

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah Ekspansif

##### 2.1.1 Pengertian Tanah Ekspansif

Lempung ekspansif memiliki sifat yang khas yakni kandungan mineral ekspansif mempunyai kapasitas pertukaran ion yang tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Pada peningkatan kadar air, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan kembang. Bila kadar air berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan. Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan (*Hardiyatmo, 2006*).

Permasalahan tanah ekspansif telah terjadi sejak dulu dan mungkin terdapat di seluruh wilayah Indonesia, mulai dari Sumatera Utara sampai ke Irian Jaya (*Mochtar, 2000*).

##### 2.1.2 Karakteristik Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis tanah pada umumnya, yaitu sebagai berikut:

###### 1. Mineral lempung

Mineral lempung yang menyebabkan perubahan volume umumnya mengandung *montmorillonite* atau *vermiculite*, sedangkan *illite* dan *kaolinite* dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus. Tanah ekspansif ini mengandung mineral *Montmorillonite* dan *Wire*. Oleh beberapa pihak, khususnya orang teknik sipil dipandang sebagai sesuatu yang berbahaya. Hal ini disebabkan oleh sifat kembang susutnya yang terlalu besar. Pada umumnya tanah ekspansif merupakan tanah berbutir halus sebagai koloid-koloid yang terdiri dari butiran tanah lempung ( $2\mu$ ) dengan jumlah kandungan lempungnya bervariasi antara 50 % sampai 70 %, dan biasanya mempunyai tekanan kembang yang tinggi bila berinteraksi dengan air.

## 2. Kimia tanah

Meningkatnya konsentrasi kation dan bertambahnya tinggi valensi kation dapat menghambat pengembangan tanah. Sebagai contoh, kation Mg akan memberikan pengembangan yang lebih kecil dibandingkan dengan Na

## 3. Plastisitas

Tanah dengan indeks plastisitas dan batas cair yang tinggi mempunyai potensi untuk mengembang yang lebih besar.

## 4. Struktur tanah

Tanah lempung yang berflokulasi cenderung bersifat lebih ekspansif dibandingkan dengan yang terdispersi.

## 5. Berat isi kering

Tanah yang mempunyai berat isi kering yang tinggi menunjukkan jarak antar partikel yang kecil, hal ini berarti gaya tolak yang besar dan potensi pengembangan yang tinggi.

(Pd T-10-2005-B, hal. 3)

### 2.1.3 Minerologi Tanah Lempung Ekspansif

Partikel lempung berflokulasi (berkelompok) dalam satu satuan tekstur submikroskopis dan disebut domain (*Collins dan Mc Gown, 1974; Young's dan Sheeran, 1973, dalam Sutarman, 2009* ). Domain-domain berkelompok membentuk cluster, dan cluster berkelompok membentuk ped (butir tanah – dapat dilihat).

Mineral lempung berukuran sangat kecil ( kurang dari 2  $\mu\text{m}$ ) dan merupakan partikel yang aktif secara elektron kimiawi dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Mineral lempung menunjukkan karakteristik yang berhubungan dengan air dan plastisitas yang dihasilkannya. Hal ini tidak ditunjukkan oleh material lain walaupun berukuran lebih kecil kwarsa.

Setiap deposit lempung sekaligus mengandung mineral lempung dan berbagai partikel dari material-material lainnya yang dapat dianggap pengisi. Secara kimiawi, mineral lempung merupakan ikatan *hydrous aluminosilicates* (aluminasilika dengan air) ditambah ion metalik. Dari mikroskop electron diketahui bahwa kristal berupa lempengan kecil dan dari difraksi sinar x, lembaran kecil terdiri dari banyak lembaran Kristal yang merupakan struktur atom berulang.

Ada dua blok yang fundamental untuk mineral lempung, yaitu :

1. Lembaran Silika

Empat oksigen membentuk pucuk dari tetra hedron dan menutupi sebuah atom silicon menghasilkan satu satuan setinggi  $4,6\text{\AA}$  ( $4,6 \times 10^{-10}$  mm).

2. Lembaran Oktahedral (Alumina)

Satuan alumina atau magnesium ditutupi oleh enam hidroksil yang membentuk Oktahedron setinggi  $5,05\text{\AA}$ .

(Sutarman, 2009)

### 2.1.4 Kembang Susut Tanah Ekspansif

Tanah mengembang mempunyai karakteristik kembang susut yang besar; mengembang pada kondisi basah dan menyusut pada waktu kering. Jenis mineral yang terkandung pada tanah seperti ini sangat mempengaruhi besar pengembangan dan tingkat plastisitas tanah.

