidak akan terjadi rubuhnya dinding penahan tanah (*retaining wall*) sehingga tidak menimbulkan korban jiwa dari warga yang tinggal di areal rel dinding penahan tanah (*retaining wall*).

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa tingkat kinerja dinding penahan tanah akibat beban dinamis di daerah stasiun kampung lalang.

Tujuan penulisan ini adalah:

1. Untuk menganalisa dinding penahan tanah yang ada di daerah stasiun kampung lalang, kecamatan sunggal, kabupaten deli serdang.
2. Untuk mengetahui perhitungan dari dinding penahan tanah guna mengecilkan resiko kecelakaan amblesnya kereta api ke permukiman warga yang disebabkan oleh amblesnya tanah yang disebabkan getaran rel.
3. Mengetahui hasil analisa bangunan dinding penahan tanah tahan terhadap bahaya guling, geser, dan daya dukung tanah terhadap beban dinamis.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Wilayah studi, data tanah yang digunakan di gunakan dinding penahan tanah.
2. Digunakan dinding penahan tanah tipe kantilever.
3. Analisis dinding penahan digunakan untuk keamanan terhadap guling dan geser akibat beban dinamis.
4. Memprediksi perpindahan yang terjadi dan menganalisa keruntuhan pada model dinding penahan tanah akibat beban dinamis.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Dapat menganalisa keamanan dinding penahan tanah terhadap guling, geser akibat beban dinamis.
2. Memberikan informasi dan bahan pertimbangan mengenai perencanaan dinding penahan tanah sebagai pencegah bahaya longsor dan beban dinamis untuk kasus yang sama dan pada tempat yang berbeda.

1.5 Metodologi Penelitian

1. Lokasi analisa
2. Lokasi analisa dilakukan di daerah stasiun kampung lalang

Pengumpulan Data

- a. Data sekunder (data literatur) yaitu data yang di peroleh dari buku perencanaan dinding penahan tanah, jurnal-jurnal serta data dari informasi lain yang dibutuhkan dalam analisa.
3. Survey Lokasi
Yang di lakukan sebagai gambaran untuk pengambilan data lokasi.

1.6 Metodologi Penulisan

Metodologi yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini berupa studi kasus, yaitu :

1. Bab I Pendahuluan, yang dimana bab ini terdiri dari latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, rumusan dan batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan metodologi penulisan.
2. Bab II Tinjauan pustaka, yang dimana bab ini terdiri dari landasan teori yang berisi tentang pembahasan dari dinding penahan tanah, pengertian tanah, pengantar kereta api, pengantar struktur jalan rel dan beban dinamis.
3. Bab III Penyajian data, yang dimana dalam bab ini terdiri dari peta lokasi pelaksanaan proyek, data teknis dinding penahan tanah, metode pengumpulan data, data sondir, tahap permasalahan, dan juga alur skema diagram penulisan.
4. Bab IV Hasil analisis dan pembahasan, di bab ini terdiri dari dimensi dan pembebanan yang bekerja pada dinding penahan tanah, dan juga data pada dinding penahan tanah tipe kantilever di daerah stasiun.
5. Bab V Kesimpulan dan saran, yang dimana dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan dapat dikemukakan masalah yang ada pada penelitian tersebut. Sedangkan saran berisi mencantumkan jalan keluar untuk mengatasi masalah tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding penahan tanah di Daerah Stasiun Kampung Lalang

Asal mula dibuatnya dinding penahan tanah (*retaining wall*) adalah sebagai penahan tanah agar kondisinya terus stabil dan tidak bisa longsor atau terlindungi dari erosi. Terdapat pemukiman penduduk disekitar jalan kereta api (rel), permukiman penduduk tersebut sangat beresiko terkena kereta api karena amblasnya tanah yang disebabkan getaran rel. untuk mencegah terjadinya kecelakaan tersebut, maka dilaksanakan lah pembuatan dinding penahan tanah (*retaining wall*) sepanjang 110 meter. Hadir nya dinding penahan tanah (*retaining wall*) tidak hanya berguna untuk tidak melakukan kegiatan di sekitar lintasan jalan rel kereta api lintas Medan – Binjai.

2.1.1 Definisi Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan terguling atau akan tergeser.

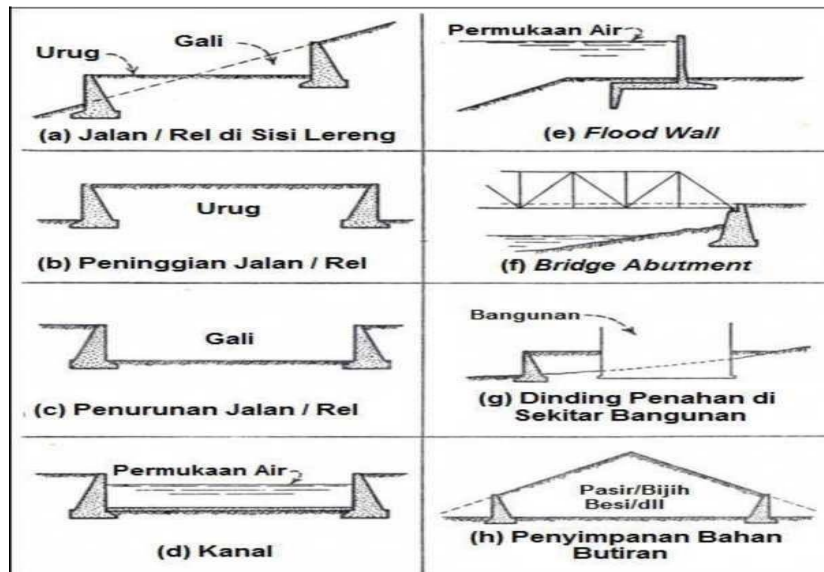
2.1.2 Fungsi Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran. Baik akibat beban air hujan, berat tanah itu sendiri maupun beban yang bekerja di atasnya.

2.1.3 Kegunaan Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah sudah digunakan secara luas dalam hubungannya dengan jalan raya, jalan kereta api, jembatan, kanal dan lainnya. Aplikasi yang umum menggunakan tembok penahan tanah antara lain sebagai berikut:

- a. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibangun di daerah lereng.
- b. Jalan raya atau jalan kereta api yang ditinggikan untuk mendapatkan perbedaan elevasi.
- c. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibuat lebih rendah agar didapat perbedaan elevasi.
- d. Dinding penahan tanah yang menjadi batas pinggir kanal.
- e. Dinding khusus yang disebut *flood walls*, yang digunakan untuk mengurangi/menahan banjir dari sungai.
- f. Dinding penahan tanah yang digunakan untuk menahan tanah pengisi dalam membentuk suatu jembatan. Tanah pengisi ini disebut *approach fill* dan tembok penahan disebut *abutments*.
- g. Dinding penahan yang digunakan untuk menahan tanah disekitar bangunan atau gedung-gedung.
- h. Dinding penahan tanah yang digunakan sebagai tempat penyimpanan material seperti pasir, biji besi, dan lain-lain.



Gambar 2.1 Aplikasi Dinding Penahan Tanah

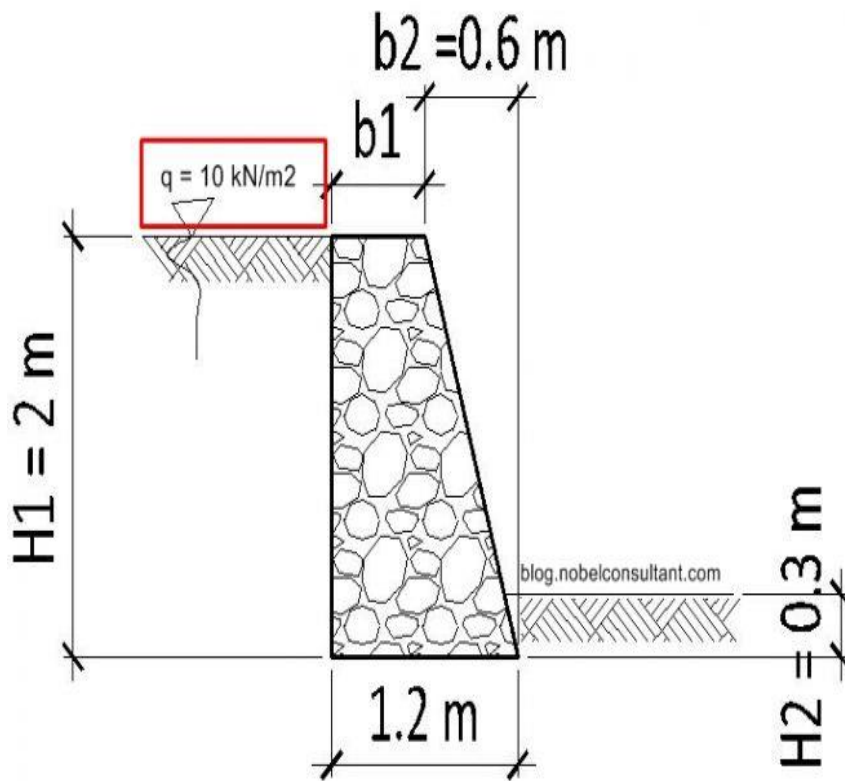
(sumber: Huntington, 1991)

2.1.4 Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan untuk mencapai stabilitasnya, maka dinding penahan tanah dapat digolongkan dalam beberapa jenis yaitu Dinding Penahan Gravitasi, Dinding Penahan Kantiliver, Dinding Penahan Kontravot, Dinding Penahan Butters. Beberapa jenis dinding penahan tanah antara lain:

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

Dinding ini dibuat dari beton tidak bertulang atau pasangan batu, terkadang pada dinding jenis ini dipasang tulangan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat temperatur. Seperti pada Gambar 2.2

