

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dinding Penahan Tanah

Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan tanah relatif ke arah lateral terhadap dinding (H. C. Hardiyatmo: 2010). Tekanan tanah ini cenderung menggulingkan dan menggeserkan struktur dinding (C. K. Wang, dkk: 1993).

##### 2.1.1 Tipe-Tipe Dinding Penahan Tanah

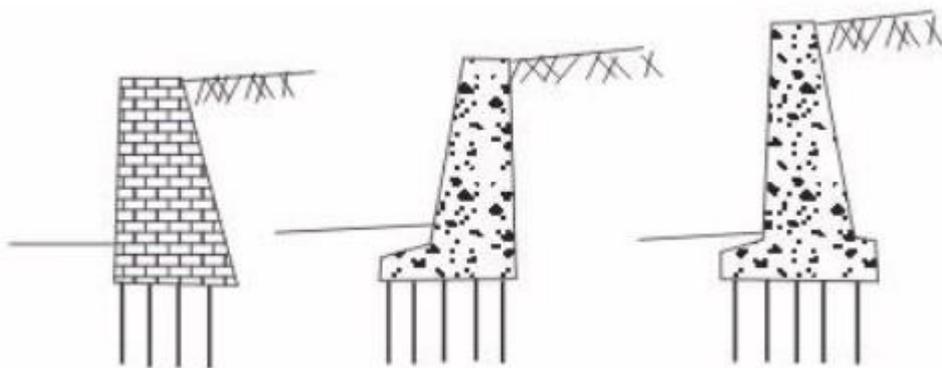
Di dalam konstruksi dinding penahan tanah, dikenal konstruksi dinding penahan tanah kaku dan konstruksi dinding penahan tanah lentur atau bisa disebut konstruksi dinding turap atau dinding turap aja (J. Hadihardaja: 1997).

##### 2.1.1.1 Dinding Penahan Tanah Kaku

Terdapat beberapa tipe dinding penahan tanah berdasarkan strukturnya:

##### 1. Dinding gravitasi (*gravity wall*)

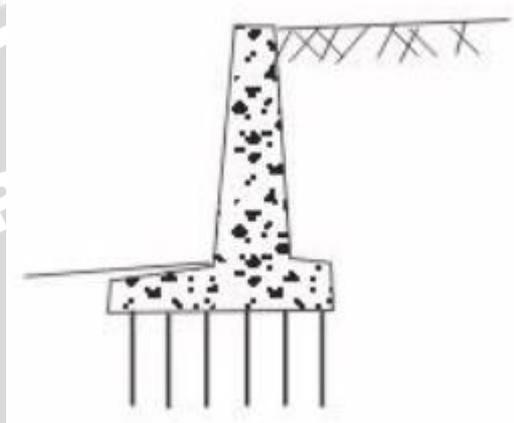
Dinding penahan ini terbuat terbuat dari beton tidak bertulang atau pasangan batu kali. Terkadang terdapat sedikit tulangan pada permukaan dinding beton untuk mencegah retakan permukaan akibat perubahan temperatur (H. C. Hardiyatmo: 2010). Biasanya tinggi dinding ini mencapai 10 kaki (C. K. Wang, dkk: 1993).



Gambar 2.1: Dinding gravitasi.

2. Dinding semi gravitasi (*semi gravity wall*)

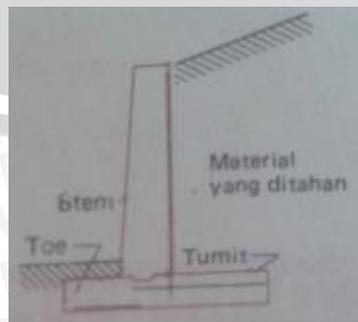
Dinding ini merupakan dinding gravitasi yang berbentuk agak ramping. Karena ramping, pada strukturnya diperlukan penulangan beton vertikal yaitu hanya pada bagian dinding saja. Tulangan beton ini berfungsi sebagai pasak untuk menghubungkan bagian dinding dan pondasi (H. C. Hardiyatmo: 2010). Biasanya tinggi dinding ini mencapai 13 kaki (C. K. Wang, dkk: 1993).



**Gambar 2.2:** Dinding semi gravitasi.

3. Dinding kantilever (*cantilever wall*)

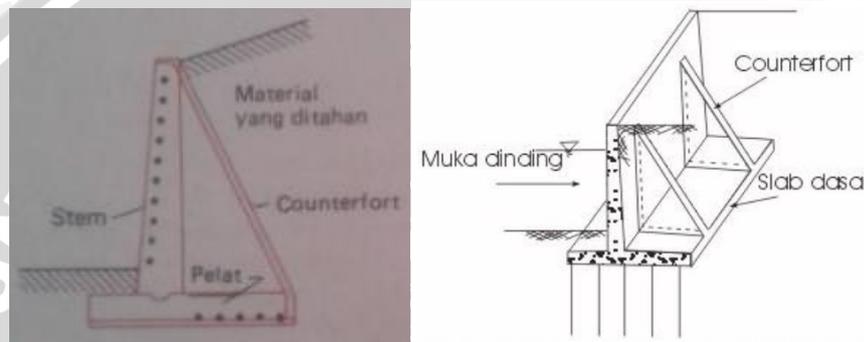
Dinding ini merupakan dinding penahan tanah yang paling umum digunakan. Dinding kantilever terdiri dari kombinasi dinding dan pondasi beton bertulang yang berbentuk huruf T. Ketebalan dari kedua bagian ini relatif tipis dan secara penuh dipasang tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja (H. C. Hardiyatmo: 2010). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai kantilever, yaitu bagian dinding vertikal (*stem*), tumit tapak dan ujung kaki tapak (*toe*). Biasanya tinggi dinding ini sekitar 10 kaki hingga 25 kaki (C. K. Wang, dkk: 1993).



**Gambar 2.3:** Dinding kantilever.

4. Dinding *counterfort* (*counterfort wall*)

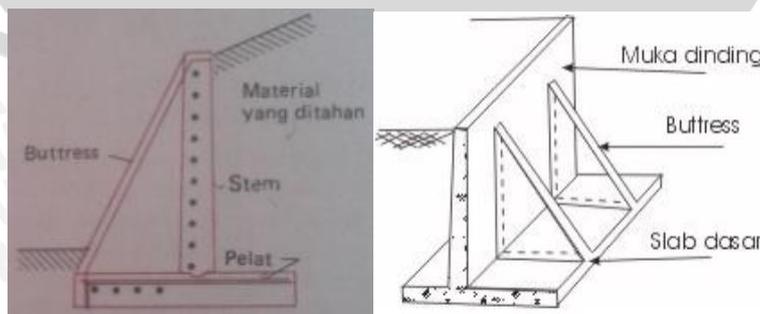
Dinding ini terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang disatukan dan didukung oleh pelat atau dinding transversal yang disebut *counterfort* atau dinding penguat (H. C. Hardiyatmo: 2010). *Counterfort* ditempatkan di atas pelat pondasi pada jarak atau interval tertentu yang diisi dengan tanah urug diantara *counterfort*nya. Fungsi pemasangan *counterfort* ini sebagai ikatan tarik di dalam menyokong badan dinding. Biasanya tinggi dinding ini mencapai 25 kaki (C. K. Wang, dkk: 1993).



Gambar 2.4: Dinding *counterfort*.