Kandungan mineral *montmorillonite* secara kuantitatif mempunyai pengembangan dan plastisitas tinggi dan secara kuantitatif tingkat pengembangan dan tekanan pengembangan yang terjadi dapat diprediksi.

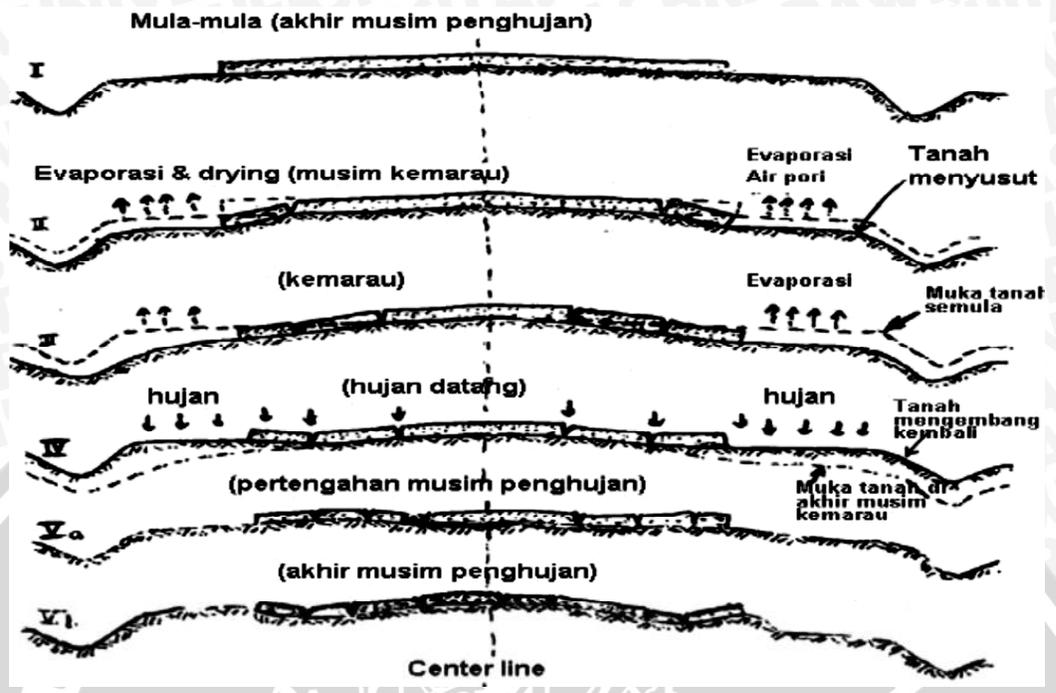
Besar kembang susut pada tanah tidak merata dari satu titik dengan titik lain sehingga menyebabkan perbedaan ketinggian permukaan tanah yang dapat menimbulkan kerugian, antara lain :

1. *Heave* dan *cracking* pada *highway pavement*
2. *Heave* dan *buckling* pada *slab* lantai
3. *Heave* dan *buckling* pada *lining canal*
4. *Excess* tegangan lateral pada *retaining wall*

(Sutarman, 2009)

#### 2.1.4.1 Mekanisme Menyusut

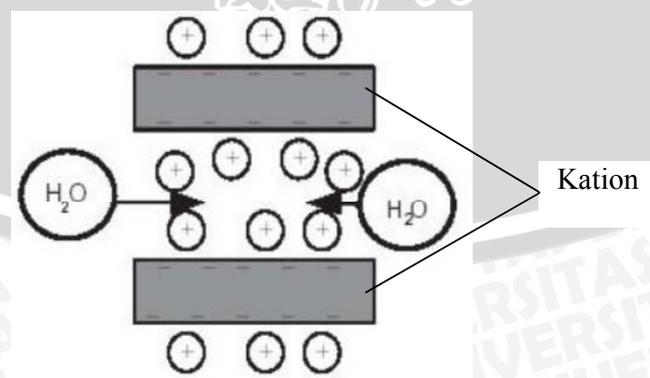
Penyusutan di lapangan seperti terlihat pada Gambar 2.1, badan jalan menjadi rusak akibat kembang-susut yang terjadi pada tanah dasar. Penyusutan terjadi pada musim kemarau dengan terjadinya evaporasi air pori. Kembang susut tersebut terjadi berulang akibat siklus musim kemarau ke musim penghujan, sehingga kerusakan badan jalan menjadi semakin parah.