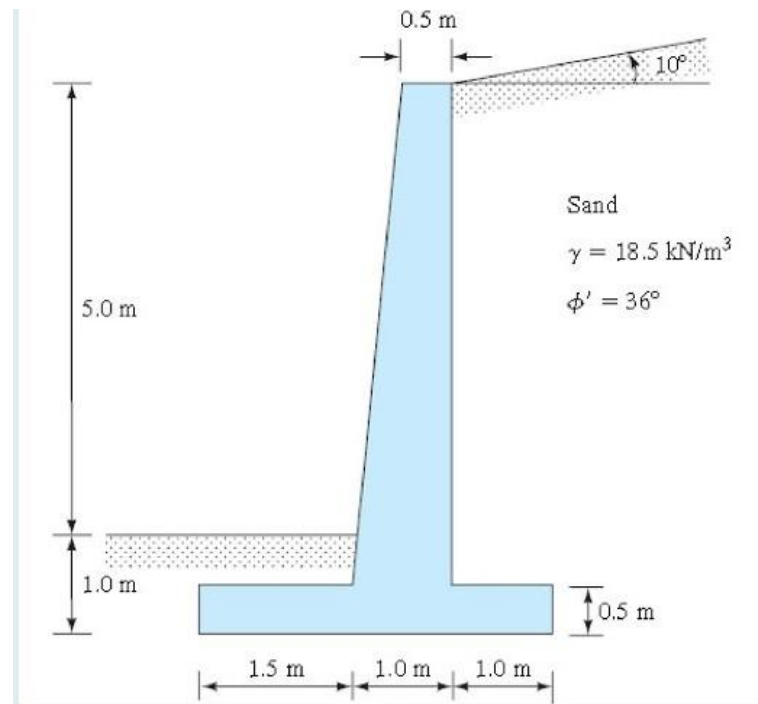


Gambar 2.2 Dinding Penahan Tanah Type Gravitasi (*gravity wall*)

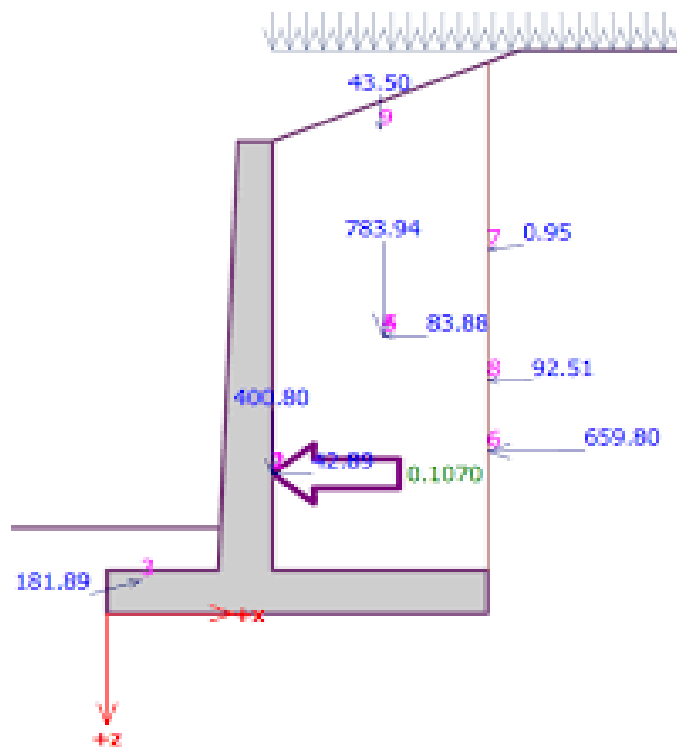
(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

2. Dinding Penahan Tanah Type Kantilever (*Cantilever Retaining Wall*)

Dinding ini terdiri dari kombinasi dinding dengan beton bertulang yang berbentuk huruf T. Ketebalan dari kedua bagian relatif tipis dan secara penuh diberi tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja pada dinding tersebut. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan tanah diatas tumis tapak (*hell*). Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7 meter. Seperti Gambar 2.3



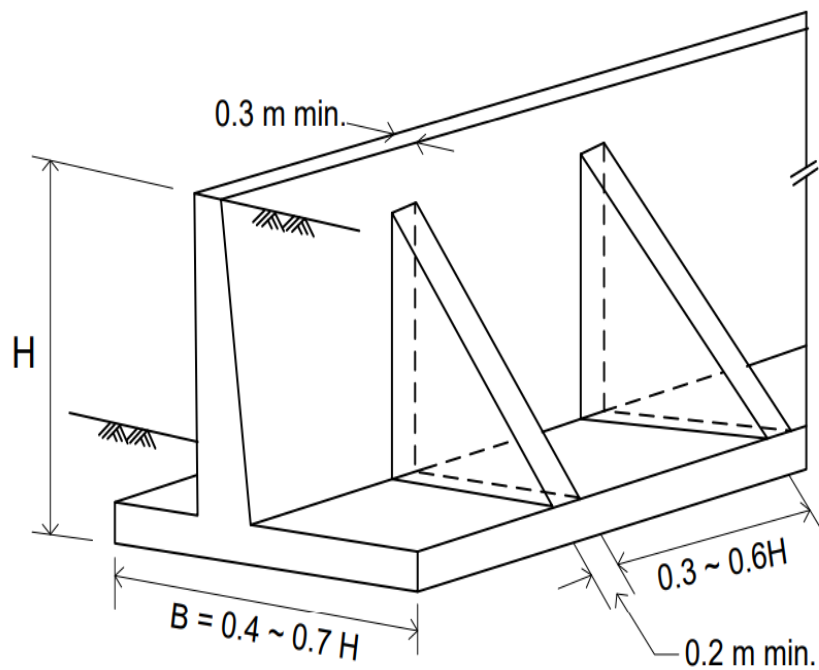
Gambar 2.3 Dinding Penahan Tanah Type Kantilever (*Cantilever retaining wall*)
(Sumber: Hardiyatmo, 2011)



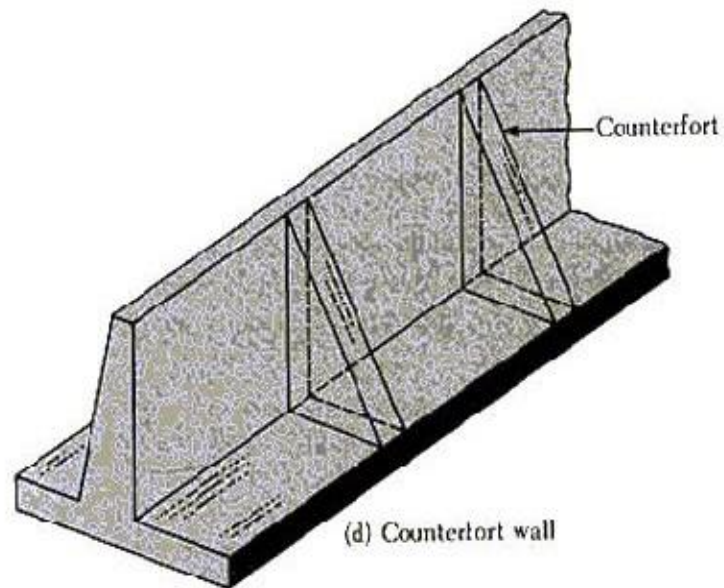
Gambar 2.4 Dinding Penahan Tanah Type Kantilever (*Cantilever retaining wall*)
(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

3. Dinding Penahan Tanah Type Counterfort (*Counterfort Wall*)

Dinding ini terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang dibagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertical yang disebut counterfort (dinding penguat). Ruang di atas pelat pondasi diisi dengan tanah urug. Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertical cukup besar, maka bagian dinding vertical dan tumit perlu disatukan (kontrafort). Kontrafort berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertical dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interfal jarak tertentu. Dinding kontrafort akan lebih ekonomis digunakan bila ketinggian dinding lebar dari 7 meter. Seperti pada Gambar 2.5



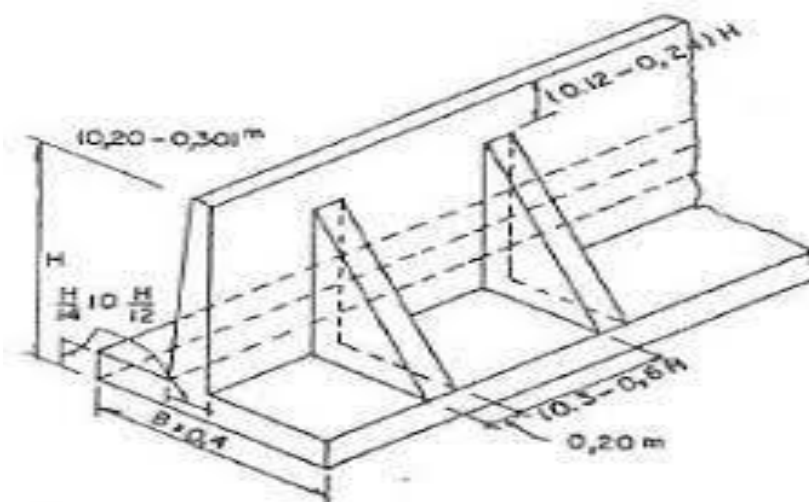
Gambar 2.5 Dinding Penahan Tanah Type Kounterfort (*counterfort wall*)
(Sumber: Hardiyatmo, 2011)



Gambar 2.6 Dinding Penahan Tanah Type Kounterfort (*counterfort wall*)

(Sumber: Hardiyatmo,2011)

Perencanaan dimensi dinding penahan tanah sistem kontrafort yaitu lebar $0,45 H$ s/d $0,60 H$, dengan tebal tidak kurang dari 20 cm . Tinggi kontrafort sebaiknya sama dengan tinggi dinding vertikal, tetapi bila diinginkan ketinggian yang lebih kecil, dapat dikurangi dengan $0,12 H$ s/d $0,24 H$. Seperti pada Gambar 2.7

