BAB II

DASAR TEORI

2.1 Teori Elastisitas

Teori ini berhubungan dengan gaya yang dikenakan pada permukaan luar sebuah benda dan dihasilkan perubahan bentuk dan ukuran. Hubungan antara gaya-gaya yang dikenakan dan pergeseran-pergeseran digambarkan dalam bentuk konsep tegangan dan regangan (Telford dkk,1976).

2.1.1 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Jika suatu gaya diberikan secara merata pada setiap titik di permukaan suatu benda (gambar 2.1), maka dengan mengambil suatu elemen luas benda $\hat{d}A$ dan elemen gaya yang bekerja adalah $d\hat{F}$, tegangan yang dialami benda adalah (Lilik dan Satria, 1997) :

$$\hat{\sigma} = \frac{d\hat{F}}{d\hat{A}} \qquad (2.1)$$

dengan,

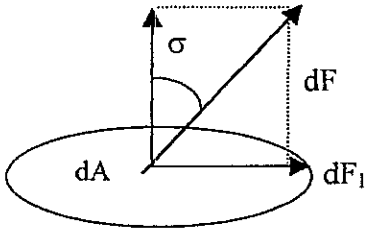
$d\hat{F}$ adalah elemen gaya yang bekerja pada benda dalam newton (N)

$d\hat{A}$ adalah elemen luas benda (m^2)

$\hat{\sigma}$ adalah tegangan yang dialami benda (N/m^2)

Tegangan yang diakibatkan oleh elemen luas di sebut tegangan normal (*normal stress*), sedangkan tegangan yang diakibatkan oleh elemen gaya tangensial (dF_t) terhadap elemen luas disebut tegangan geser (*shearing stress*).

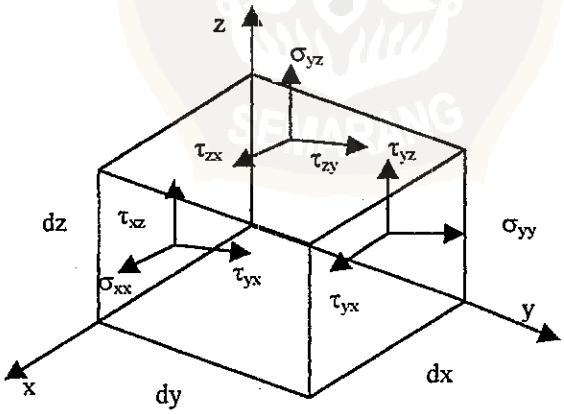
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.1. Elemen gaya dF yang bekerja pada elemen luas dA (Lilik dan Satria, 1997)

Pada suatu elemen volume dari benda yang berbentuk balok (gambar 2.2), tegangan normal dinotasikan σ_{ii} dengan i artinya tegangan normal pada bidang dengan arah normal, sedangkan tegangan geser dinotasikan τ_{ij} dengan $i \neq j$ artinya tegangan geser pada bidang dengan arah normal i dan arah geser j. Untuk benda dalam keadaan keseimbangan dengan total momen gaya adalah nol, maka $\tau_{ij} = \tau_{ji}$.

Tegangan normal berhubungan dengan tekanan (*pressure*) terhadap benda, sedangkan tegangan geser berhubungan dengan tarikan (*traction*) terhadap benda.



Gambar 2.2. Tegangan pada suatu elemen volume benda (Grand dan West, 1965)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.1.2 Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perubahan relatif suatu bentuk benda yang dikenai tegangan terhadap bentuk semula. Regangan (e) dinyatakan dalam bentuk persamaan (Grand dan West, 1965) :