5. Dinding galang (*buttress wall*)

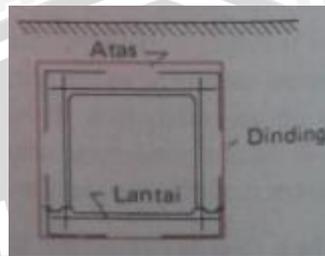
Dinding sejenis ini menyerupai dinding *counterfort*, tapi dinding penahan transversal ditempatkan di pihak yang berlawanan dari tanah yang bekerja dan berfungsi sebagai batang tekan. Namun dinding ini lebih jarang dipakai dari pada dinding *counterfort*. Hal ini disebabkan karena penempatan dinding *counterfort* tersembunyi di bawah permukaan tanah yang bekerja. Sedangkan dinding penggalang membutuhkan ruangan yang dapat digunakan di depan dinding. Biasanya tinggi dinding ini hampir sama dengan dinding *counterfort* yaitu mencapai 25 kaki (C. K. Wang, dkk: 1993).



Gambar 2.5: Dinding galang.

#### 6. Boks *culvert* (*culvert box*)

Boks seperti ini dapat dibuat dari satu atau dua lubang yang berfungsi sebagai portal kaku tertutup. Dinding penahan tanah ini tidak hanya menahan tekanan tanah lateral tetapi juga beban vertikal dari tanah atau struktur di atas tanah (C. K. Wang, dkk: 1993).



**Gambar 2.6:** Boks *culvert*.

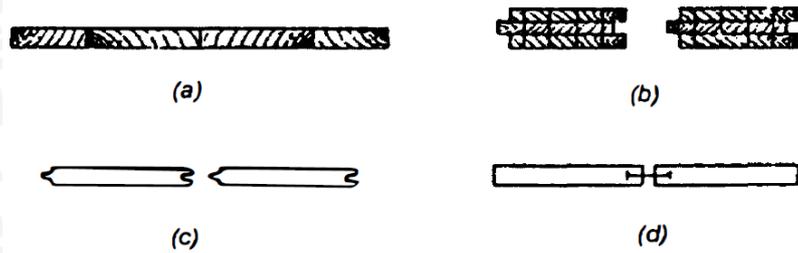
#### 2.1.1.2 Dinding Penahan Tanah Lentur

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah, turap banyak digunakan pada pekerjaan seperti penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain. Dinding turap tidak cocok untuk menahan tanah timbunan yang sangat tinggi karena akan memerlukan luas tampang bahan turap yang besar. Selain itu, dinding turap juga tidak cocok digunakan pada tanah yang mengandung banyak batuan-batuan, karena menyulitkan pemancangan.

Tipe-tipe turap dapat dibedakan menurut bahan yang digunakan. Bahan turap tersebut bermacam-macam, contohnya adalah kayu, beton bertulang, dan baja.

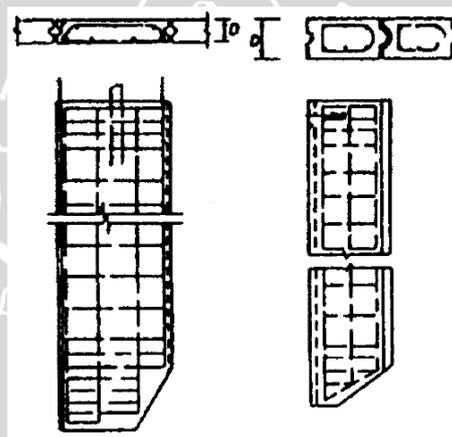
##### 1. Turap kayu

Turap kayu digunakan untuk dinding penahan tanah yang tidak begitu tinggi, karena tidak kuat menahan beban-beban lateral yang besar. Turap ini tidak cocok digunakan pada tanah berkerikil, karena turap cenderung pecah bila dipancang. Bila turap kayu digunakan untuk bangunan permanen yang berada di atas muka air, maka perlu diberikan lapisan pelindung agar tidak mudah lapuk. Turap kayu banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan sementara, misalnya untuk penahan tebing galian. Bentuk-bentuk susunan turap kayu dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7: Turap kayu.

2. Turap beton merupakan balok-balok beton yang telah dicetak sebelum dipasang dengan bentuk tertentu. Balok-balok turap dibuat saling mengkait satu sama lain. Masing-masing balok, kecuali dirancang kuat menahan beban-beban yang bekerja pada turap, juga terhadap beban-beban yang akan bekerja pada waktu pengangkatannya. Ujung bawah turap biasanya dibentuk meruncing untuk memudahkan pemancangan.

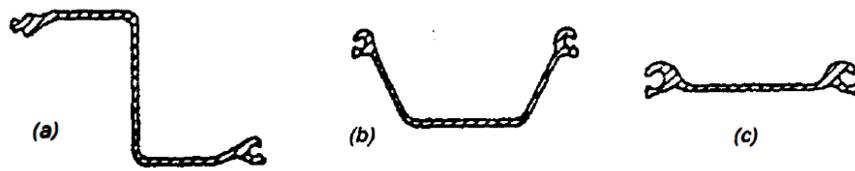


Gambar 2.8: Turap beton.

3. Turap baja

Turap baja sangat umum digunakan, karena lebih menguntungkan dan mudah penanganannya. Keuntungan-keuntungannya antara lain:

- a. Turap baja kuat menahan gaya-gaya benturan pada saat pemancangan.
- b. Bahan turap relatif tidak begitu berat.
- c. Turap dapat digunakan berulang-ulang.
- d. Turap baja mempunyai keawetan yang tinggi.
- e. Penyambungan mudah, bila kedalaman turap besar.

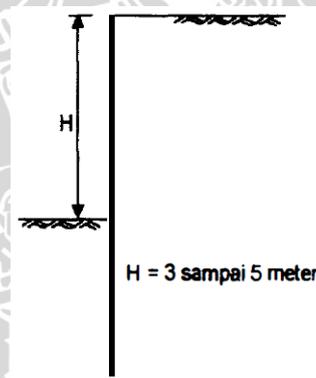


Gambar 2.9: Turap baja.

Tipe-tipe turap juga dapat dibedakan menurut strukturnya, yaitu dinding turap kantilever, dinding turap diangker, dinding turap dengan landasan/panggung (*platform*) yang didukung tiang-tiang, dan bendungan elak seluler (*cellular cofferdam*)

### 1. Dinding Turap Kantilever

Dinding turap kantilever merupakan turap yang dalam menahan beban lateral mengandalkan tahanan tanah di depan dinding. Defleksi lateral yang terjadi relatif besar pada pemakaian turap kantilever. Karena luas tampang bahan turap yang dibutuhkan bertambah besar dengan ketinggian tanah yang ditahan (akibat momen lentur yang timbul), turap kantilever hanya cocok untuk menahan tanah dengan ketinggian sedang.

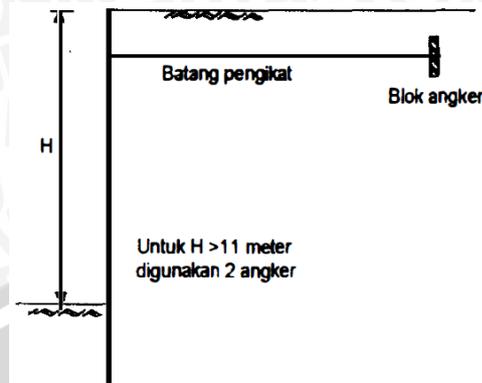


Gambar 2.10: Dinding turap kantilever.