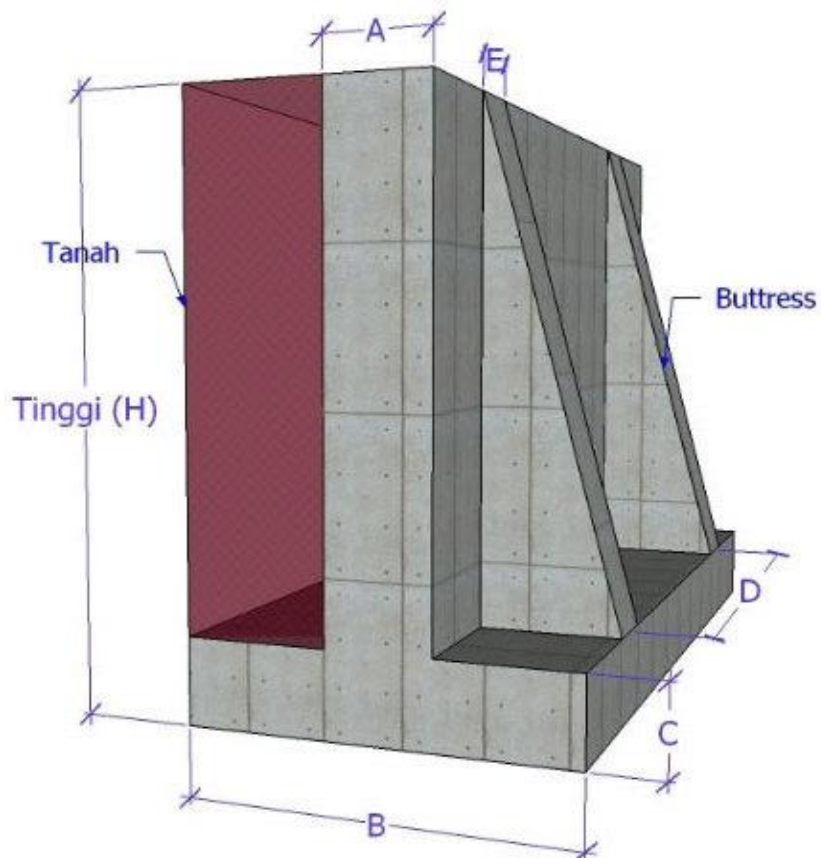


Gambar 2.7 Dinding Penahan Tanah Type Kounterfort (*counterfort wall*)

(Sumber: Hardiyatmo,2011)

4. Dinding Penahan Tanah Type Buttress (*Buttress Wall*)

Dinding buttress hampir sama dengan dinding kontrafort, hanya bedanya bagian kontrafort diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur kontrafort berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit lebih pendek dari pada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah diatas tumit tapak. Dinding ini dibangun pada sisi dinding dibawah tertekan untuk memperkecil gaya irisan yang bekerja pada dinding memanjang dan pelat lantai. Dinding ini lebih ekonomis untuk ketinggian lebih dari 7 meter. Kelemahan dari dinding ini adalah penahannya yang lebih sulit dari pada jenis lainnya dan pemadatan dengan cara roling pada tanah di bagian belakang adalah jauh lebih sulit. Seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Dinding Penahan Tanah Type Buttress (*buttress wall*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

2.1.5 Metode Perhitungan Dinding Penahan Tanah

a. Perhitungan Gaya Vertikal dan Momen Terhadap Kaki Depan

Dalam melakukan perhitungan gaya vertikal dan momen terhadap kaki depan perlu dihitung menggunakan rumus :

$$W = A \times \gamma_{\text{beton}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$M = W \times L \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

W : Berat (kN)

A : Luas penampang (m²)

γ_{beton} : Berat isi beton (kN/m³)

M : Momen (kN)

L : Jarak (m)

b. Tekanan Tanah (*earth pressure*)

Besar tekanan tanah aktif merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah.

Diagram tegangan gaya tersebut adalah :

- 1) Akibat beban merata, berbentuk segi empat tegangan gaya.
- 2) Akibat perbedaan tinggi muka air, pada mulanya berupa segitiga tegangan gaya kemudian segitiga tegangan gaya ini menjadi gaya, sehingga bentuk selanjutnya menjadi segiempat tegangan gaya.
- 3) Akibat sifat-sifat tanah, dapat berbentuk segiempat dan segitiga dibedakan akibat harga kohesi tanah (c) dan akibat berat isi tanahnya (γ_m). Yang perlu diperhatikan dalam mencari total tekanan tanah adalah:

- a. Akibat sifat-sifat tanah, khususnya akibat kohesi tanah memberikan pengurangan terhadap seluruh tekanan tanah aktif yang bekerja. Sedangkan untuk tekanan pasif, kohesi tanah akan menambah besar seluruh tekanan tanah pasif yang bekerja.

- b. Akibat beban garis (*line load*), beban titik (*point load*), dan beban strip (*strip load*), bentuk diagram dapat di dekati dalam bentuk trapezium, atau segitiga.

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 dengan :

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta - \alpha) \cos(\alpha + \beta)}} \right]} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\Sigma_{pa} = \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma \times K_a \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- K_a : koefisien tanah aktif
- γ : berat jenis isi tanah (kN/m³)
- H : tinggi tembok penahan tanah (m)
- φ : sudut geser tanah
- β : kemiringan tanah di belakang tembok
- α : titik A dibelakang plat

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

- Ø : sudut geser dalam
- β : sudut tanah timbunan

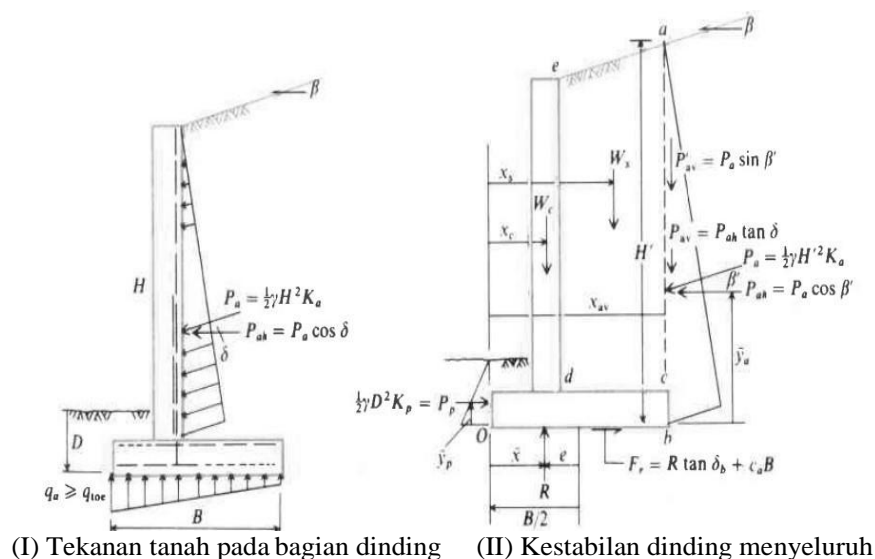
Untuk tanah timbunan datar (β = 0°), besarnya koefisien tekanan tanah aktif menjadi :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

2.1.6 Kestabilan Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Tekanan tanah dan gaya – gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah sangat mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri, secara umum pemampatan atau penggunaan bahan dalam konstruksi dinding penahan tanah yang berarti memberikan perkuatan pada massa tanah, memperbesar timbunan di belakang dinding penahan tanah, seperti dinding penahan tanah itu harus stabil terhadap:

1. Geseran dan penturan badan dinding terhadap tekanan arah lateral atas badan dinding.
2. Momen geser dan lentur alas pada badan dinding yang disebabkan oleh pembebanan dinding menghasilkan tekanan tanah atas telapak (atau alas) dinding
3. Kestabilan dinding keseluruhan :
 - a. Gelincir – dihasilkan oleh tekanan tanah atas bidang vertikal ab (atau jarak H') yang melintasi tumit.
 - b. Penggulingan sekitar jari pada titik 0.
4. Kestabilan terhadap kerusakan daya dukung atau penurunan alas yang berlebihan menghasilkan penjurngkitan besar pada dinding tersebut. Terlihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Kestabilan dinding umum

(Sumber : Joseph E. Bowles, P.E.,SE)

2.1.7 Kestabilan Geser Dinding Penahan Tanah

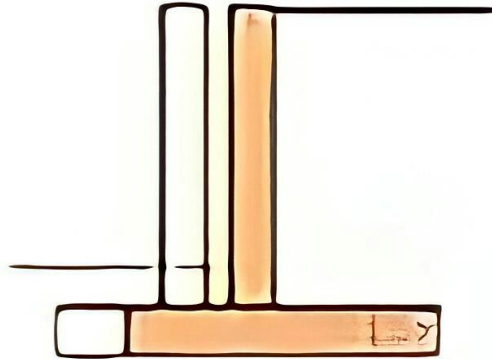
Untuk memberikan kekuatan yang cukup melawan geseran horizontal, dasar dinding penahan harus memiliki kedalaman minimum 3 ft (1m) di bawah muka tanah. Untuk dinding permanen, kekuatan tersebut harus stabil tanpa adanya struktur penahan pasif di bagian kaki dinding. Jika syarat kekuatan diatas tak mencukupi, dapat ditambahkan pengunci geser di bawah telapak pondasi atau tiang pancang untuk menahan geseran.

Dinding tanah distabilisasi secara mekanis (*Mechanically Stabilized Earth Wall*), MSE dibuat dari beberapa elemen bahan yang dimaksudkan untuk penguatan dan perbaikan tanah dengan menggunakan plat baja (*steel strip*) atau bahan grid polimer (*polymeric grid*), geotekstil yang kuat menahan tarikan dan beban bahan di atasnya. Keuntungan dinding ini dibandingkan dinding konvensional dari bahan pasangan dan beton bertulang adalah:

1. Fleksibel terhadap adanya kemungkinan penurunan
2. Cukup murah
3. Cukup efisien terhadap waktu pemasangan
4. Kapabilitas yang cukup baik untuk terjadinya drainase (*drainage*)

Terhadap dua macam produk, produk yang dapat mulur (*extensible product*), dan produk yang tak dapat mulur (*inextensible product*). Produk yang dapat meregang memungkinkan berubah bentuk akibat beban tanpa mengalami putus karena kekuatannya telah dirancang melebihi kekuatan tanah. Dinding ini diselenggarakan untuk keperluan semi permanen dan atau jika lapangan menyulitkan membangun dinding penahan dari bahan pasangan.

Akibat tekanan tanah aktif horisontal yang kuat, maka Retaining wall akan tergeser atau terdorong. Gaya geser ini akan dilawan oleh berat sendiri retaining wall, berat tanah di atas tumit dan tekanan tanah pasif.