$$e_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \qquad (2.2)$$

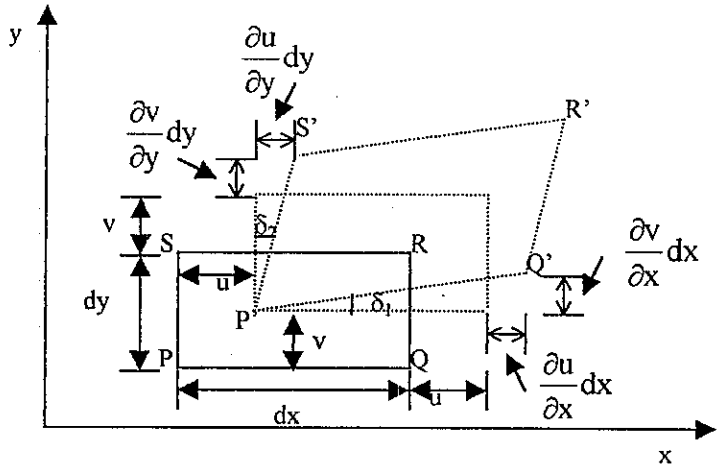
dengan,

i , j = x, y, z; adalah sumbu-sumbu koordinat kartesius

$u_x = u$; $u_y = v$; $u_z = w$ adalah komponen pergeseran dari sumbu koordinat (x,y,z).

Terjadinya regangan pada suatu benda yang dikenai tegangan, secara sederhana digambarkan oleh bidang segi empat PQRS dalam bidang xy yang dikenai tegangan (gambar 2.3). Besaran $\partial u/\partial x$ dan $\partial v/\partial y$ merupakan pertambahan panjang benda pada arah x dan y yang dinamakan regangan normal (*normal strain*), berdasarkan persamaan (2.2) terjadi bila i = j. Perubahan bentuk benda akibat tegangan yang diberikan, dinyatakan oleh besaran ($\partial u/\partial x + \partial v/\partial y$) sehingga segi empat PQRS menjadi P' Q' R' S'. Regangan yang bekerja dinamakan regangan geser (*shearing strain*), berdasarkan persamaan (2.2) terjadi bila i ≠ j.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.3. Regangan benda pada dua dimensi (Telford dkk, 1976)

2.1.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dinyatakan oleh hukum Hooke's, yaitu besarnya regangan sebanding dengan besarnya tegangan yang diberikan. Secara umum, untuk bahan yang bersifat linier, isotropik yang berarti bahwa karakteristik elastik bahan tidak tergantung arah, hubungan tegangan dan regangan secara sederhana dinyatakan pada persamaan (Telford dkk, 1976) :

$$\sigma_{ii} = \lambda\Delta + 2\mu e_{ii} \qquad ; i = x, y, z \qquad (2.3)$$

$$\sigma_{ij} = \mu e_{ij} \qquad ; i, j = x, y, z \quad i \neq j \qquad (2.4)$$

$$\Delta = e_{xx} + e_{yy} + e_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \qquad (2.5)$$

dengan

μ adalah modulus rigiditas/kekakuan/geser merupakan perbandingan perubahan tegangan geser/tangensial tiap luas terhadap regangan geser yang bersesuaian.

λ adalah konstanta lame'

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Δ adalah dilatasi, menyatakan perubahan volume benda terhadap volume benda semula setelah mengalami tegangan .

u adalah vektor pergeseran fungsi (u, v, w)

2.2 Sifat-Sifat Fisik Batuan

2.2.1 Porositas

Porositas batuan adalah perbandingan volume rongga pori-pori terhadap volume total batuan. Porositas dinyatakan dalam persen yaitu (Goodman, 1989)

$$n = \frac{V_p}{V_t}.100\% \qquad (2.6)$$

dengan

V_p adalah volume rongga (m^3)

V_t adalah volume total (m^3)

Pada batuan sedimen yang terbentuk oleh endapan butiran, fragmen-fragmen batuan/cangkang karang (*sedimen klastik*), porositas akan bervariasi antara 0 % sampai 9 % (rata-rata pada batu pasir n = 15 %). Pada batuan ini, seringkali porositas akan berkurang sejalan dengan umur dan kedalaman dibawah permukaan. Pada batuan beku biasanya porositas lebih kecil dari 1 % atau 2 %, kecuali jika batuan tersebut sudah lapuk. Tabel-1 menunjukkan besarnya porositas dari beberapa batuan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Tabel-1 Porositas dari beberapa tipe batuan berdasarkan umur dan kedalaman (Goodman, 1989)