Gambar 2.1 Mekanisme kerusakan tanah akibat kembang susut tanah  
(Myers, 2005)

2.1.4.2 Mekanisme Mengembang

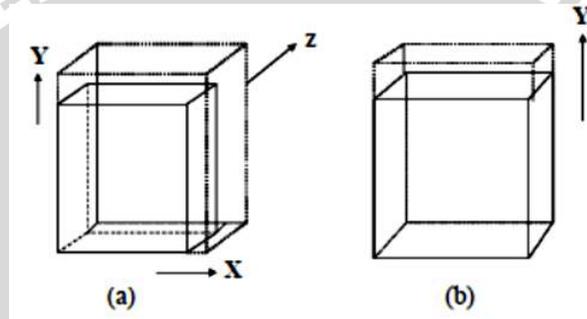
Proses mengembangnya tanah disebabkan oleh pergerakan air ke daerah *interlayer*. Partikel-partikel lempung memiliki permukaan yang bermuatan negatif. Kation menyerap ke dalam permukaan ini. Kation adalah *interlayer*, yang merupakan lapisan ganda pada permukaan lempung. Lapisan ganda ini dapat menarik air secara elektrik kemudian berada di sekitar partikel lempung yang dikenal sebagai lapisan air ganda seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Osmosis pada lapisan ganda tanah lempung ekspansif  
(Mitchell, 1992)

Pengaruh dari lapisan air ganda ini adalah ketika partikel berdekatan, maka lapisan air ganda setiap partikel mulai saling tumpang tindih, menyebabkan dua partikel lempung saling tolak menolak. Pengaruh tolak menolak yang lain adalah menyebabkan kembang pada tanah lempung.

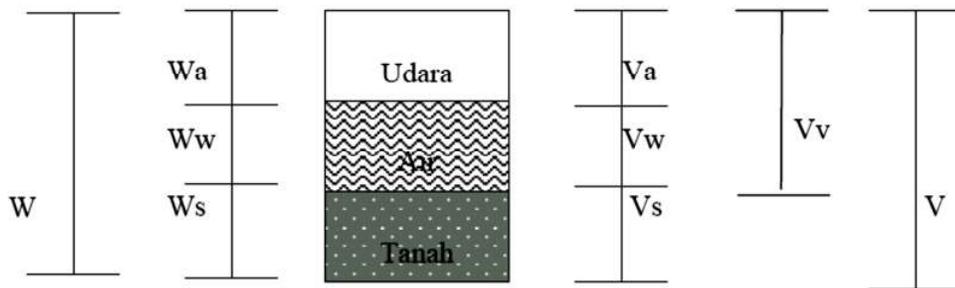
Mekanisme kembang pada tanah ekspansif di lapangan terjadi pada tiga dimensi atau yang dikenal dengan kembang volumetrik. Ketika tanah dalam keadaan kering menjadi basah, tanah akan mengalami kembang volumetrik (lihat Gambar 2.3 (a)). Pada tahap selanjutnya, akibat pembasahan atau meningkatnya kadar air dalam tanah lempung, maka kembang volumetrik tanah lempung hanya satu dimensi, menyebabkan naiknya permukaan tanah lempung (lihat Gambar 2.3 (b)).



**Gambar 2.3** Skema pengembangan tanah ekspansif, (a) 3-D; (b) 1-D  
(Taboada, 2003)

**2.2 Sifat Mekanik Tanah**

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Bagian-bagian tersebut dapat kita gambarkan dalam diagram fase, seperti Gambar 2.4



**Gambar 2.4** Diagram Fase Tanah (Hardyatmo, 1992)

Dari gambar tersebut di atas dapat dibentuk persamaan berikut:

$$W = W_s + W_w$$

$$V = V_s + V_w + V_a$$

$$V_v = V_w - V_a$$

Dengan:

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V_s$  = volume butiran padat

$V_w$  = volume air di dalam pori

$V_a$  = volume udara di dalam pori

Berat udara ( $W_a$ ) dianggap sama dengan nol.