Gambar 2.10 Dinding Penahan Tanah Tergeser

(Sumber : Ir Suyono Sosrodarsono, 2000)

Menghitung Stabilitas Terhadap Penggeseran :

$$FS_{geser} = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,5 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

$\sum Rh$ = Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran ($cd \cdot B + W \tan \delta b$)

$\sum Ph$ = Jumlah tekanan horizontal

cd = Adhesi antara tanah dan dasar

B = Lebar pondasi (m)

W = Berat total dinding penahan dan tanah diatas plat pondasi

δb = Sudut geser antara tanah dan dasar pondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi (F_{gs}), diambil 1,5. Bowles(1977) menyarankan : $F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler dan $F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

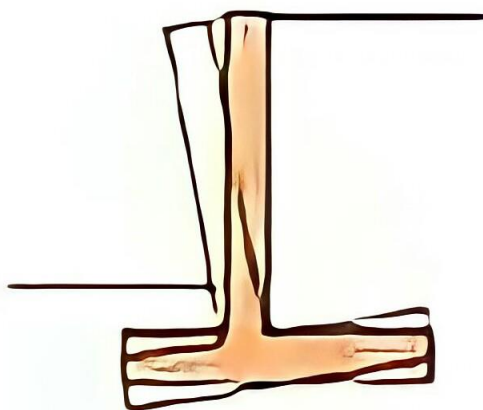
Tabel 2.1 Koefisien gesek ($\tan \delta$) antara dasar fondasi dan tanah dasar

No	Jenis tanah dasar fondasi	$\tan \delta$
1	Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
2	Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
3	Tanah lanau tak berkohesi	0,35
4	Batu keras permukaan kasar	0,60

(Sumber : *Hardiyatmo, 2014*)

2.1.8 Stabilitas Terhadap Guling

Akibat tekanan tanah aktif horisontal yang kuat, maka retaining wall akan terguling pada titik guling. Kestabilan struktur terhadap kemungkinan terguling (overtuning stability) dihitung dengan membandingkan jumlah momen-momen yang menyebabkan guling dengan jumlah momen perlawanan guling. Gaya guling ini akan dilawan oleh berat sendiri retaining wall, berat tanah di atas tumit dan tekanan tanah pasif.



Gambar 2.11 Dinding Penahan Tanah Terguling

(Sumber : *Ir Suyono Sosrodarsono, 2000*)

Persamaan dibawah ini berlaku untuk dinding gravitasi dimana momen penyebab guling berasal dari tekanan-tekanan tanah, dan momen perlawanan guling berasal dari berat sendiri konstruksi. Menurut PPIURG 1987, Faktor stabilitas guling diambil sebesar 2.

$$\text{Stabilitas guling} = \frac{\Sigma M \text{ lawan}}{\Sigma M \text{ guling}} \geq 2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

(ΣM lawan) : Jumlah momen perlawanan guling

(ΣM guling) : Jumlah momen penyebab guling

Faktor aman terhadap guling dasar fondasi (Fgl), diambil 2 Bowles (1977) menyarankan : $Fgl \geq 2$

2.1.9 Stabilitas Keruntuhan Daya Dukung Tanah

Pada dasarnya daya dukung tanah adalah kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja diatasnya. Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ketanah yang terletak dibawahnya. Tegangan maximum (σ_{max}) akibat berat pondasi pada tanah pasir, lempung atau campuran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{max} = (\Sigma V / b) + (1 / 12 \cdot b) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

(σ_{max}) : Tegangan maksimum dari konstruksi

(ΣV) : Jumlah gaya-gaya vertikal

(b) : Lebar pondasi

Persamaan-persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifatsifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhannya. daya dukung tanah ultimate untuk tanah non kohesif (σ_{tanah}) dapat ditentukan dengan teori Terzaqhi sebagai berikut :

$$\sigma_{tanah} = (Df \cdot \gamma) \cdot Nq + (\beta \cdot b \cdot \gamma \cdot Ng) \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

(σ_{tanah}) : Tegangan tanah maximum

(q) : Beban terbagi rata tanah diatas pondasi ($D_f \cdot \gamma$)

(D_f) : Kedalaman galian pondasi

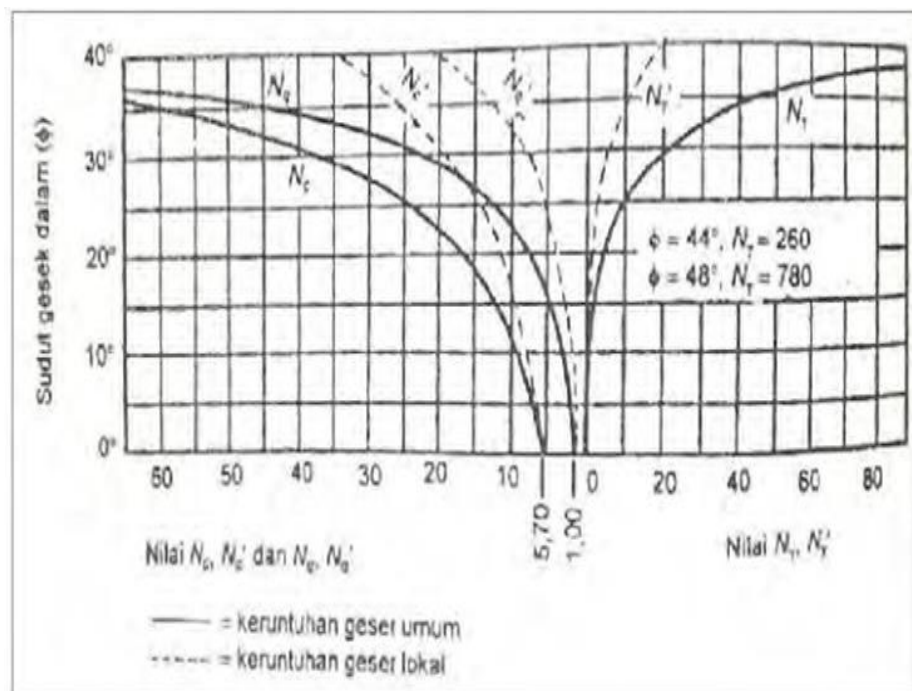
(γ) : Berat volume tanah

(β) : Faktor bentuk pondasi menerus 0,5

(b) : Lebar pondasi

(N_q, N_g) : Faktor daya dukung Terzaqhi

Faktor – faktor daya dukung tanah Terzaqhi dapat diambil dari grafik Terzaghi. Dalam grafik tersebut terdapat keruntuhan geser local dan umum yang berhubungan dengan sudut geser tanah.



Gambar 2.12 Faktor Daya Dukung Tanah Terzaqhi

(Sumber : Hardiyatmo 2014)

2.1.10 Momen Pada Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Perhitungan momen pada retaining wall ini merupakan langkah awal dalam menentukan jumlah tulangan yang diperlukan oleh retaining wall. Perhitungan momen dimulai dengan mencari reaksi perletakan pada bentang terlebih dahulu lalu dapat dilanjutkan dengan perhitungan momen ditumpuan dan dilapangan.

1. Perhitungan reaksi perletakan

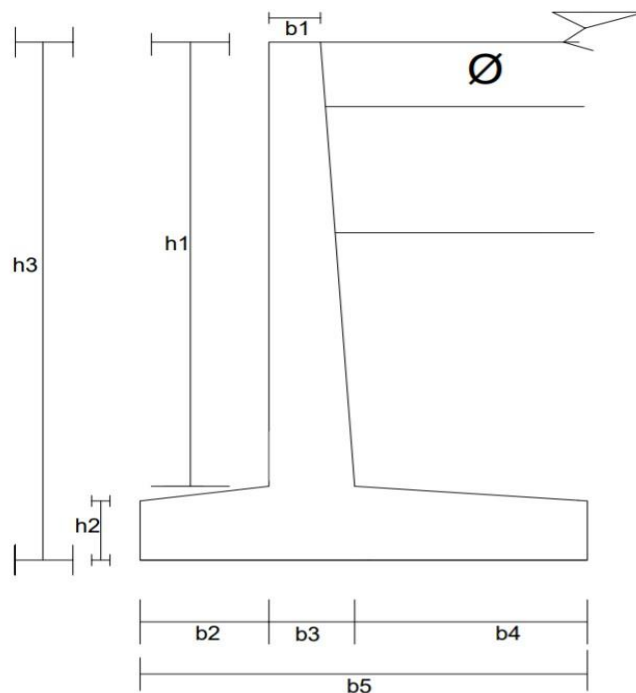
$$\Sigma MB = 0$$

$$R_a \cdot H - Pa_3 \times h_2 \times 0,5 h_2 - Pa_5 \times h_2 \times 0,5 h_2 H - Pa_2 \times h_1 \times 0,5 h_1 - Pa_1 \times H \times 0,5 = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-R_b \cdot H + Pa_3 \times h_2 \times 0,5 h_2 + Pa_5 \times h_2 \times 0,5 h_2 + Pa_2 \times h_1 \times (H - 0,5 \times h_1) + Pa_1 \times 0,5 H = 0$$

2.1.11 Pembebanan Pada Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)



Gambar 2.13 Dimensi Dinding Penahan Tanah

(Sumber : Barjin M.Das 2008)

Penampang dinding penahan tanah (*retaining wall*), Data dan dimensi dinding penahan tanah adalah sebagai berikut :

Bagian Vertikal :

$$V_1 = h_1 + h_2 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$V_2 = h_1 + h_3 \dots\dots\dots(2.13)$$

Bagian Horizontal :

$$H_1 = b_1 + b_2 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$H_2 = b_2 + b_3 + b_4 \dots\dots\dots(2.15)$$

Data Tanah Asli Didasar Pile Cap :

- Berat Volume Tanah Asli
- Sudut Gesek, ϕ
- Kohesi, C

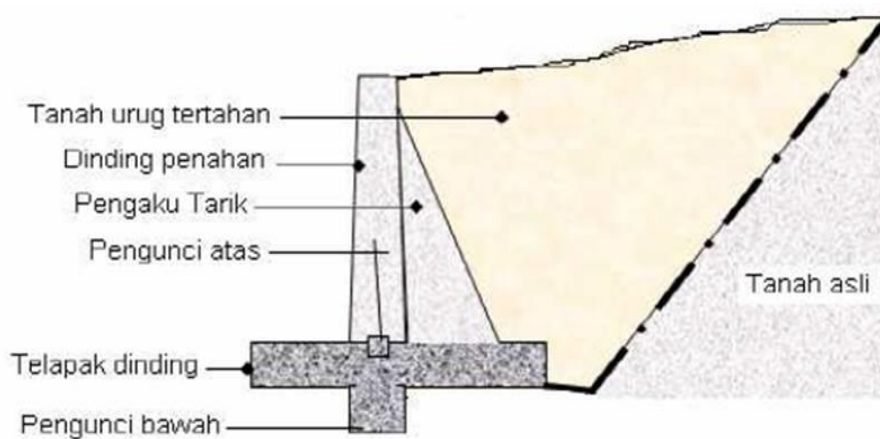
Data Tanah Timbunan :

- Berat Volume Tanah Timbunan, ws
- Material Bahan dari Struktur
- Kuat Tekan Beton Rencana, K-300
- Kuat Tarik Baja Tulangan
- Berat Jenis Beton Bertulang

2.2 Pengertian Tanah

Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan, atau kadang-kadang seperti zat sumber penyebab gaya luar pada bendungan. Mengingat hamper semua bangunan itu dibuat di atas atau di bawah permukaan tanah, maka harus dibuatkan pondasi yang dapat memikul beban perkuatan tebing bangunan itu atau gaya yang bekerja melalui bangunan itu. Kemampuan daya dukung tanah beserta

kemungkinan dalamnya penurunan yang akan terjadi yang disebabkan oleh gaya yang bekerja.