Batuan	Umur	Kedalaman	Porositas (%)
Mount Simon sandstone	Cambrian	13.000 ft	0.7
Nugget sandstone	Jurassic		1.9
Potsdam sandstone	Cambrian	surface	11.0
Pottsville sandstone	Pennsylvanian		2.9
Berea sandstone	Mississipian	0-2000 ft	14.0
Keuper sandstone	Triassic	Surface	22.0
Navajo sandstone	Jurrassic	Surface	15.5
Sandstone, Montana	Cretaceous	Surface	34.0
Beekmantown dolomite	Ordovician	10.500 ft	0.4
Black River limestone	Ordovician	Surface	0.46
Niagara dolomite	Silurian	Surface	2.9
Limestone, Great Britain	Carboniferons	Surface	5.7
Chalk, Great Britain	Createaeeous	Surface	28.8
Solenhofen limestone		Surface	4.8
Salem limestone	Mississipian	Surface	13.2
Bedford limestone	Mississipian	Surface	12.0
Bermeda limestone	Recent	Surface	43.0
Shale	Pre-Cambrian	1000 ft	1.6
Shale, Oklahoma	Pennsylvanian	3000 ft	17.0
Shale, Oklahoma	Pennsylvanian	5000 ft	7.0
Shale, Oklahoma	Pennsylvanian	600 ft	4.0
Shale	Cretaccous	2500 ft	33.5
Shale	Cretaccous	3500 ft	25.4
Shale	Cretaccous	6100 ft	21.1
Shale	Cretaccous	600 ft	7.6
Mudstone, Japan	Upper tertiary	Near surface	22-32
Granite, fresh		Surface	0-1
Granite, weathered			1-5
Decomposed granite			20.0
Marble			0.3
Marble			1.1
Bedded tuff			40.0
Welded tuff			14.0
Cedar City tonalite			7.0
Frederick diabase			0.1
San marcos gabbro			0.2

2.2.2 Kerapatan

Kerapatan suatu batuan adalah perbandingan antara massa batuan seluruhnya dengan isi batuan seluruhnya. Kerapatan dinyatakan dalam persamaan (Goodman, 1989)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\gamma = \frac{m}{V} \qquad (2.7)$$

dengan,

γ adalah kerapatan batuan (gram/cm³)

m adalah massa batuan (gram)

V adalah volume batuan (cm³)

Pada batuan yang tersusun dari butiran kuarsa (pasir kuarsa) seringkali memiliki kerapatan yang lebih rendah dibanding dengan butiran kuarsa yang bersifat individu dikarenakan adanya rongga-rongga disela-sela butiran-butiran tersebut. Tabel-2 menunjukkan besar kerapatan kering dari beberapa batuan.

Tabel-2 Kerapatan kering dari bebarapa tipe batuan (Goodman, 1989)

Batuan	**Kerapatn kering (gram/cm³)**
Nepheline synetine	2,7
Syenite	2,6
Granite	2,65
Diorite	2,85
Gabbro	3,0
Gysum	2,3
Rock salt	2,1
Coal	0,7-2,0
(Variasi kerapatan dengan kandungan abu)	
Oil shale	1,6-2,7
(Variasi densitas dengan kandungan kerogen dan karena itu dihasilkan minyak dalam gallon per ton)	
30 gal/ton batuan	2,13
Dense limestone	2,7
Marble	2,75
Shale, Oklahoma	-
Kedalaman 1000 ft	2,25
Kedalaman 3000 ft	2,52
Kedalaman 5000 ft	2,62
Quartz, mica schist	2,82
Amphibolite	2,99
Rhyolite	2,37
Basalt	2,77

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2.3 Permeabilitas

Permeabilitas adalah suatu sifat batuan untuk dapat meluluskan cairan melalui pori-pori yang berhubungan tanpa merusak partikel-partikel pembentuk batuan tersebut. Permebilitas dinyatakan dalam persamaan (Goodman, 1989)

$$k = q\frac{\eta}{\frac{dP}{dy}} \qquad (2.8)$$

dengan, q adalah laju aliran (m/s)

k adalah permeabilitas (m/s)

$\frac{dp}{dy}$ adalah gradien hidrolik (N/m^3)

Batuan yang permeabel memiliki rongga-rongga yang berhubungan satu dengan yang lain dan dapat ditembus oleh zat cair. Bila penembusan tidak dapat dilakukan, maka batuan tersebut dinamakan impermeabel. Besarnya lubang tembus dan sifat yang dimiliki zat cair akan menentukan permebilitas. Nilai-nilai permeabilitas yang dikenakan dalam literatur berlaku untuk air pada t = 20° C .