Istilah-istilah umum yang dipakai untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air ( $w$ ) yang disebut sebagai *water content*, didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:  $w$  = kadar air

$W_w$  = berat air

$W_s$  = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah ( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:  $\gamma$  = berat volume

$V$  = volume total

$W$  = berat total

- c. Berat jenis (*Specific Gravity*,  $G_s$ ) adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b) \dots \dots \dots (2.3)$$

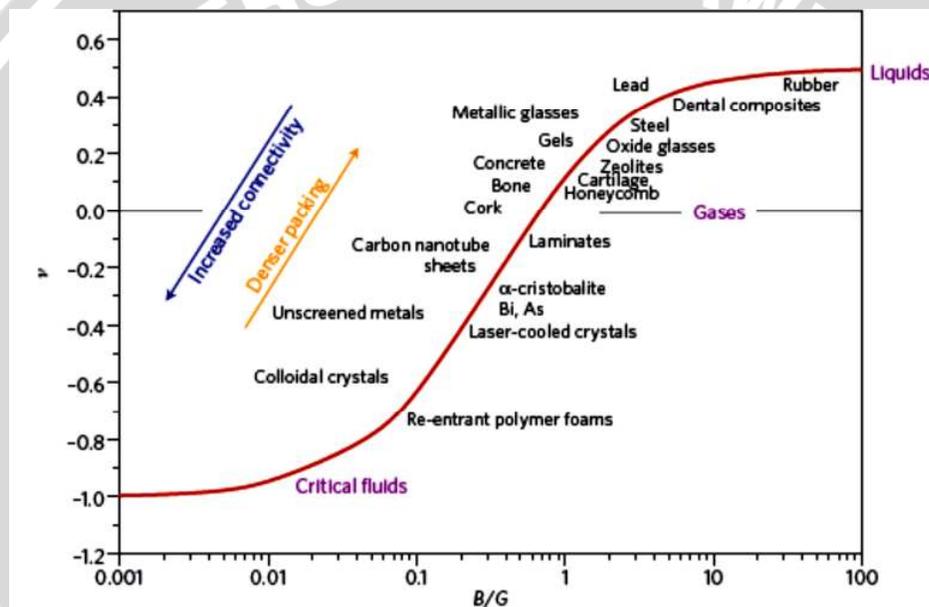
Dengan:  $G_w$  = berat jenis air;  $W_b$  = berat tanah basah

Berat jenis tidak mempunyai satuan. (*Hardyatmo, 1992*)

### 2.2.1 Poisson Rasio

Jika beban padat dibebani maka akan memendek, tetapi menjadi lebih tebal atau memanjang dan lebih tipis. Poisson (1811) menunjukkan bahwa rasio regangan lateral  $\varepsilon_h$  terhadap regangan vertikal  $\varepsilon_v$  merupakan konstanta material yang berada pada batas-batas proporsional.

Untuk regangan yang teramat kecil terdapat di daerah linier, tetapi deformasi yang terjadi untuk dapat menggambarkan regangan yang sekecil ini sulit didapatkan. Maka untuk tujuan praktis suatu kurva yang tidak linear akan didapatkan dari percobaan tekan di laboratorium. Rentang nilai poisson rasio  $\nu$  untuk tanah  $-1 < \nu < 0.5$  (Sutarman, 2009)



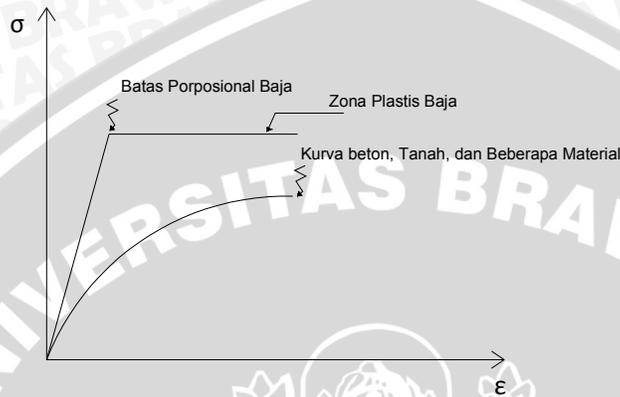
**Gambar 2.5** Poisson ratio, -1 sampai 0.5 diplotkan sebagai fungsi ratio curah dan modulus geser (B/G) untuk berbagai bahan isotropik (G.N. Greaves, dkk., 2011)

Gambar 2.5 di atas menjelaskan poisson ratio diplotkan sebagai fungsi ratio curah dan modulus geser (B/G) untuk berbagai material bahan isotropik. Dimulai dengan material padat, lemah seperti cair dan karet, dimana tegangan utama mengakibatkan perubahan bentuk.