Gambar 2.14 Dinding Penahan Tanah

(Sumber : Dr.Ir. Suyono Sosrodarsono, 1981)

2.2.1 Klasifikasi Tanah

Suatu Klasifikasi mengenai tanah adalah perlu untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah dalam menghadapi perencanaan dan pelaksanaan. Adapun klasifikasi tanah yang dikelompokkan menurut kriteria yang sama.

1. Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan Log-bor tanah dan peta tanah).
2. Perkiraan standart hasil kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing.
3. Perkiraan pemilihan bahan (Penentuan tanah yang harus disingkirkan, pemilihan tanah dasar, bahan tanah timbun).
4. Perkiraan presentasi muai dan susut.
5. Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian).
6. Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi.
7. Rencana pekerjaan / pembuatan lereng dan tembok penahan tanah, (pemilihan jenis konstruksi dan perhitungan tekanan tanah).

Tabel 2.2 Tabel Klasifikasi Tanah

Dirinci Utama	Subkelompok	Nama Jenis	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran beraturan (saringan no. 200 (0.075 mm))	Kerikil banyak (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	SC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Tanah berbutir halus 60% atau lebih (saringan no. 200 (0.075 mm))	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk tulan atau pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, berlempung berlanau, lempung liat (lean clay)
OL			Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan lempung batas cair > 50%		MH	Lanau tak organik atau pasir halus dalam, berpasir elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi lempung gemuk (fat clay)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	PI	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
 Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$
 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
 Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$
 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$

Diagram plastisitas. Untuk mengidentifikasi kelas butiran halus yang tertera di atas tabel, butiran halus dan tanah liat berbutir halus dan tanah liat berbutir kasar. Batas Atterberg yang tertera di atas tabel yang harus diingat adalah sebagai berikut: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3.

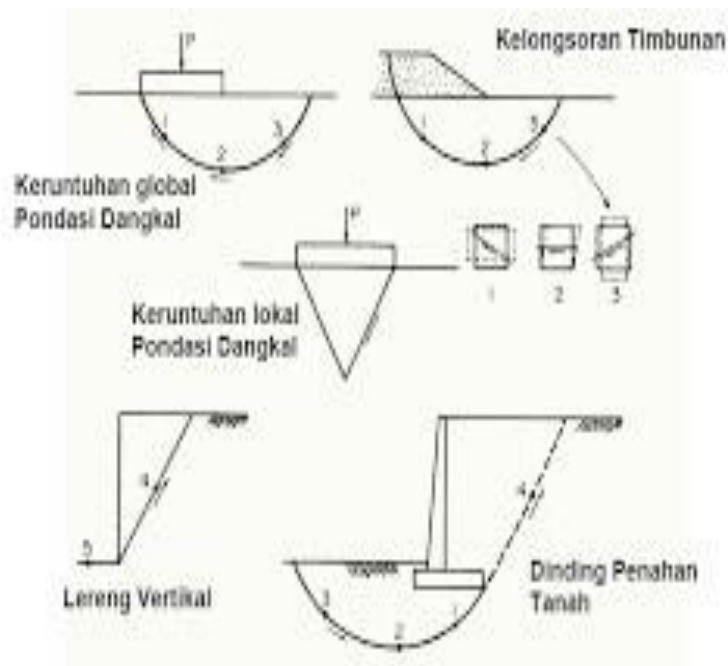
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2498

(Sumber : Dr.Ir. Suyono Sosrodarsono, 1981)

2.2.2 Kekuatan Geser Tanah (Shear Strength)

Secara sepintas kekuatan geser dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu sesuai dengan hal tersebut diatas, seringkali tanah itu dibagi dalam tanah yang kohesif dan tanah yang tidak kohesif. Tanah yang kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya, sedangkan tanah yang non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau hanya sedikit lekatan antara butir-butirnya. Adapun contoh tanah yang tidak kohesif adalah pasir yang mempunyai harga (c=0). Contoh tanah yang tidak kohesif adalah lempung (tanah liat). Kohesi dari lempung diperkirakan disebabkan oleh gravitasi listrik dan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan vertikal lempung. Bila mana tanah berada dalam

keadaan tidak jenuh, meskipun tanah itu tidak kohesif, maka sifat kohesi itu kadang-kadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu.



Gambar 2.15 Kekuatan Geser Tanah

(Sumber : Dr.Ir. Suyono Sosrodarsono, 1981)

2.2.3 Pemadatan Tanah (*Compaction Of Soil*)

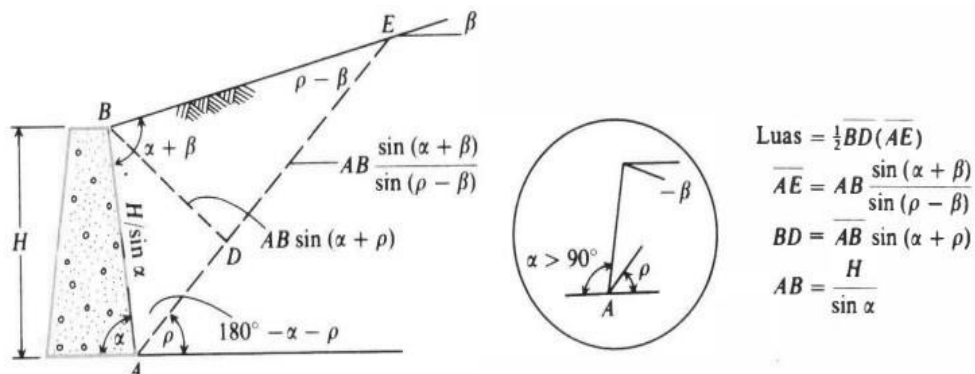
Untuk menguji kekuatan tanah yang dipadatkan, biasanya digunakan percobaan tahanan penetrasi. Pada umumnya kekuatan tanah segera setelah pemadatan selesai menunjukkan harga maksimum pada kadar air yang sedikit lebih rendah dari kadar air optimum. Pada kadar air optimum, kekuatan tanah berkurang sedikit. Tetapi jika tanah ini kemudian menyerap air, tanah yang dipadatkan dengan kadar air yang agak kurang dari kadar air optimum akan mengembang, menjadi agak lembek sehingga kekuatannya berkurang, kekuatan yang maksimum, seperti yang ditunjukkan oleh garis titik pada gambar, akan berada di sekitar kadar air optimum.

2.2.4 Teori Coulomb

Teori Coulomb (Coulomb,1776) untuk tekanan tanah lateral didasari dari kondisi-kondisi dibawah ini :

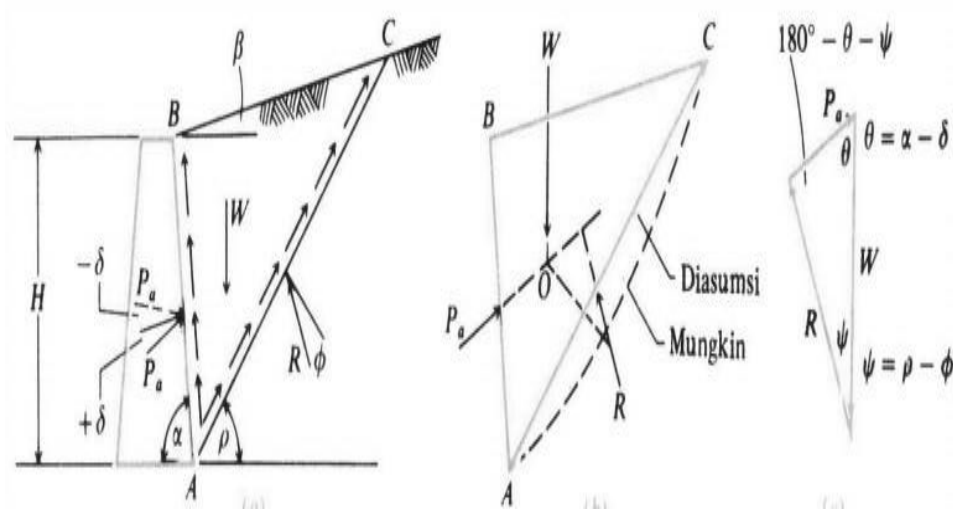
1. Tanah adalah bahan yang isotropis dan homogen, yang mempunyai sudut gesek dan kohesi.
2. Bidang longsor dan permukaan tanah urug adalah bidang rata.
3. Gaya-gaya gesek didistribusikan secara sama di sepanjang bidang longsor dan dengan koefisien gesek $f = \text{tg } \phi$.
4. Tanah dan longsor berbentuk baji, dan merupakan satu kesatuan.
5. Terdapat gesekan antara dinding penahan dan tanah urug. Tanah yang longsor, bergerak di sepanjang sisi belakang dinding penahan mengembangkan gesekan.
6. Keruntuhan pada struktur penahan tanah dianggap sebagai masalah dua dimensi dengan memperhatikan panjang satuan dari dinding yang panjangnya tak terhingga.

Kekurangan utama dalam teori Coulomb ini ialah asumsinya bahwa, tanah ideal dan permukaan runtuh adalah bidang rata (meskipun untuk pasir bersih dalam kasus tekanan aktif, gambar-gambar dari dinding-dinding model menunjukkan bahwa daerah patahan. Persamaan-persamaan yang didasarkan pada teori Coulomb untuk tanah tak kohesi didapat dari Gambar 2.16 dan Gambar 2.17



Gambar 2.16 Keping runtuh persamaan Coulomb untuk tekanan aktif.