### 2. Dinding Turap Diangker

Dinding turap diangker cocok untuk menahan tebing galian yang dalam, tetapi masih juga bergantung pada kondisi tanah. Dinding turap ini menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan tanah pada bagian turap yang terpancang ke dalam tanah dengan di bantu oleh angker yang dipasang pada bagian atasnya. Kedalaman turap menembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah. Untuk dinding turap yang tinggi, diperlukan turap baja dengan kekuatan tinggi. Stabilitas dan tegangan-tegangan pada turap yang diangker bergantung pada banyak faktor. Misalnya kekakuan relatif bahan turap, kedalaman penetrasi

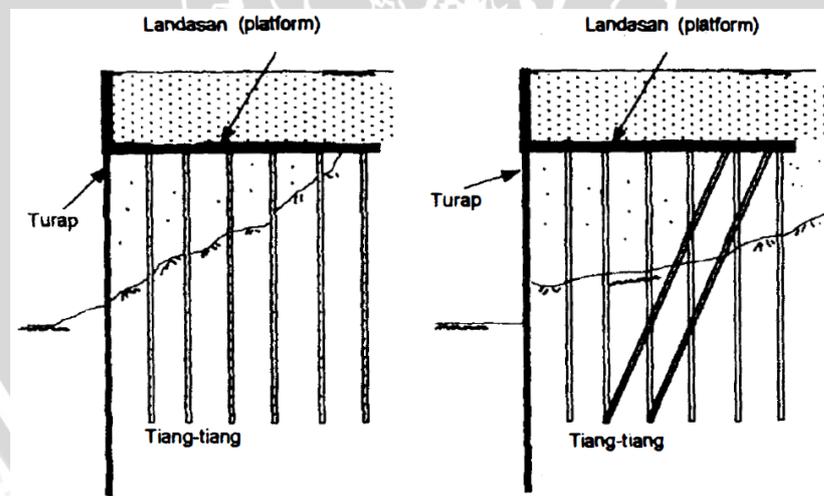
turap, kemudah mampatan tanah, kuat geser tanah, keluluhan anker dan lain-lainnya.



Gambar 2.11: Dinding turap diangker.

### 3. Dinding Turap dengan Landasan (*Platform*)

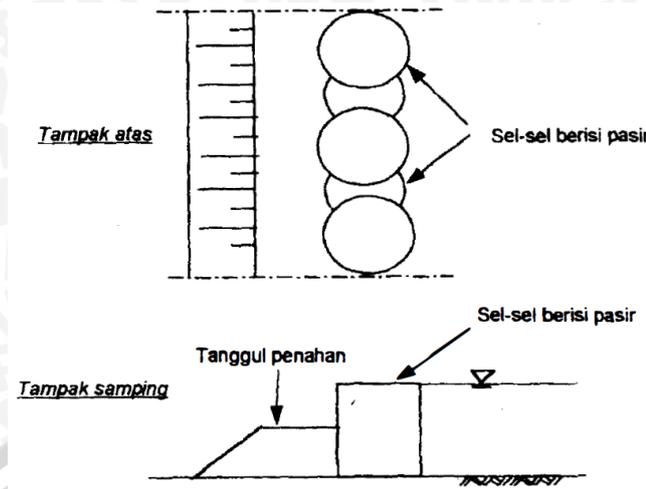
Dinding turap semacam ini dalam menahan tekanan tanah lateral dibantu oleh tiang-tiang, dimana di atas tiang-tiang tersebut dibuat landasan untuk meletakkan bangunan tertentu (Gambar 2.12). Tiang-tiang pendukung landasan juga berfungsi untuk mengurangi beban lateral pada turap. Dinding turap ini dibuat bila di dekat lokasi dinding turap direncanakan akan dibangun jalan kereta api, mesin derek, atau bangunan-bangunan berat lainnya.



Gambar 2.12: Dinding turap dengan landasan yang didukung tiang-tiang.

### 4. Bendungan Elak Seluler

Bendungan elak seluler (*cellular cofferdam*) merupakan turap yang berbentuk sel-sel yang diisi dengan pasir (Gambar 2.13). Dinding ini menahan tekanan tanah dengan mengandalkan beratnya sendiri.



Gambar 2.13: Bendungan elak selular. (H. C. Hardiyatmo: 2001).

## 2.1.2 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah

Besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah sangat mempengaruhi dinding sehingga mengalami guling dan geser. Gaya-gaya tersebut adalah akibat tekanan tanah lateral dan beban di atas permukaan tanah (C. K. Wang, dkk: 1993).

### 2.1.2.1 Tekanan Tanah Lateral

Terdapat tiga kondisi tanah saat memberikan tekanan terhadap dinding, yaitu aktif, pasif, dan diam atau seimbang.

#### 1. Tekanan tanah aktif

Tekanan tanah yang timbul karena tanah bergerak di arah yang sama dengan gerakan perpindahan dinding atau dinding menjahui tanah. Besar tekanan tanah aktif total ( $P_a$ ) untuk dinding penahan tanah setinggi  $H$  dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a \quad \text{untuk tanah non kohesif}$$

dengan arah garis kerja tekanan yang sejajar permukaan tanah urug dan bekerja pada ketinggian  $H/3$  dari dasar dinding penahan.

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{untuk permukaan tanah horizontal } (\beta) = 0$$

Dimana:  $\gamma$  = berat jenis tanah

$c$  = kohesi tanah dasar

$\phi$  = sudut geser dalam

$\beta$  = sudut kemiringan permukaan tanah urug terhadap horizontal

2. Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah yang timbul pada saat struktur bergerak melawan tanah aktif. Besar tekanan tanah pasif total ( $P_p$ ) untuk dinding penahan tanah setinggi  $H$  dinyatakan oleh persamaan:

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p \quad \text{untuk tanah non kohesif}$$

Titik tangkap gaya tekanan tanah pasif terletak pada  $H/3$  dari dasar dinding penahan dan arahnya sejajar dengan permukaan tanah.

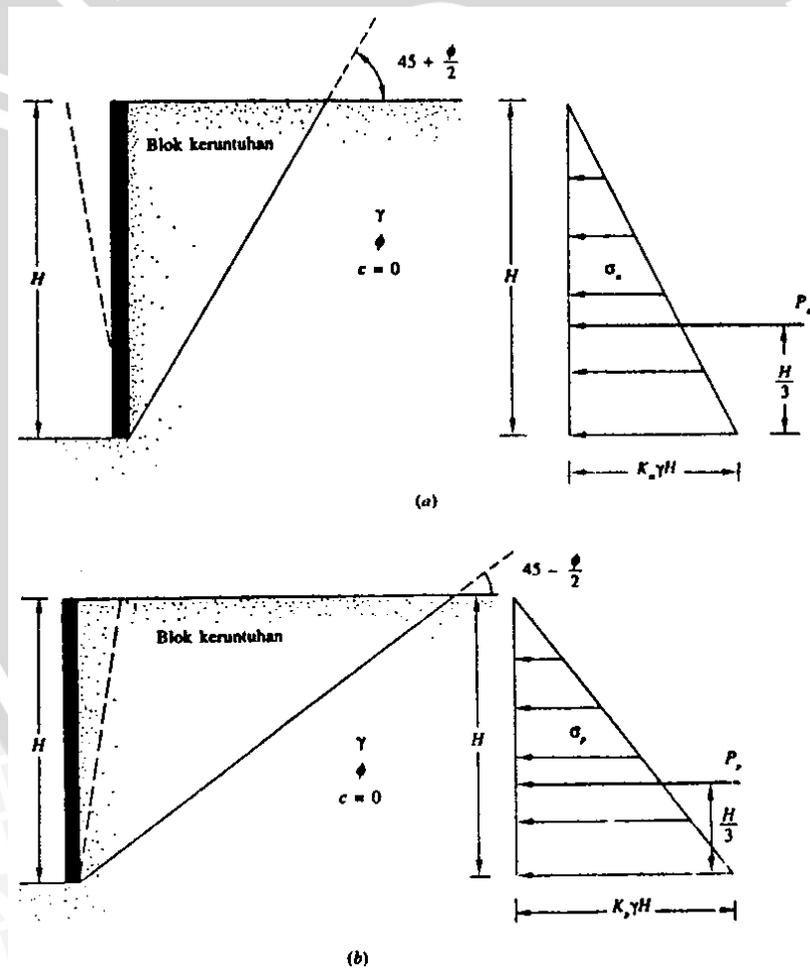
$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \quad \text{untuk permukaan tanah horizontal } (\beta) = 0$$