Untuk material padat seperti logam, polimer dan keramik,  $0,25 < \nu < 0,35$ . Kaca dan mineral yang lebih mampat,  $\nu$  mendekati 0. Untuk gas,  $\nu = 0$ . Bahan dengan rasio Poisson negatif disebut 'auxetic'. (G.N. Greaves, dkk., 2011)

### 2.2.2 Modulus Elastisitas

Apabila diplotkan hubungan tegangan terhadap regangan, akan didapatkan kurva garis lurus pada batas tertentu untuk baja dan beberapa material lainnya. Kurva akan melengkung untuk beton, tanah, dan sebagian besar material lainnya yang ditunjukkan oleh gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Karakteristik Tegangan-Regangan  
(Sutarman, 2009)

Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya (Farokha, 2012), hasil CBR dengan rendaman dibanding tanpa rendaman diperoleh bahwa jika tanah ekspansif dimasukkan ke dalam air maka nilai rata-rata CBR (%) tanah ekspansif ini menjadi kecil dibanding tanpa rendaman (lihat tabel 2.1).

No.	Variasi Kadar Air (%)	Nama Pengujian	
		Nilai rata-rata CBR Soaked (%)	Nilai rata-rata Pengembangan (%)
1	15,169	0,84680	9,45833
2	20,169	0,98793	6,92083
3	25,169	1,09378	6,88750
4	30,169	1,18787	5,88056
5	40,169	1,55247	1,45417

(a)

No.	Variasi Kadar Air (%)	Nilai Rata-Rata CBR Tanpa Rendaman (%)
1	15,169	6,8689
2	20,169	6,0158
3	25,169	5,8667
4	30,169	5,6630
5	40,169	4,1282
6	50,169	2,6345

(b)

**Tabel 2.1** (a) CBR dengan rendaman ; (b) CBR tanpa rendaman

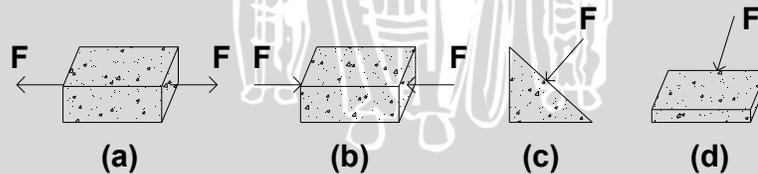
Hubungan nilai rata-rata CBR ini memiliki hubungan terhadap Modulus elastisitas tanah seperti pada tabel 2.2 berikut.

Reference	Relationship	Comments	E (MPa) based on		
			CBR = 2%	CBR = 5%	CBR = 10%
Heukelom and Klomp (1998)	$E \sim 10 \text{ CBR}$ (actually 10.35 CBR)	Most common relationship (Range of 20 to 5 for upper to lower bound). CBR < 10%	20	50	N/A
Cronley and Cronley (1991)	$E = 6.6 \text{ CBR}$ (from repeat load test data – significant strain)	Zone defined by $E = 10 \text{ CBR}$ to $E = 20 \text{ CBR}$ using wave velocity tests – low strain	13	33	66
NAASRA (1950)	$E = 16.2 \text{ CBR}^{0.7}$ $E = 22.4 \text{ CBR}^{0.5}$	For CBR < 5% For CBR > 5%	26	50	81
Powell, Potter, Mayhew and Nunn (1984)	$E = 17.6 \text{ CBR}^{0.64}$	A lower bound relationship (TRRL Study) For CBR < 12%	27	49	77
Angell (1988)	$E = 19 \text{ CBR}^{0.68}$	For CBR < 15%	30	57	91

**Tabel 2.2** Hubungan CBR dengan modulus elastisitas  
(Burt G. Look, 2007)

### 2.3 Tegangan dan Regangan Normal

Tegangan merupakan besaran akibat gaya yang bekerja per satuan luas penampang (lihat gambar 2.7). Gaya yang bekerja dapat berupa gaya tegak lurus atau miring terhadap bidang, baik itu bidang rata atau miring.



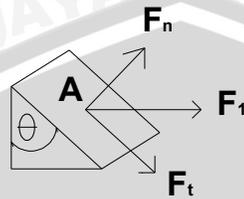
**Gambar 2.7** Gaya yang bekerja pada sebuah benda

Gaya yang bekerja dapat berupa gaya vertikal, horizontal, serta miring. Gaya yang bekerja miring terhadap bidang dapat diurai ke dalam komponen vertikal dan horizontal. Tegangan bidang miring berupa tegangan normal serta tegangan tangensial.