(Sumber : Joseph E. Bowles, P.E.,SE)



(a) (b) (c)

Gambar 2.17 (a) Kondisi-kondisi keruntuhan yang diasumsikan;(b) menunjukkan bahwa gaya- gaya resultan tidak melalui titik 0 ; sehingga kesetimbangan statis (static equilibrium) tidak dipenuhi; (c) segitiga gaya untuk menghasilkan Pa.

(Sumber : Joseph E. Bowles, P.E.,SE)

Persamaan dapat ditulis dalam rumus.

$$K_p = \frac{\sin^2 (\alpha - \varphi)}{\sin (\alpha + \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin (\alpha + \delta) \sin (\alpha + \beta)}{\sin (\alpha + \delta) \sin (\alpha + \beta)}} \right)^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- (φ) : Sudut gesek dalam dari tanah.
- (α) : Sudut kemiringan timbunan tanah terhadap bidang horizontal.
- (δ) : Sudut kemiringan tegangan.
- (β) : Sudut kemiringan dinding terhadap bidang vertikal

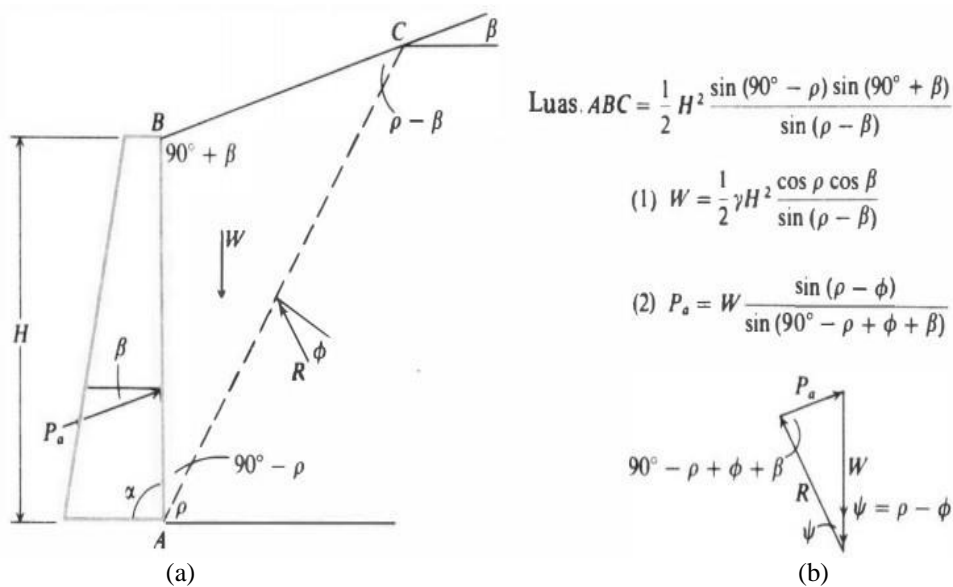
2.2.5 Teori Rankine

Rankine (1857) menganggap tanah sebagai dalam keadaan keseimbangan plastis dan pada hakikatnya memakai asumsi yang sama seperti Coulomb, kecuali bahwa ia menganggap tidak ada gesekan dinding atau kohesi tanah.

Kemudian substitusikan ke dalam pernyataan untuk K_a (dengan membatalkan OB dan memakai $\sin^2 \beta = 1 - \cos^2 \beta$) memberikan rasio tekanan yang bertindak sejajar terhadap pengurusan - belakang lereng β sebagai.

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Komponen horisontal dari tekanan tanah aktif itu diperoleh sebagai $\sigma_{a, \text{hor}} = \sigma_a \cos \beta$ (= OE $\cos \beta$ = OA dari Gambar 2.18).



Gambar 2.18 (a) Sistem struktur tanah untuk pemecahan Rankine untuk $\alpha = 90^\circ$: (b) segitiga gaya di dalam pemecahan Rankine.

(Sumber : Joseph E. Bowles, P.E.,SE)

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 dengan :

$$\Sigma p_a : 0,5 \times H^2 \times \gamma \times K_a$$

Dengan

K_a : Koefisien tekanan tanah aktif

q : Beban terbagi rata (kN/m)

H : Tinggi dinding penahan (m)

γ_b : Berat isi tanah (kN/m³)

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan

\emptyset : Sudut geser dalam

\emptyset : Sudut tanah timbunan

Untuk tanah timbunan datar ($\beta = 0^\circ$), besarnya koefisien tekanan tanah aktif menjadi :

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} : \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\emptyset}{2} \right) \dots \dots \dots (2.19)$$

2.2.6 Teori Mononobe - Okabe

Persamaan tekanan tanah aktif pasif Coulomb dapat dimodifikasi dengan memperhitungkan perubahan koefisien percepatan horizontal yang disebabkan oleh gempa (K_{ae}), secara umum dikenal dengan Mononobe-Okabe analysis. (Mononobe,1929 ; Okabe,1926) telah mengembangkan dasar analisis pseudostatik pada tekanan tanah saat gempa pada struktur dinding penahan tanah dimana telah menjadi populer dikenal sebagai metode Mononobe – Okabe. Teori Mononobe – Okabe merupakan modifikasi dari rumus Coulomb. Beban gempa yang digunakan adalah dalam bentuk percepatan gempa.

Metode Mononobe – Okabe memberikan total gaya aktif yang bekerja pada dinding penahan tanah, tapi tidak memberikan secara eksplisit titik tangkap gaya atau distribusi tekanan tanah dinamis.

$$k_{ae} = \frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2 \beta - \delta \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

- (g) : Percepatan gravitasi
- (φ) : Sudut gesek dalam dari tanah
- (α) : Sudut kemiringan timbunan tanah terhadap bidang horizontal
- (δ) : Sudut kemiringan tegangan
- (β) : Sudut kemiringan dinding terhadap bidang vertikal

2.3 Pengantar Kereta Api

Kereta api adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang bergerak di rel. Kereta api umumnya terdiri dari lokomotif yang dikemudikan oleh tenaga manusia yang disebut masinis dengan bantuan mesin dan rangkain kereta atau gerbong sebagai tempat pengangkutan barang dan atau penumpang. Rangkain kereta atau gerbong disebut berukuran relatif luas sehingga mampu memuat penumpang atau barang dalam skala yang besar. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa Negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antar kota, maupun luar negara. Menurut Salim (2004) angkutan kereta api adalah penyediaan jasa-jasa transportasi di atas rel untuk membawa barang dan penumpang kereta. Kereta api memberikan pelayanan keselamatan, nyaman, dan aman bagi penumpang.

Kereta api ditemukan pada sekitar tahun 1800 dan mengalami perkembangan sampai tahun 1860 (Salim, 2004). Pada mulanya dikenal kereta kuda yang hanya terdiri dari satu kereta (rangkain). Kemudian dibuatlah kereta kuda yang menarik lebih dari satu rangkain serta berjalan di jalur tertentu yang terbuat dari besi (rel). Kereta jenis ini yang kemudian dinamakan sepur atau yang lebih dikenal dengan kereta api, struktur jalan rel dibagi dalam dua bagian yang terdiri dari kumpulan komponen-komponen jalan rel, yaitu:

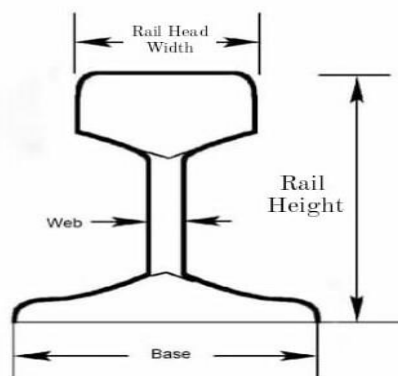
1. Struktur bagian atas.
2. Struktur bagian bawah.
3. Gaya-gaya yang bekerja dari rel.

2.3.1 Struktur Bagian Atas

Struktur bagian atas, atau dikenal sebagai super struktur yang terdiri dari komponen – komponen seperti rel (*rail*) termasuk didalamnya pelat penyambung. Penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper*). Komponen super struktur akan menerima beban pertama kali dari kendaraan lokomotif, kereta atau gerbong. Dengan demikian, seluruh komponen super struktur didesain sekokoh mungkin (kaku) supaya dapat menerima beban dengan baik tanpa mengalami deformasi permanen dan mampu menyebarkan beban kesubstruktur. Berikut penjelasan komponen strukrur bagian atas:

a. Rel (*rail*)

Rel merupakan batangan baja longitudinal yang berhubungan secara langsung, dan memberikan tuntutan dan tumpuan terhadap pergerakan roda kereta api secara berlanjut. Oleh karena itu, rel juga harus memiliki nilai kekuatan tertentu untuk menerima dan mendistribusikan beban roda kereta api dengan baik. Menggunakan lebar sepur sempit, 1067 mm.

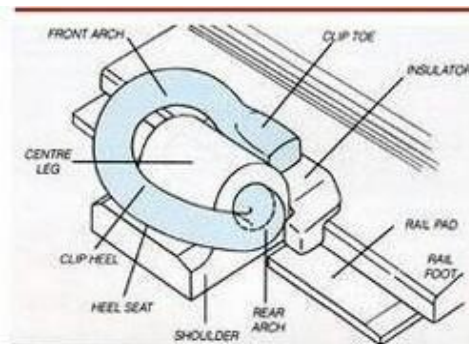


Gambar 2.19 Rel kereta api

(Sumber : Rosyidi, 2015)

b. Penambat (*fastening*)

Untuk menghubungkan diantara bantalan dengan rel digunakan suatu sistem penambat yang jenis dan bentuknya bervariasi sesuai dengan jenis bantalan yang digunakan serta klarifikasi jalan rel yang harus dilayani.

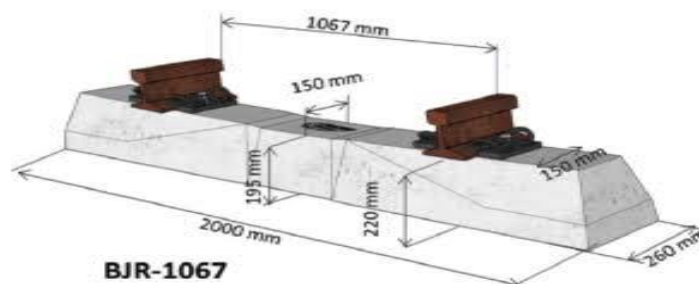


Gambar 2.20 Penambat

(Sumber : Rosyidi, 2015)

c. Bantalan

Bantalan memiliki beberapa fungsi yang penting, diantaranya menerima beban dari rel dan mendistribusikannya kepada lapisan balas dengan tingkat tekanan yang kecil, mempertahankan sistem penambat untuk mengikat rel pada kedudukannya, dan menahan pergerakan rel arah longitudinal, lateral, dan vertical. Bantalan terbagi menurut bahan konstruksinya, seperti bantalan besar, kayu maupun beton. Perancangan bantalan yang baik sangat diperlukan supaya fungsi bantalan dapat optimal.