Tabel-3 Permeabilitas batuan tertentu (Goodman, 1989)

Batuan	k (cm/s) untuk batuan dengan kandungan air (20°C) sebagai penembus	
	Lab	Ditempat
Sandstone	3×10^{-3} sampai 8×10^{-8}	1×10^{-3} sampai 8×10^{-8}
Navajo sandstone	2×10^{-3}	
Berea sandstone	4×10^{-5}	
Greywacke	$3{,}2 \times 10^{-8}$	
Shale	10^{-9} sampai 5×10^{-13}	10^{-8} sampai 10^{-11}
Pierre shale	5×10^{-12}	2×10^{-9} sampai 5×10^{-11}
Limestone, dolomite	10^{-5} sampai 10^{-13}	10^{-3} sampai 10^{-7}
Salem limestone	2×10^{-6}	
Basalt	10^{-12}	10^{-2} sampai 10^{-7}
Granite	10^{-7} sampai 10^{-11}	10^{-4} sampai 10^{-9}
Schist	10^{-8}	2×10^{-7}
Fissured schist	1×10^{-4} sampai 3×10^{-4}	

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.3 Kuat Geser Batuan

Menurut Jumikis (1983), kuat geser batuan adalah kekuatan maksimum dari batuan untuk melawan tegangan geser yang bekerja pada batuan. Gerak relatif yang terjadi pada bidang geser dilawan oleh kuat geser yang memiliki komponen-komponen sudut gesek dalam (ϕ) dan gaya kohesi (c).

2.3.1 Sudut gesek dalam (ϕ)

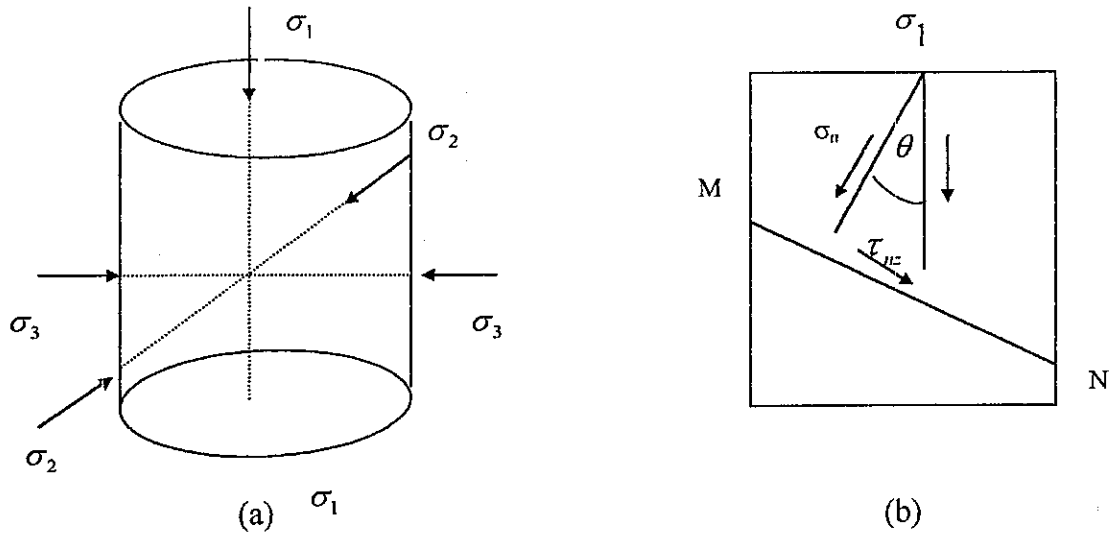
Pada tahun 1982, Otto Mohr dari Jerman, mencoba menggambarkan konsep matematika benda padat terutama tentang gaya, tegangan dan regangan berupa lingkaran tegangan Mohr dan selubung Mohr. Tegangan pada gambar 2.4b merupakan potongan melalui bagian tengah dari silinder padat. Pada gambar 2.4a yang memuat σ_1 dan, σ_3 adapun σ_2 tegak lurus bidang adalah diabaikan. Dalam analisis ini, tegangan yang bekerja pada bidang MN adalah tegangan geser (τ_{nz}) dan tegangan normal (σ_n)