Tegangan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P = F/A \dots\dots\dots (2.4)$$

Perhatikan gambar 2.8, di mana tegangan yang ditimbulkan akibat gaya tarik  $F_1$ , yaitu tegangan normal  $F_n$  dan tegangan tangensial  $F_t$ , perlu dipahami bahwa gaya bekerja terhadap luas penampang  $A$ .



**Gambar 2.8** Penguraian gaya tarik  $F_1$

Tegangan normal :

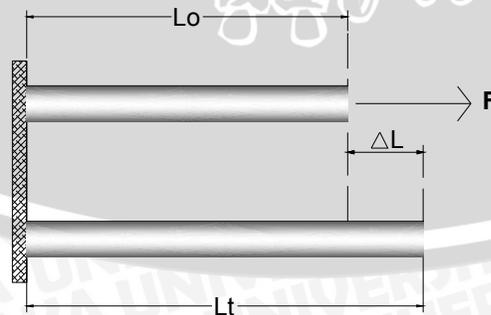
$$P_n = F_n/A \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Tegangan tangensial :

$$P_t = F_t/A \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Regangan yaitu perubahan relative dimensi benda karena mengalami tegangan. Perubahan dimensi (strain) ada tiga jenis, antara lain perubahan panjang, perubahan luas, dan perubahan volume.

Regangan panjang didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang  $\Delta L$  akibat adanya gaya yang bekerja terhadap panjang benda yang ditinjau (lihat gambar 2.9).



**Gambar 2.9** Panjang batang awal ( $L_o$ ) setelah menerima gaya tarik ( $F$ ) maka panjangnya menjadi ( $L_t$ ) dimana  $\Delta L = L_t - L_o$

Rasio antara perubahan panjang ( $\Delta L$ ) terhadap panjang awal ( $L_0$ ) disebut regangan ( $\epsilon$ ), yang dinyatakan sebagai,

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \dots\dots\dots (2.7)$$

(Sutarman, 2009)

**2.4 Tekanan Pengembangan**

Tekanan pengembangan didefinisikan sebagai tegangan yang diperlukan untuk menahan tanah dalam oedometer agar tidak terjadi perubahan volume (Sutarman, 2009). Pendekatan praktis untuk memperkirakan perubahan volume adalah dengan melakukan pengujian lintas dari kondisi tanah tak jenuh ke dalam kondisi jenuh. Melalui pengujian seperti uji pengembangan dengan oedometer dapat diukur besarnya tekanan pengembangan serta perilaku tegangan regangan yang akan digunakan untuk memperkirakan besarnya pengangkatan tanah. (Pd T 10-2005-B)

**2.5 Gaya Elastis**

Gaya pegas. Sebuah pegas ideal bila diregangkan atau ditekan akan memberikan gaya yang sebanding dengan besar perubahan panjang pegas. Jadi gaya yang diberikan oleh pegas adalah

$$P = k \cdot \vec{x} \dots\dots\dots (2.8)$$

$\vec{x}$  adalah vektor besar perubahan panjang pegas dan tanda negatif pada persamaan di atas menunjukkan arah gayanya yang berlawanan dengan arah perubahan panjang pegas. Konstanta kesebandingan  $k$  disebut juga sebagai konstanta pegas. Kebanyakan pegas real akan mengikuti pers. (2.8) untuk nilai  $\vec{x}$  yang cukup kecil.

(Mirza Satriawan, 2007)

**2.6 Plane-Strain**

Plane-strain didefinisikan sebagai keadaan regangan dimana pada kondisi normal tegangan arah  $z$  ( $\epsilon_z$ ), regangan geser bidang  $xz$  ( $\gamma_{xz}$ ), regangan geser bidang  $yz$  ( $\gamma_{yz}$ ) diasumsikan sama dengan nol, dan regangan arah  $x$  ( $\epsilon_x$ ), regangan arah  $y$  ( $\epsilon_y$ ), regangan geser bidang  $xy$  ( $\gamma_{xy}$ ) tidak sama dengan nol.

Pada kondisi normal, asumsi :

$$\epsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\{\sigma\} = \{D\}\{\epsilon\} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\{D\} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.12)$$

Persamaan dasar diferensial parsial dari plane stress :

$$G \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + G \left( \frac{1}{1-2\nu} \right) \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + X = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$G \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + G \left( \frac{1}{1-2\nu} \right) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + y = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana,

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots (2.15)$$

*(Module for Plane Stress and Plane Strain Analysis, UCSB College of Engineering)*