Dimana:  $\gamma$  = berat jenis tanah

$c$  = kohesi tanah dasar

$\phi$  = sudut geser dalam

$\beta$  = sudut kemiringan permukaan tanah urug terhadap horizontal

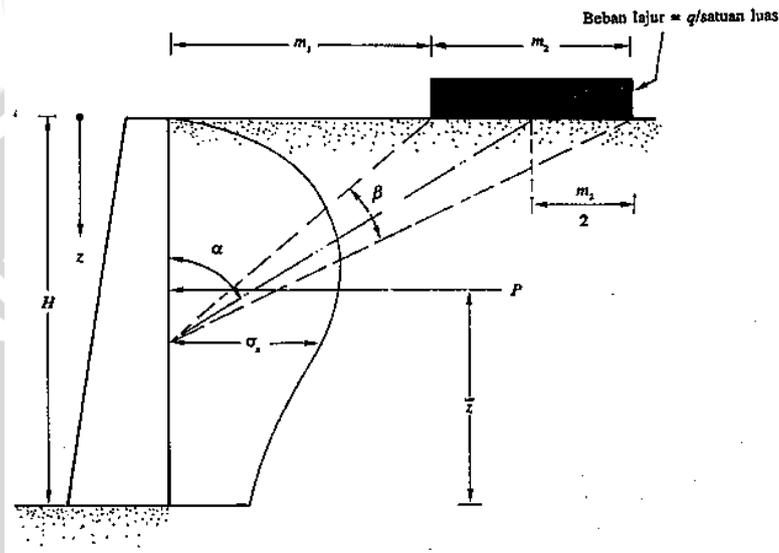


**Gambar 2.14:** Distribusi tekanan pada dinding menurut Rankine  
(a). Tekanan tanah aktif dan (b). Tekanan tanah pasif.

### 3. Tekanan tanah diam atau seimbang

Tekanan tanah pada saat dinding dan tanah pada kondisi diam, sehingga tanah pada kedudukan ini masih dalam kondisi elastis. Tekanan tanah seimbang mempunyai nilai tengah antara kedua tekanan di atas. Penetapan besarnya cukup sulit sehingga dalam struktur lebih sering dipakai tanah aktif dan pasif.

#### 2.1.2.2 Beban di Atas Permukaan Tanah (Beban Lajur)



**Gambar 2.15:** Tekanan ke samping pada tembok yang disebabkan oleh beban lajur.

**Gambar 2.15** menunjukkan suatu beban lajur sebesar  $q$ /satuan luas terletak pada jarak  $m_1$  dan tembok yang mempunyai ketinggian  $H$ . Menurut teori elastisitas, tegangan arah horisontal  $\sigma_x$  pada kedalaman  $z$ , yang bekerja pada tembok, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{q}{H} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha)$$

Sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dilihat dalam Gambar 2.9. Untuk perilaku tanah yang sesungguhnya, persamaan di atas dapat dimodifikasi menjadi

$$\sigma_x = \frac{2q}{H} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha)$$

Perilaku distribusi tegangan  $\sigma_x$  dengan kedalaman diberikan dalam Gambar 2.9. Gaya  $P$ , per satuan lebar tembok yang disebabkan oleh beban lajur dapat dihilangkan dengan cara mengintegrasikan  $\sigma_x$ , dengan batas-batas dan  $z$  sama dengan not sampai dengan  $H$ . Jarquio (1981) telah menuliskan besarnya  $P$  dalam bentuk sebagai berikut:

$$P = \frac{q}{90} [H(\theta_2 - \theta_1)]$$

dengan

$$\theta_1(\text{derajat}) = \tan^{-1} \left( \frac{m_1}{H} \right)$$

$$\theta_2(\text{derajat}) = \tan^{-1} \left( \frac{m_1 + m_2}{H} \right) \quad (\text{Das: 1993})$$

### 2.1.3 Pengaruh Tekanan Rembesan pada Dinding Penahan Tanah

Pada waktu hujan deras, berat volume tanah di belakang dinding penahan tanah akan bertambah akibat naiknya kadar air tanah. Jika perlengkapan drainase tidak diberikan, air akan merembes ke bawah melewati dasar pondasi dan naik sampai dipermukaan tanah di depan dinding. Akibat rembesan air yang melewati tanah ini sebagai berikut:

1. Berat tanah urug bertambah. Akibatnya, tekanan tanah juga bertambah karena berat volume tanah ( $\gamma$ ) bertambah. Karena itu, jika perancangan pada tanah berupa lanau atau lempung sebaiknya didasarkan pada kondisi jenuh air. Karena tanah-tanah ini cenderung menahan air pada jangka waktu yang lama.
2. Gaya angkat (*uplift*) akan timbul pada permukaan bidang runtuh.
3. Gaya angkat timbul pada dasar pondasi dinding penahan
4. Pengurangan tekanan tanah pasif di depan dinding

Tekanan rembesan pada bagian depan dinding yang arahnya ke atas akan berakibat mengurangi berat volume efektif tanah. Bila tekanan rembesan sangat besar maka tanah bagian depan dapat kehilangan beratnya sehingga tanah dalam kondisi mengapung (H. C. Hardiyatmo: 2010).

$$\gamma' = \gamma_b = \gamma \text{ sub}$$

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

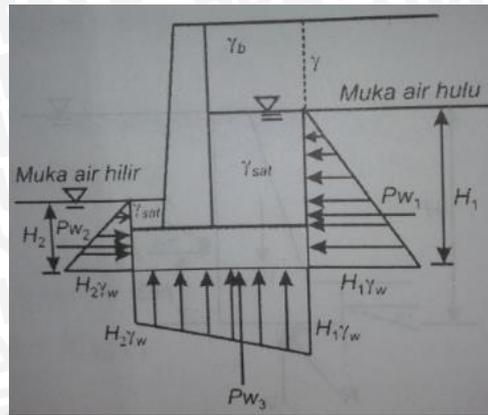
dimana:

$$\gamma = \text{berat isi tanah (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma' = \gamma_b = \gamma \text{ sub} = \text{berat isi tanah terendam (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{berat isi air} = 1 \text{ t/m}^3 \quad \text{untuk air tawar}$$

$$= 1,03 \text{ t/m}^3 \quad \text{untuk air laut (J. Hadihardaja: 1997)}$$



**Gambar 2.16:** Tekanan air di sekeliling dinding penahan tanah.

Untuk mengurangi tekanan rembesan yang terlalu besar tersebut, struktur dinding penahan tanah dilengkapi dengan bangunan drainase. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan material granular sebagai bahan timbunan yang dilengkapi dengan bangunan drainase. Tekanan rembesan dalam massa tanah dapat ditentukan dengan cara jaring arus (*flow-net*). Dari gambar jaring arus tersebut, kecuali gaya tekanan air total ke dinding penahan dapat dihitung dan tekanan air ke atas (*uplift*) pada dasar pondasi dapat pula ditentukan yaitu dengan memperhatikan perpotongan garis-garis ekipotensial dengan dasar pondasi dinding. Dalam perancangan, tekanan air di sekeliling dinding penahan tanah diasumsikan berdistribusi linier. Umumnya, tekanan air ( $P_w$ ) akan mengurangi faktor aman (H. C. Hardiyatmo: 2010).