Gambar 2.21 Bantalan Beton

(Sumber : Rosyidi, 2015)

2.3.2 Struktur Bagian Bawah

Struktur bagian bawah, atau dikenal sebagai *substructure*, yang terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*), dan tanah asli (*natural ground*). Berikut penjelasan dari komponen rel struktur bagian bawah:

a. Balas (*ballast*)

Konstruksi lapisan balas terdiri dari material granular/butiran dan diletakkan sebagai lapisan permukaan (atas) dari konstruksi substruktur. Material balas yang baik berasal dari bantuan yang bersudut, pecah, keras, bergradasi yang sama, bebas dari debu dan kotoran dan tidak pipih (*prone*). Meskipun demikian, pada kenyataannya, klasifikasi butiran di atas sukar untuk diperoleh/dipertahankan, maka dari itu, permasalahan pemilihan material balas yang ekonomis dan memungkinkan secara teknis masih mendapat perhatian dalam kajian dan penelitian. Lapisan balas berfungsi untuk menahan gaya vertical (*uplift*), lateral dan longitudinal yang dibebankan kepada bantalan sehingga dapat mempertahankan jalan rel pada yang telah diisyaratkan.

b. subbalas (*subballast*)

Lapisan diantara lapisan balas dan lapisan tanah dasar adalah lapisan subbalas. Lapisan ini berfungsi sebagaimana lapisan balas, diantaranya mengurangi tekana di bawah balas sehingga dapat didistribusikan kepada lapisan tanah dasar sesuai dengan tingkatannya.

c. Tanah Dasar Dan Tanah Asli

Lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah pada struktur jalan rel yang harus dibangun terlebih dahulu. Fungsi utama dari lapisan tanah dasar adalah menyediakan landasan yang stabil untuk lapisan balas dan subbalas. Perilaku tanah dasar adalah komponen substruktur yang sangat penting yang memiliki peranan signifikan terkait pada sifat teknis dan perawatan jalan rel.

2.3.3 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Rel

Terdapat beberapa gaya yang bekerja pada rel, meliputi gaya vertikal (*vertical*), gaya transversal (*lateral*), gaya longitudinal. Berikut penjelasan dari beberapa gaya tersebut:

a. Gaya Vertikal

Gaya ini adalah beban yang paling dominan dalam struktur jala rel. Gaya vertikal menyebabkan terjadinya defleksi vertikal yang merupakan indikator utama dalam penentuan kualitas, kekuatan, dan umur jalan rel. Secara umum, besarnya gaya vertikal dipengaruhi oleh :

1. Gaya Lokomotif

Jenis lokomotif akan menentukan jumlah bogie dan gandar yang akan mempengaruhi berat beban gandar di atas rel yang dihasilkannya.

2. Gaya Kereta

Karakteristik beban kereta dipengaruhi oleh jumlah bogie dan gandar yang digunakan. Selain itu, faktor kenyamanan penumpang dan kecepatan mempengaruhi beban yang dihasilkan.

3. Gaya Gerbong

Prinsip pembebanan gerbong ialah sama dengan lokomotif dan kereta. Meskipun demikian, kapasitas muatan (beban) gerbong sebagai angkutan barang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban.

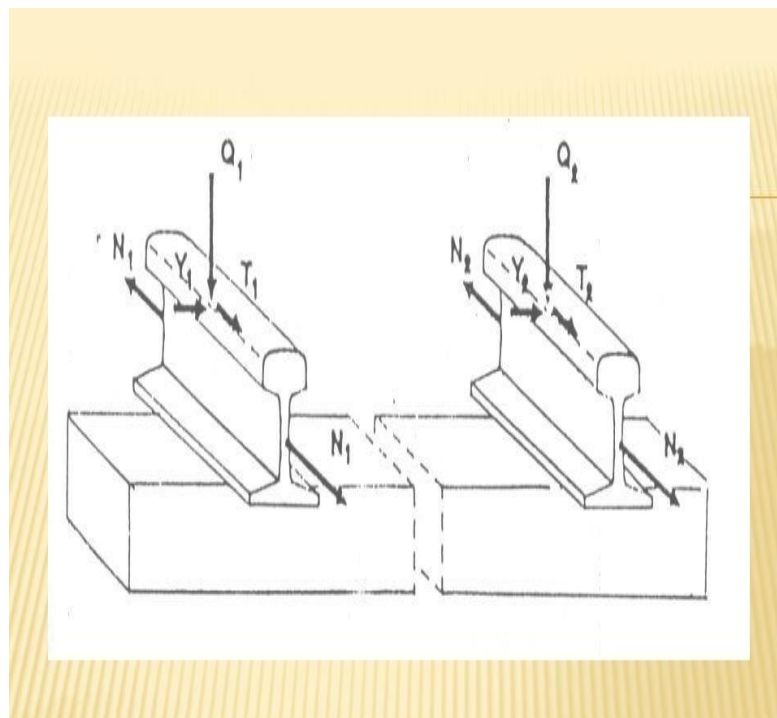
b. Gaya Transversal (*lateral*)

Besaran gaya lateral yang diakibatkan oleh beban kendaraan kereta api ke atas kepala rel dipengaruhi oleh beberapa penyebab, yaitu :

1. Radius tikungan jalan rel, terjadi akibat gaya sentrifugal
2. Kecepatan kendaraan kereta api
3. Panjang dasar roda kendaraan dan konfigurasi bogie
4. Gerak rangkaian kendaraan
5. Ketidakrataan geometrik jalan rel yang bekerja

c. Gaya Longitudinal

Gaya longitudinal diakibatkan oleh perubahan suhu pada rel (*therm stress*) gaya ini sangat penting di dalam analisis gaya terutama untuk konstruksi kereta api yang menggunakan rel panjang. Gaya longitudinal juga merupakan gaya adhesi dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel.



Gambar 2.22 Gaya Yang Terjadi Pada Rel

(Sumber : Rosyidi, 2015)

Keterangan :

Q = Gaya Vertikal

Y = Gaya Lateral

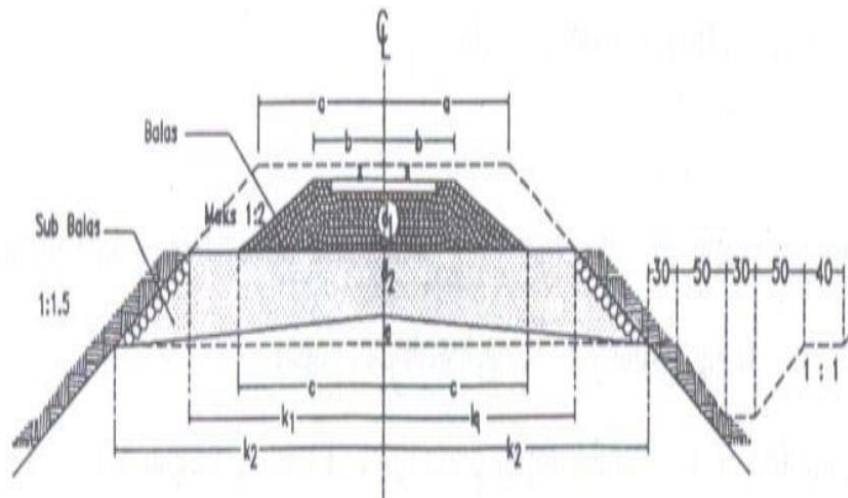
T = Gaya Longitudinal

N = Gaya Akibat Perubahan Suhu

2.4 Pengantar Struktur Jalan Rel

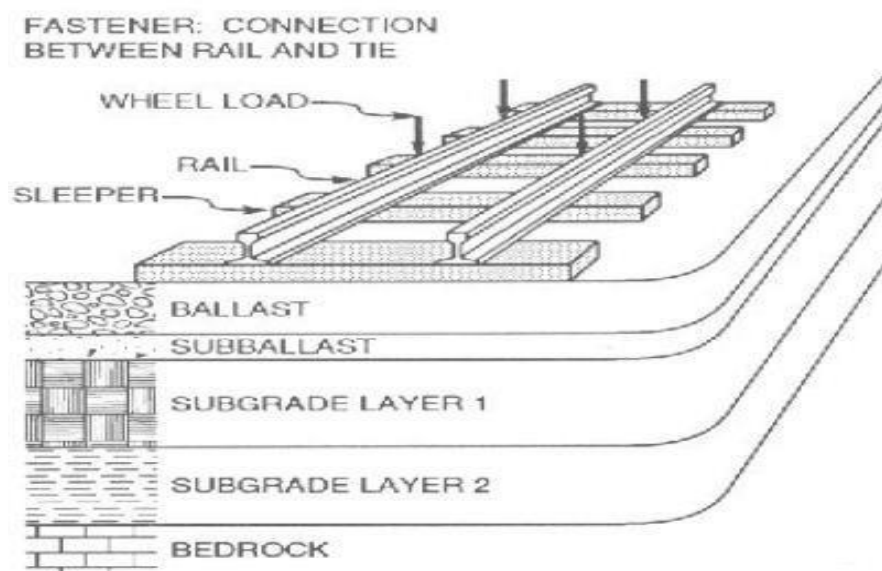
Struktur jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai prasarana atau infrastruktur perjalanan kereta api. Konsep struktur jalan rel adalah rangkaian super dan substruktur yang menjadi satu kesatuan komponen yang

mampu mendukung pergerakan kereta api secara aman. Karena menopang pergerakan kereta api, maka struktur jalan rel merupakan sistem dinamik antar komponen penyusunnya yang dapat mendistribusikan beban rangkaian kereta api dan sekaligus menyediakan pergerakan yang stabil dan nyaman. Dengan demikian, konsep akhir dari distribusi beban ini adalah menyalurkan tegangan dari beban kereta api kepada tanah dasar tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen pada tanah (Rosyidi, 2015).