Retakan geser (*shear fractures*) selalu membuat sudut kurang dari 45° dengan tegangan utama. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan normal berperan dalam pembentukkannya. Tegangan gerak efektif membentuk retakan geser jika τ_{nz} dan σ_n bekerja bersama-sama.

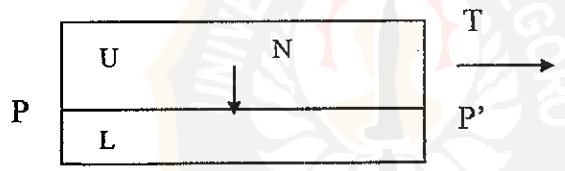
Pada gambar 2.5, PP' merupakan kontak dua balok dimana N adalah beban dari blok atas, T merupakan gaya yang menarik blok atas (U) melewati blok bawah (L). Koeffisien gesek gelincir μ_s dinyatakan dengan :

$$\mu_s = \frac{T}{N} \qquad (2.9)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.4 Tekanan-tekanan pada bidang imajiner (a) Silinder padat terkompresi, σ_1 adalah tegangan prinsipal terbesar ; σ_2 , σ_3 adalah tegangan prinsipal menengah dan kecil . (b) Potongan melalui tegangan silinder, τ tegangan geser, σ_n tegangan normal, θ sudut antara σ dengan bidang (Billings, 1987).



Gambar 2.5 Koeffisien gesek, N berat dari blok atas, T gaya yang bekerja mengeser blok atas. (Billings,1987).

T disebut sebagai tegangan geser disepanjang bidang (τ_{nz}) dan N adalah tegangan normal melalui bidang (σ_n) yang dapat dipandang sebagai dua komponen dalam suatu resultan yang membuat sudut ϕ dengan garis tegak lurus PP' (gambar 2.6). Sudut ini sebagai sudut gesek (*angle of friction*). Secara umum koefisien gesek dalam (μ_i) dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu_i = \frac{\tau_{nt}}{\sigma_n} = \tan\phi \qquad (2.10)$$

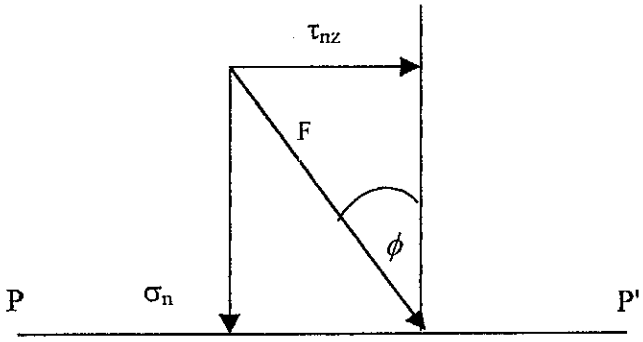
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id).

dengan,

μ_i adalah koefisien gesek dalam

σ_n adalah tegangan normal melalui bidang

τ_{nt} adalah tegangan geser sepanjang bidang



Gambar 2.6 Sudut gesek dalam ; PP' bidang gesek; τ_{nz} tegangan normal melalui bidang; σ_n tegangan geser disepanjang bidang; F resultan τ_{nz} dan σ_n ; ϕ sudut gesek dalam. (Billings, 1987)

2.3.2 Gaya Kohesi (c)

Gaya ini adalah gaya yang melawan gaya gerak yang disebabkan karena adanya lekatan antar butir material. Hal ini sangat dipengaruhi oleh adanya material-material halus yang dapat melekatkan butiran-butiran batuan, misalnya lempung, karst, dan lain-lain.