#### 2.1.4 Drainase pada Dinding Penahan Tanah

Dalam perancangan, umumnya lebih diinginkan memasang sistem drainase pada tanah. Jika tidak, tekanan lateral yang besar akan timbul di bagian belakang dinding akibat jenuhnya tanah di saat hujan lebat. Drainase dinding penahan tanah dapat dibuat dari yang sederhana sampai dengan yang lebih baik sesuai fungsi dinding penahan tanah. Adapun jenis-jenis drainase dinding penahan tanah dapat dibedakan sebagai berikut:

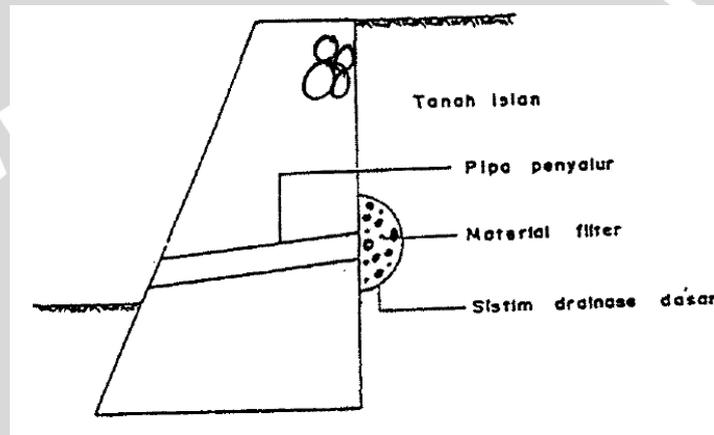
1. Drainase dasar (*bottom drain*)

Drainase ini merupakan sistem drainase yang paling sederhana untuk digunakan pada dinding penahan tanah. Drainase ini bertujuan mengumpulkan air yang berada di belakang (air yang terdapat pada tanah). Air yang terkumpul tersebut kemudian dialirkan ke depan dinding melalui saluran, pipa, atau lubang yang menembus dinding penahan tanah. Supaya drainase pengumpul tidak tersumbat

oleh partikel tanah, maka drainase harus dikelilingi dengan filter granuler. Bahan filter harus memenuhi syarat sebagai material filter.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sistem drainase ini adalah:

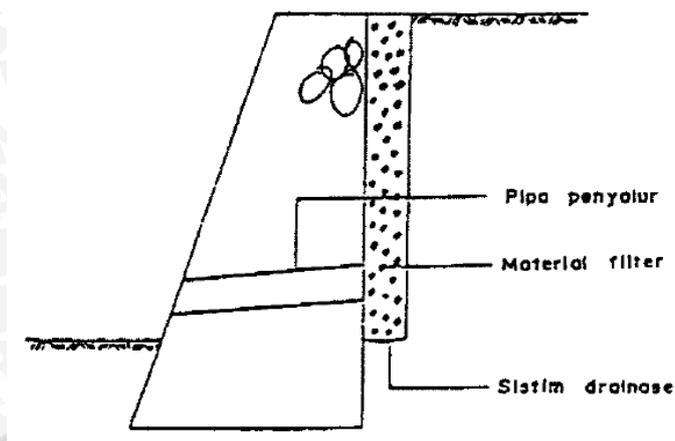
- Cara ini tidak dianjurkan untuk tanah liat atau tanah lanau karena tanah tersebut mempunyai permeabilitas rendah sehingga kecepatan air menuju sistem drainase berjalan lambat, akibatnya mungkin termobilisasi tekanan air yang ada di bagian belakang dinding (terutama pada saat musim hujan lebat).
- Cara ini cocok untuk tanah yang mempunyai permeabilitas tinggi (J. Hadihardaja: 1997)



**Gambar 2.17:** Drainase dasar.

## 2. Drainase belakang (*back drain*)

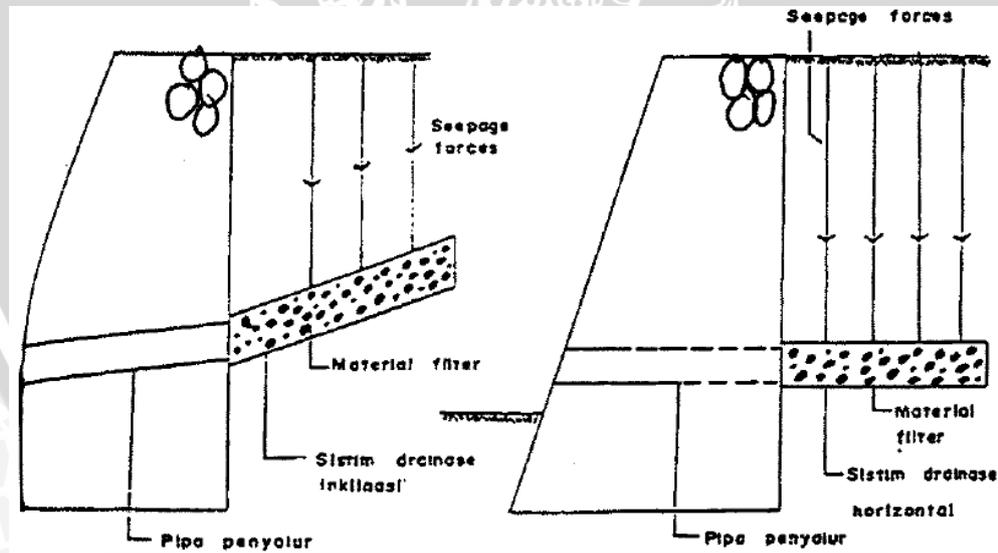
Drainase ini merupakan sistem yang lebih baik. Lapisan pasir dan kerikil bergradasi tertentu yang memenuhi syarat sebagai filter diletakkan di bagian belakang dinding. Air yang terkumpul dikeluarkan lewat lubang. Sistem ini memberikan drainase di sepanjang bagian belakang dinding, sehingga tidak ada tekanan air pori berkembang karena sistem ini dapat mengalirkan air dengan cepat. Tetapi, jika tanah urugya lanau atau lempung maka tekanan air pori dapat berkembang lumayan besar sehingga mengurangi kestabilan dinding (H. C. Hardiyatmo: 2010).



Gambar 2.18: Drainase belakang.

3. Drainase miring atau horizontal (*inclined atau horizontal drain*)

Drainase ini dapat menghilangkan tekanan air pori di belakang dinding. Sistem ini secara efektif akan menurunkan muka air tanah menuju ke arah sistem drainase. Bila terjadi hujan lebat, infiltrasi air selama hujan akan berarah ke bawah, sehingga gaya rembesan juga ke bawah. Drainase miring dan horizontal bisa digunakan dengan drainase belakang untuk kesempurnaannya (H. C. Hardiyatmo: 2010).