Gambar 2.23 Konstruksi Jalan Rel

(Sumber : Rosyidi, 2015)



Gambar 2.24 Komponen Penyusun Jalan Rel

(Sumber : Rosyidi, 2015)

Rosyidi (2015), menyebutkan bahwa struktur jalan rel mempunyai beberapa kriteria antara lain sebagai berikut :

1. Kekakuan (*Stiffness*)

Kriteria struktur jalan rel yang kaku difungsikan untuk mempertahankan struktur dari terjadinya deformasi vertikal yang permanen. Deformasi vertikal diakibatkan oleh distribusi beban lalu lintas kereta api yang juga dapat digunakan untuk menilai umur, kekuatan dan kualitas jalan rel.

2. Elastisitas (*Elastic/Resilence*)

Kriteria elastisitas diperlukan untuk menciptakan kenyamanan dalam perjalanan kereta api, menjaga terjadinya patah atau kerusakan berat pada as roda disebabkan oleh pergerakan beban kereta yang cukup besar di atas struktur jalan rel, meredam adanya kejutan akibat pengereman dan pengurangan kecepatan, benturan atau *impact* yang terjadi antara roda dan rel serta getaran vertikal yang bersifat menerus.

3. Ketahanan terhadap deformasi tetap

Deformasi vertikal yang berlebihan akan cenderung menjadi deformasi tetap sehingga geometrik jalan rel (ketidakrataaan vertikal, horisontal dan puntir) menjadi tidak baik, yang pada akhirnya kenyamanan dan keamanan terganggu. Karakteristik sarana yang khusus dalam angkutan kereta api menimbulkan keterbatasan-keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam struktur jalan rel.

4. Stabilitas

Jalan rel yang stabil dapat mempertahankan struktur jalan pada posisi yang tetap/semula (vertikal dan horisontal) setelah pembebanan terjadi. Untuk ini diperlukan balas dengan mutu dan kepadatan yang baik, bantalan dengan penambat yang selalu terikat dan drainasi yang baik. Selain itu, tubuh badan jalan rel perlu didisain dengan baik. Tubuh jalan rel meliputi seluruh struktur jalan kereta api ditambah dengan bangunan-bangunan pelengkap yang diperlukan sepanjang jalan kereta api rencana. Perencanaan tubuh jalan ini didasarkan pada kondisi medan (topografi),

struktur geologi, karakteristik hidrologi, sifat-sifat fisik dan mekanik tanah.

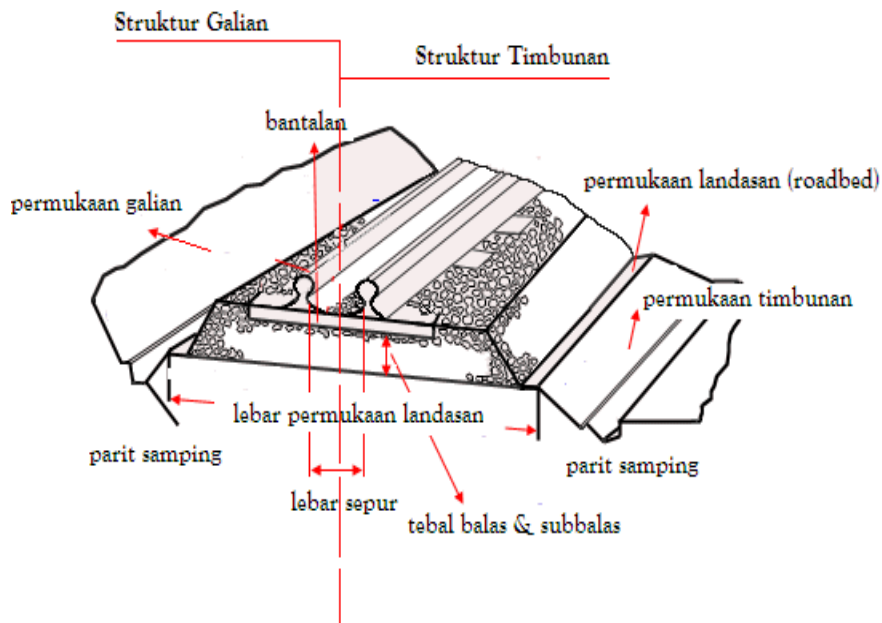
5. Kemudahan untuk pengaturan dan pemeliharaan (*Adjustability*)

Jalan harus memiliki sifat dan kemudahan dalam pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan sehingga dapat dikembalikan ke posisi geometrik dan struktur jalan rel yang benar jika terjadi perubahan geometri akibat beban yang berjalan. Pekerjaan pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan dilakukan oleh operator dan pemerintah. Pekerjaan ini dilakukan untuk memastikan perjalanan kereta api dapat berjalan dengan aman dan nyaman. Audit keselamatan terhadap kesiapan struktur jalan rel untuk dioperasikan seterusnya menjadi isu penting dalam transportasi perkeretaapian. Fasilitas pendukung untuk pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan perlu diperhitungkan sebaik mungkin khususnya untuk trase jalan yang terletak di daerah terpencil dan minimnya akses transportasi pendukung lainnya serta trase yang melewati wilayah yang berisiko (misalnya kawasan banjir, tanah bergerak dan longsor).

Sesuai dengan tipe konstruksinya, jalan rel dapat dibagi dalam dua bentuk konstruksi, yaitu:

1. Jalan rel dalam konstruksi timbunan.
2. Jalan rel dalam konstruksi galian.

Jalan rel dalam konstruksi timbunan biasanya terdapat pada daerah (medan) yang cenderung datar, sedangkan jalan rel pada konstruksi galian umumnya terdapat pada medan pegunungan. Gambar 2.22 menunjukkan contoh potongan konstruksi jalan rel pada daerah galian (potongan di sebelah kiri) dan konstruksi pada daerah timbunan (potongan di sebelah kanan).

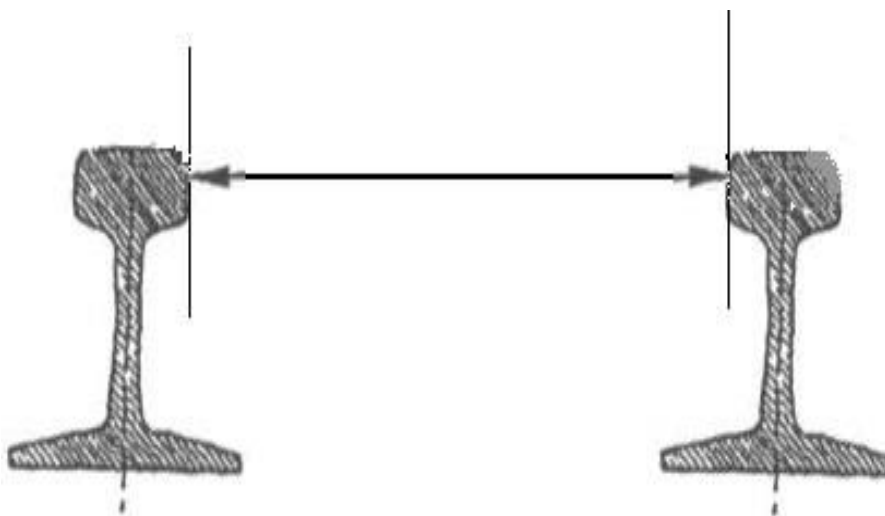


Gambar 2.25 Contoh potongan jalan rel pada struktur galian dan timbunan
(Sumber : Rosyidi, 2015)

Secara umum jalan rel di Indonesia dibedakan menurut beberapa klasifikasi antara lain sebagai berikut :

1. Klasifikasi jalan rel menurut lebar sepur

Lebar sepur merupakan jarak terkecil di antara kedua sisi kepala rel (bagian dalam) diukur pada daerah 0 – 14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel (Gambar 2.22).



Gambar 2.26 Ukuran lebar sepur pada struktur jalan rel
(Sumber : Rosyidi, 2015)

2.5 Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

2.5.1 Definisi Beban Dinamis

Beban dinamis dapat diartikan “bervariasi” terhadap waktu dan konteks gaya yang bekerja (*eksitasi*) pada struktur. Variasi beban dinamis dapat berupa besaran nya (*magnitude*), arahnya (*direction*) dan atau titik pangkatnya (*point of application*), respon struktur tersebut, bekerja pada defleksi dan tegangan yang bervariasi pula terhadap waktu (sama dengan respon dinamis), baik respon dinamis maupun respon statis (akibat beban statis).

Selain kekakuan (*stiffness*) respon dinamis sangat di pengaruhi pula oleh massa dan redaman struktur inilah yang sangat membedakan antara masalah-masalah dalam analisa dinamis dan statis.

Selain sifat pembebanan yang berbeda, percepatan yang di timbulkan dalam beban dinamis memiliki peranan yang amat penting dalam analisa dinamis.

Defleksi dan tegangan internal yang timbul dalam kasus beban statis hanya ditimbulkan langsung oleh beban $p(t)$ menimbulkan gaya inerti yang di distribusi pada seluruh bagian batang, selain akibat $p(t)$ tadi, defleksi pada batang sangat di pengaruhi pula oleh gaya inerti yang ditimbulkan oleh massa batang ketika mengalami akselerasi. Jika pengaruh inersia tersebut sangat signifikan, maka perlu analisa dinamis.

2.5.2 Pembagian Beban Dinamis

Adapun yang dimaksud dengan beban dinamis, meliputi:

1. periodik (berulang)
2. kejut (impuls)
3. acak (random)

2.5.3 Contoh Beban Dinamis

Adapun yang dimaksud dengan contoh beban dinamis, meliputi:

1. getaran yang diakibatkan kereta api
2. gempa
3. ledakan bahan peledak atau bom-bom

2.5.4 Contoh Getaran Beban Dinamis

Getaran adalah suatu gerak bolak balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan disini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitude (jarak simpang terjauh dengan titik tengah) yang sama.

Adapun getaran akibat mesin yaitu:

a. Getaran Bebas

Terjadi bila system mekanis dimulai dengan gaya awal, kalau dibiarkan bergetar dengan cara bebas. Contoh seperti getaran mesin yang dinyalakan.

b. Getaran Paksa

Terjadi bila gaya bolak balik atau gerakan diterapkan pada sistem mekanis, contohnya adalah getaran dinding penahan tanah saat gempa bumi.