Nilai kohesi tergantung pada kekompakan butirnya, semakin kompak semakin besar nilai kohesinya, sebaliknya pada kondisi lepas (*loose*) nilainya semakin kecil. Selain itu juga dipengaruhi oleh kandungan air, karena adanya air akan mengurangi daya lekatnya.

Dari dua komponen tersebut, maka kuat geser batuan dapat dirumuskan sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \qquad (2.11)$$

dengan,

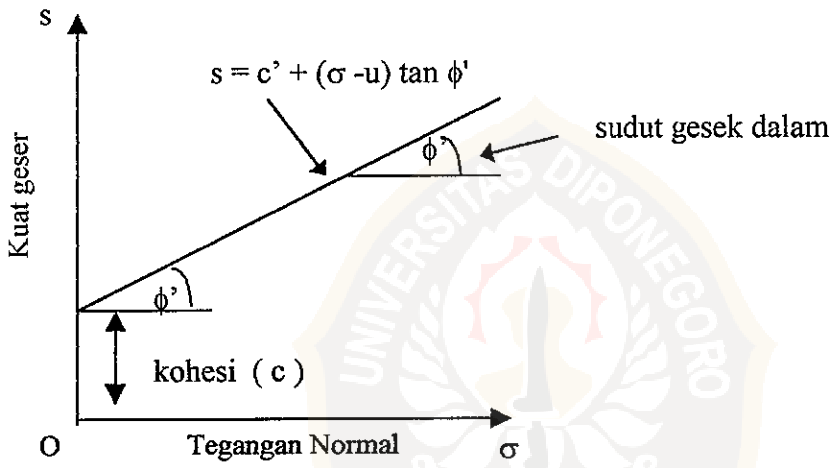
s adalah kuat geser " *shear strenght* " (N/m^2)

σ adalah tegangan pada bidang geser (N/m^2)

c adalah gaya kohesi (N/m^2)

ϕ adalah sudut gesekan dalam (...°)

u adalah tekanan pori (N/m^2)



Gambar 2.7 Hubungan kuat geser dengan tegangan normal (Wesley, 1977)

Hubungan antara kuat geser dengan tegangan normal ditunjukkan pada gambar 2.7. Perhitungan terhadap besarnya kuat geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan stabilitas lereng. Bila pada sembarang titik pada suatu bidang dari suatu massa batuan mempunyai tegangan geser yang sama dengan kuat gesernya, maka longsoran akan terjadi pada titik tersebut.

Kuat geser batuan dapat dinyatakan dengan tegangan prinsipal mayor σ_1 dan tegangan prinsipal minor σ_3 pada keadaan longsor di titik tinjau. Garis yang

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dihasilkan pada persamaan (2.11) merupakan garis singgung pada lingkaran Mohr yang menunjukkan keadaan longsor (gambar 2.8) maka hubungan σ_1 dan σ_3 pada keadaan longsor dapat ditulis :

Garis OB sejajar dengan DE, maka panjang jari-jari AC adalah :

AC = AB + BC

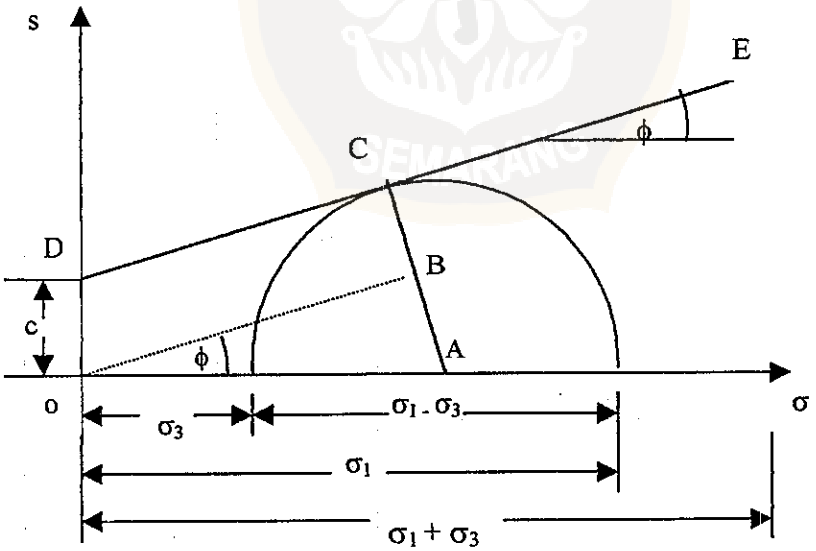
$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}\sin\phi + c\cos\phi$$