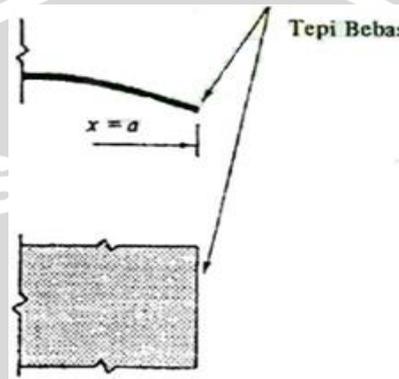


Gambar 2.19: Drainase inklinasi dan horizontal.

## 2.2 Deformasi Lateral pada Dinding

### 2.2.1 Deformasi dengan Persamaan Diferensial dan Kondisi Batas

Penyelesaian untuk persamaan pelat harus memenuhi persamaan diferensial dan kondisi batas (*boundary condition*) masalah pelat tertentu. Komponen perpindahan yang dipakai dalam persamaan kondisi batas adalah lendutan lateral dan kemiringan (putaran sudut). Berikut ini adalah gambar dari kondisi batas pelat tepi jepit bebas yang mengalami lentur secara umum.



**Gambar 2.20:** Kondisi batas pelat tepi jepit bebas yang mengalami lentur secara umum. (sumber: Stress in Plates and Shell, A.C. Ural, Mc Graw-Hill Book Company)

Pada kondisi tepi statis, gaya-gaya tepi memberikan persamaan matematis yang diperlukan. Di tepi bebas suatu pelat yang tidak dibebani, dapat dikatakan bahwa momen dan gaya geser vertikal ( $Q$ ) di tepi tersebut sama dengan nol. Maka dapat ditulis:

$$\begin{aligned}(M_x)_{x=a} &= 0 \\ (M_{xy})_{x=a} &= 0 \\ (Q_x)_{x=a} &= 0\end{aligned}$$

Kondisi batas untuk tepi bebas dalam bentuk ini dinyatakan oleh Poisson, tetapi kemudian Kirchhoff membuktikan bahwa tiga buah kondisi batas terlalu banyak. Persyaratan Poisson yang berhubungan momen puntir  $M_{xy}$  dan gaya geser  $Q_x$  harus digantikan oleh sebuah kondisi batas.

$$V_x = \left( Q_x - \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \right)_{x=a} = 0$$

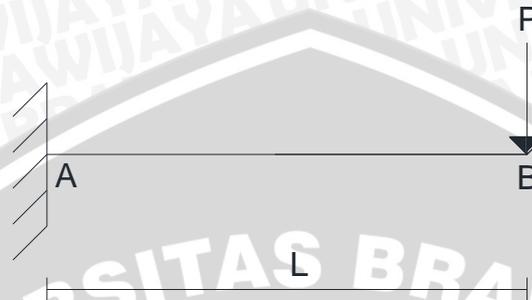
Dengan mendistribusikan nilai  $Q_x$  dan  $M_{xy}$  diperoleh untuk tepi bebas  $x=a$

$$\left[ \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right]_{x=a} = 0$$

(Hendri Sitohang: 2008)

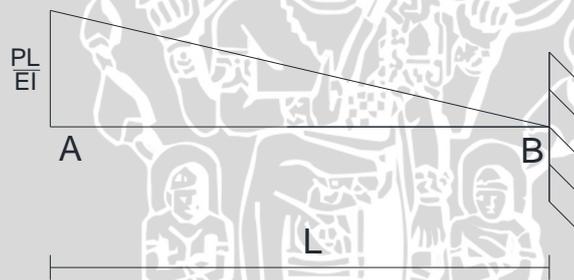
### 2.2.2 Deformasi dengan *Konjugate Beam*

*Konjugate beam* adalah balok fiktif yang dibebani beban yang berasal dari diagram momen terhadap kekakuan ( $M/EI$ ). Diagram momen yang timbul akibat beban ini identik dengan diagram lenturan struktur aslinya seperti struktur kantilever di bawah ini.



**Gambar 2.21:** Struktur kantilever dengan beban terpusat.

Diagram momen berbentuk segitiga dengan ordinat maksimum  $PL$ . *Konjugate* di ujung A menjadi bebas dan di ujung B menjadi jepit seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 2. 22:** *Konjugate*.

- Total beban *konjugate*:

$$Q = \frac{1}{2} \frac{PL}{EI} L = \frac{PL^2}{2EI}$$

- Reaksi *konjugate*:

$$R_b = Q = \frac{PL^2}{2EI} \text{ dan } M_b = Q \frac{2}{3} L = \frac{PL^3}{3EI}$$

- Lenturan dan rotasi di ujung B

$$Y_b = \frac{PL^3}{3EI} \text{ dan } \phi_b = \frac{PL^2}{2EI} \quad (\text{Sri Murni Dewi: 2010})$$

## 2.3 Struktur Pasangan

Konstruksi dari struktur pasangan telah didefinisi sebagai tipe konstruksi yang disusun dengan mortar diantara elemennya. Klasifikasi tipe digunakan dalam UBC (*Uniform Building Code*). Semua tipe ini memiliki perkembangan dalam cara yang berbeda dan digunakan dalam berbagai perilaku karena variasi dan karakteristik khusus. Tipe konstruksi struktur pasangan dijelaskan lebih detail dalam UBC. Pembaca dapat menggunakan building codes yang lain seperti ACI karena deskripsi yang berlaku sama.

### 2.3.1 Material Struktur Pasangan

Berikut ini daftar elemen struktur pasangan yang disediakan untuk perencana terkait dengan rancangan, peringatan untuk elemen yang mungkin dapat diabaikan. Juga kesesuaian nomor ASTM disebutkan sebagai susunan fisik tertentu pada setiap tipenya

#### 1. Berlubang dari tanah liat

Tanah liat dibakar agar sesuai dengan peraturan ASTM C62 atau C216. Kesimpulan dari susunan fisiknya terdapat pada tabel 17-1. Ada kelas SW, MW, dan NW untuk pelapukan buruk, pelapukan tertentu yang diatur dan mengabaikan kondisi dari adanya pelapukan. Susunan fisik dan klasifikasi persyaratan adalah dasar dalam penggunaannya. Syarat tertentu untuk kelas SW dimana daya tahannya dibebaskan untuk pelapukannya tidak terlalu parah. Dimana indeks pelapukannya kurang dari 100. Faktanya indeks pelapukan pada beton berlubang dibebaskan. Rasio penyerapan air dingin dengan penyerapan air mendidih diukur dari daya tahannya dan jika ini tidak diperlukan pembekuan dan perlawanan, hal ini di bebaskan.

Elemen ini dianggap solid bahkan hingga lubang intinya mencapai 25% dari volume total. Jika volume lubang lebih dari 25% yaitu hingga mencapai 40% maka elemen tersebut diketahui sebagai batu bata berongga dan sesuai dengan ASTM C652 atau dengan standar yang dikembangkan oleh *Western State Clay Products Association*. Jika lubang lebih besar dari 40% maka kemungkinan elemen ini dirancang dari material ubin yang ditentukan dari salah satu ASTM C34, C126, C212.

#### 2. Beton blok

Elemen ini merupakan elemen berongga atau beton blok yang konvensional. Ditentukan dalam ASTM C90 *Hollow Load Bearing Concrete Masonry Unit*. Untuk kondisi teangan kurang dari yang dibutuhkan terdapat pada ASTM

C129 *Hollow Non Load Bearing Concrete Masonry Unit*. Tegangan tekan yang dibutuhkan dalam ASTM C90 yaitu 1000 atau 700 psi pada kondisi bruto. Tapi perencana harus memperhatikan kondisi bersih atau kekuatan sesungguhnya dari stuktur pasangan. Pengujian ini tegangan ijin yang diterima adalah 1000 psi pada kondisi bruto yang memungkinkan produsen menyediakan bentuk dengan luas minimum pada tegangan tinggi atau luas maksimum pada tegangan yang lebih rendah. Berikut ini contoh untuk memperjelas berbagai hubungan kekuatan. Konvensional 8 in, beton blok dikembangkan dengan tegangan 1000 psi pada kondisi bruto. 2200 psi pada kondisi basah sejak elemen ini kurang dari satu setengah padat. Kemudian dikembangkan menjadi 1350 psi dalam beberapa kumpulan struktur pasangan, bahkan meskipun mortar dan *grouting* juga lebih kuat dari 2000 psi. Perencana harus hati-hati dalam membedakan antara elemen blok, kekuatan *grouting*, dan kebutuhan kekuatan dari struktur pasangan saat merancang.

### 3. Bata beton

Elemen ini merupakan elemen padat dari semen *portland* dan agregat sesuai serta bisa ditentukan dari ASTM C55 *Concrete Building brick* atau ASTM C 145 *Solid Load Bearing Concrete Masonry Unit*. Elemen ini diklasifikasikan berdasarkan penggunaannya yaitu tipe I (kontrol kelembapan pada elemen) dan tipe II (tanpa kontrol kelembapan pada elemen). Yang diambil dalam kelas N. Elemen ini diambil dari kelas N yang digunakan sebagai estetika lapisan dan tampilan elemen dilihat dari bagian luar dinding. Elemen dari kelas N ini juga digunakan dimana kekuatan tinggi dan daya tahan dalam penetrasi kelembapan hingga begitu beku yang diinginkan. Elemen ini juga di ambil dari kelas S yang secara umum digunakan untuk mengatur kekuatan dan daya tahan untuk mendapatkan kelembapan yang diinginkan.

### 4. Elemen berongga dari tanah liat

Ada beberapa menyebutnya Elemen blok dari tanah liat dan umumnya bisa dispesifikasi berdasarkan ASTM C652 *Hollow Brick*. Rongga yang diijinkan bukan 25% namun 40%.

Ada juga elemen berongga kelas LB dengan standar ASTM C34 kecuali tebal minimum dari permukaan luar ke permukaan dalam rongga 1,25 in. Hal ini termasuk dalam standar UBC dan rancangannya dianggap sama seperti elemen beton berongga atau blok.

5. Elemen dari ubin

Meskipun elemen ini umumnya tidak berdaya tahan, elemen ini harus dianggap sebagai struktur yang aman, stabil, mempunyai defleksi, dan berjangkar.

6. Mortar

Mortar terdiri dari semen portland dan/atau kapur, dan pasir dalam proporsi yang tepat dan umumnya ditentukan berdasarkan ASTM C270. Tapi, bagi perencana spesifikasi kekuatan mortar tidaklah begitu penting dalam kekuatan struktur pasangan. Untuk penjelasan mortar yang lebih detail terdapat pada poin 17.4

7. Grout

Elemen ini terdiri dari semen *portland* dan agregat yang cukup ditambahkan air untuk mencampurnya. Perawatan harus dilakukan untuk menghindari kelebihan air dan terjadinya proses segregasi atau pemisahan pada partikel selama penuangan. Elemen ini ditentukan berdasarkan ASTM C476 dan dijelaskan lebih detail pada poin 17.4

8. Elemen dengan tulangan

Spesifikasi elemen yang diperkuat dengan tulangan ditentukan seperti beton bertulang berdasarkan ASTM A615 dan seterusnya.

9. Elemen dengan kawat penguat

Elemen ini digunakan untuk memperkuat join dan ditentukan berdasarkan ASTM A82 dimana tegangan rencananya lebih dari 30.000 psi

10. Beton pracetak

Panel beton pracetak sering digolongkan dan diinstalasi pada struktur pasangan. Hal ini dibahas lebih rinci pada pembahasan yang lain. (International Code Council: 2006)

### 2.3.2 Bata Beton

Menurut SNI 03-0349-1989 tentang bata beton untuk pasangan dinding, dijelaskan bahwa bata beton adalah suatu jenis unsur bangunan berbentuk bata yang dibuat dari bahan utama semen *portland*, air dan agregat yang dipergunakan untuk pasangan dinding. Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton bertulang.

#### 1. Bata beton pejal

Bata beton pejal adalah bata yang memiliki penampang pejal 75 % atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75 % volume bata seluruhnya.

#### 2. Bata beton bertulang

Bata beton bertulang adalah bata yang memiliki luas penampang lebih dari 25% luas penampang batanya dan volume lubang lebih dari 25 % volume batanya seluruhnya.

#### 2.3.2.1 Klasifikasi Bata Beton

Bata beton pejal atau berlubang dibedakan menurut tingkatan mutunya, yaitu:

1. Tingkat mutu I.
2. Tingkat mutu II.
3. Tingkat mutu III.
4. Tingkat mutu IV.

#### 2.3.2.2 Syarat Mutu

##### 1. Pandangan Luar

Bidang permukaannya tidak cacat, bidang permukaan lain yang didesain dan diperbolehkan. Rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain dan sudut rusuknya tidak mudah dirapikan dengan kekuatan jari tangan.

##### 2. Ukuran dan Toleransi

Ukuran bata beton harus sesuai dengan tabel berikut:

**Tabel 2.1:** Ukuran bata beton

Jenis	Ukuran			Tebal dinding sekat-an lobang, minimum	
	Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
1. Pejal	390 + 3 - 5	90 ± 2	100 ± 2	—	—
2. Berlobang.					
a. Kecil	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	100 ± 2	20	15
b. Besar	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	200 ± 3	25	20

(satuan dalam mm)

3. Syarat Fisis

Bata beton harus memenuhi syarat-syarat fisis sesuai dengan tabel di bawah ini:

**Tabel 2.2:** Syarat fisis bata beton

Syarat fisis	Sa-tu-an.	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Kuat tekan bruto* rata-rata min.	kg/cm <sup>2</sup>	100	70	40	25	70	50	35	20
2. Kuat-tekan bruto masing-masing benda uji min.	kg/cm <sup>2</sup>	90	65	35	21	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata-rata, maks.	%	25	35	—	—	25	35	—	—

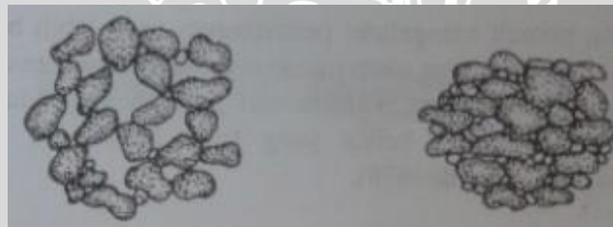
\* Kuat tekan bruto adalah beban keseluruhan pada waktu benda coba pecah, dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata termasuk lubang serta cekungan tepi. (SNI 03-0349-1989)

## 2.4 Tanah Granular

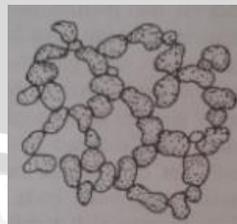
Butiran tanah yang dapat mengendap pada suatu larutan suspensi secara individu, tidak bergantung pada butiran yang lain akan berupa susunan tunggal seperti pasir, kerikil, atau beberapa campuran pasir dan lanau. Berat butiran menyebabkan butiran mengendap dalam air. Susunan tanah mungkin tidak padat (angka pori tinggi atau kerapatan rendah) atau padat (angka pori rendah atau kerapatan tinggi). Angka pori bergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan, dan kerapatan butiran.