$$\sigma_1(1 - \sin\phi) = \sigma_3(1 + \sin\phi) + 2c\cos\phi$$

Jadi $\sigma_1 = \sigma_3\left(\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}\right) + 2c\sqrt{\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}}$

atau $\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2c\sqrt{N_\phi}$ (2.12)

dengan $N_\phi = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$



Gambar 2.8 Nilai σ_1 dan σ_3 pada keadaan longsor (Wesley, 1977)

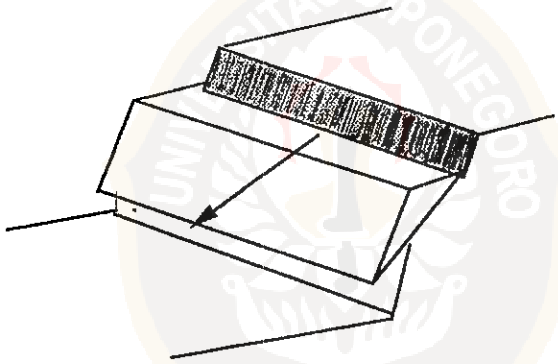
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.4 Longsoran Batuan Lereng

Menurut Hock dan Bray (1987), ada tiga bentuk dasar dari longsoran batuan lereng yaitu :

1. Longsoran bidang

   Jenis longsoran ini sangat jarang terjadi karena memerlukan adanya permukaaan bebas pada kedua tepi bidang gesernya. Longsoran ini (gambar 2.9) terjadi pada batuan yang mempunyai bidang luncur bebas (*day light*) yang mengarah kelereng. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung.

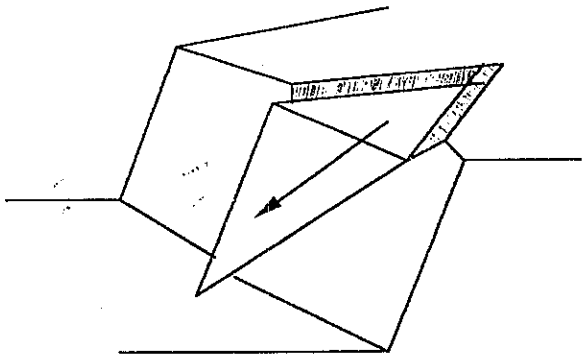


Gambar 2.9 Longsoran bidang

2. Longsoran baji/blok

   Longsoran ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang *diskontinu* yang bebas (gambar 2.10), dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari pada sudut geser dalamnya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



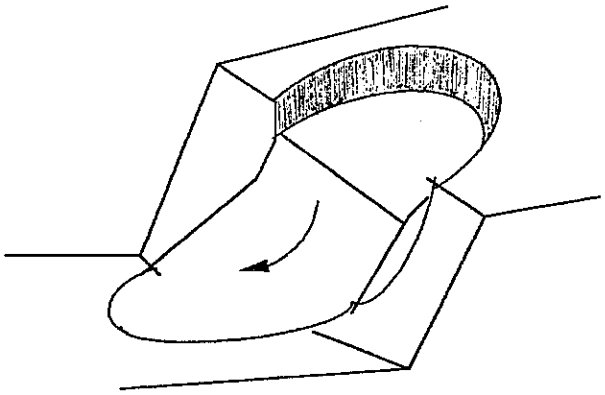
Gambar 2.10 Longsoran baji

Kedua bentuk longsoran lereng diatas tidak dibahas karena penomena longsoran kubah lava berbentuk lingkaran.