Tanah granular dapat membentuk hubungan sarang lebah (*honeycomb*) yang dapat menyerupai angka pori yang tinggi. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis, tapi susunan ini sangat sensitif terhadap longsoran, getaran, atau beban dinamis. Adanya air dalam susunan butir tanah yang sangat tidak padat dapat merubah sifat-sifat teknisnya.

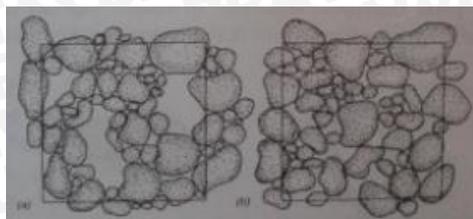
Kerapatan relatif ( $D_r$ ) sangat berengaruh pada sifat-sifat teknis tanah granular. Karena itu, diperlukan pengujian terhadap contoh tanah pasir pada kondisi kerapatan relatif yang sama seperti kondisi asli di lapangan. Perlu diperhatikan dalam banyak masalah teknis, karakteristik tanah granular tidak hanya cukup ditinjau kerapatan relatifnya. Sebab ada kemungkinan dua tanah pasir dengan angka pori dan kerapatan relatif yang sama, mempunyai susunan yang berbeda. Kondisi yang demikian akan mengakibatkan perbedaan pada sifat teknisnya.



**Gambar 2.23:** Susunan butiran tanah granular longgar (tidak padat) dan padat.



**Gambar 2.24:** Susunan butiran tanah granular bentuk sarang lebah.



**Gambar 2.25:** Tanah dengan kerapatan relatif yang sama tapi susunan butirannya berbeda.

Bentuk partikel dari jenis tanah granular akan sangat mempengaruhi sifat teknisnya. Sebagai contoh, pada sedimen pasir, khususnya butiran yang besar, sedikit perubahan dari bentuk bulat ke bentuk kubus cukup menyebabkan variasi yang besar pada karakteristik permeabilitas dalam arah paralel maupun arah tegak lurus. Selain itu posisi butiran relatif juga akan berpengaruh besar terhadap stabilitas, permeabilitas, dan karakteristik perubahan bentuknya, dan juga akan berpengaruh pada distribusi tegangan di dalam lapisan tanah. Jarak di antara partikel juga mempengaruhi antar partikel tanah.

Sifat-sifat tanah granular sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Berdasarkan ukuran butiran, tanah granular terdiri dari dua, yaitu tanah berbutir kasar atau kerikil dan tanah berbutir halus atau pasir.

#### **2.4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified* (USCS)**

Sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS) pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942. Dan secara internasional telah diakui serta dipakai untuk berbagai macam pekerjaan teknik pondasi, seperti: bendungan, bangunan dan konstruksi yang hampir sama. Seiring dengan perkembangan zaman, maka teori ini juga dipakai sebagai dasar dalam mendesain lapangan udara dan spesifikasi pekerjaan tanah bagi jalan. Sistem *unified* ini merupakan analisis yang mutlak didasarkan pada hasil pengujian laboratorium. Pengujian yang digunakan antara lain yaitu analisa butir, dan batas-batas atterberg.

Sistem klasifikasi tanah *unified* (U.S.C.S) ini mengelompokkan berbagai jenis tanah kedalam tiga kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar: apabila kurang dari 50% berat total contoh tanah ayakan lolos ayakan No. 200.
2. Tanah berbutir halus: apabila lebih dari 50% berat total contoh tanah ayakan lolos ayakan No. 200.
3. Tanah organik.

Untuk tanah berbutir kasar menggunakan huruf penunjuk sebagai berikut:

**Huruf pertama**

**Huruf kedua**

**G** – Kerikil (*Gravel*)

**W** – Bergradasi baik (*Well Graded*)

**S** - Pasir (*Sand*)

**P** - Bergradasi jelek (*Poor Graded*)

**M** – Lanau (*Silt / Moam*)

**C** – Lempung (*Clay*)

**Tabel 2.3:** Sistem klasifikasi *unified* untuk pasir

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus.	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$ , dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$ , dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No.4	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$ , dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$ , dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)

\*) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No 200 ( $R_{200}$ )

### 2.4.2 Kepadatan Tanah Pasir

Tanah tak kohesif cenderung membentuk suatu struktur berbutir tunggal yang dapat dalam keadaan lepas atau padat. Tanah yang benar-benar tidak kohesif hanya dapat dijumpai dalam deposit tanah yang diangkut, dimana angin atau air telah memisahkan kontaminan koloidal dan atau mineral lempung. Contoh deposit yang tidak kohesif diantaranya adalah kerikil di sungai. Deposit dalam kondisi tertentu dapat menghasilkan tanah yang sangat lepas (metastabil). Dimana struktur yang seperti ini mungkin mampu mendukung beban statis yang cukup besar tetapi dapat runtuh akibat beban dinamis atau getaran yang relatif kecil. (Bowles,1993:147)

Kerapatan relatif (*relative density*) digunakan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah granular (berbutir kasar) di lapangan. Sedangkan Kepadatan relatif (*relative compaction*) merupakan perbandingan antara berat volume kering tanah dilokasi dengan berat kering maksimumnya dengan rumus:

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_d \text{ max}}$$

Hubungan antara kerapatan relatif dengan kepadatan relatif adalah:

$$R_c = \frac{R_0}{1 - I_D(R_0)} \quad \text{Dengan, } R_0 = \frac{\gamma_d(\text{min})}{\gamma_d(\text{mak})}$$

Lee dan Singh (1971) menyarankan hubungan antara kerapatan relatif dengan kepadatan relatif sebagai berikut:

$$R_c = 80 + 0,2 I_D$$

**Tabel 2.4:** Istilah dan Identifikasi lapangan untuk kerapatan relatif

Kerapatan Relatif ( $I_D$ )	Keadaan tanah	*Kekuatan sudut geser, $\phi$ ( $^\circ$ )	Kerapatan basah (gr/cc)	Kerapatan Apung (gr/cc)
0-15	Sangat Lepas	< 28	< 1,6	< 0,96
15-35	Lepas	28-30	1,52-2,00	0,88-1,04
35-65	Agak padat (kompak)	30-36	1,76-2,10	0,96-1,12
65-85	Padat	36-41	1,76-2,25	1,04-1,36
85-100	Sangat padat	> 41	> 2,10	> 1,2

\*kenaikan  $5^\circ$  untuk tanah yang mengandung kurang dari 5% lanau.

Meyerhof (1956) :

$\phi = 25 + 0,15I_D$  untuk tanah granular dengan kandungan lanau lebih dari 5%

$\phi = 30 + 0,15I_D$  untuk tanah granular dengan kandungan lanau kurang dari 5%

Sumber: Kaniraj S. R (1993:31)