3. Longsoran lingkaran

Longsoran jenis ini (gambar 2.11) adalah yang paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (*soil*). Pada batuan yang keras jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang *diskontinu* yang rapat (*heavily jointed*) . Kondisi-kondisi longsoran ini akan terjadi jika partikel-partikel individu tanah atau massa batuan sangat kecil dibanding dengan ukuran lereng dan jika partikel-partikel tersebut tidak membentuk suatu bentuk maka kubah lava akan membentuk blok lava (*blocky lava*) diatas permukaan dan *viskositas* panas pada bagian dalam kubah akan cenderung bersifat *soil-like* dan *major failure* yang biasanya selalu terjadi dalam bentuk lingkaran.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.11 Longsoran lingkaran

2.5 Perhitungan Faktor Keamanan

Kestabilan lereng dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan. Faktor keamanan dirumuskan sebagai berikut (Hoek dan Bray, 1987)

$$F = \frac{c + (\sigma - u)\tan\phi}{\tau_{mb}} \qquad (2.13)$$

dengan

τ_{mb} adalah tegangan geser bergerak disepanjang permukaan longsor (N/m²)

F adalah faktor keamanan

Jika harga F > 1 maka kondisi lereng dianggap stabil, sedangkan harga F = 1 maka kondisi lereng dalam keadaan seimbang, dan siap untuk longsor kalau ada sedikit gangguan dan bila F < 1, maka lereng dianggap tidak stabil.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.6 Metoda Bishop's yang disederhanakan pada Irisan 2 Dimensi.

Pada tahun 1955, Bishop's memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti daripada metoda irisan yang disederhanakan. Dalam metoda ini, pengaruh gaya-gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan nomor n, ditunjukkan pada gambar 2.12b.

Dimisalkan P_n-P_{n+1} = ΔP; T_n-T_{n-1} = ΔT, juga dapat ditulis bahwa

$$T_r = N_r(\tan\phi_d) + c_d \Delta L_n = N_r\left(\frac{\tan\phi}{F}\right) + \frac{c\Delta L_n}{F} \qquad (2.14)$$

Gambar 2.12c menunjukkan poligon gaya untuk keseimbangan dari irisan nomor n. Jumlahkan dalam arah vertikal

$$\gamma h_n \Delta x_n + \Delta T = N_r \cos\alpha_n + \left[\frac{N_r \tan\phi}{F} + \frac{c\Delta L_n}{F}\right]\sin\alpha_n$$

atau

$$N_r = \frac{\gamma h \Delta x_n + \Delta T - \frac{c\Delta L_n}{F}\sin\alpha_n}{\cos\alpha_n + \frac{\tan\phi \sin\alpha_n}{F}} \qquad (2.15)$$

Untuk keseimbangan blok ABC (gambar 2.12a), ambil momen terhadap O

$$\sum_{n=1}^{n=p} \gamma h_n \Delta x_n r \sin\alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r r \qquad (2.16)$$

dengan $T_r = \frac{1}{F}(c + \sigma\tan\phi)\Delta L_n = \frac{1}{F}(c\Delta L_n + N_r \tan\phi)$

Dengan memasukkan persamaan (2.14) dan (2.15) ke dalam persamaan (2.16), didapatkan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left(c\Delta x_n + \gamma h_n \Delta x_n + \Delta T \tan\phi \right) \dfrac{1}{\cos\alpha_n \left(1 + \dfrac{\tan\phi \tan\alpha_n}{F} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma h_n \Delta x_n \sin\alpha_n} \quad (2.17)$$

dengan $\Delta L_n = \dfrac{\Delta x_n}{\cos\alpha_n}$

Untuk penyederhanaan, diumpamakan ΔT = 0, maka persamaan (2.17) berubah menjadi

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left(c\Delta x_n + \gamma h_n \Delta x_n \right) \dfrac{1}{\cos\alpha_n \left(1 + \dfrac{\tan\phi \tan\alpha_n}{F} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma h_n \Delta x_n \sin\alpha_n} \quad (2.18)$$

Untuk rembesan tetap yang melalui lereng, tekanan air pori dipertimbangkan maka digunakan kekuatan parameter geser efektif. Gambar 2.13 menunjukkan sebuah lereng dengan rembesan tetap. Untuk irisan nomor n, tekanan air pori rata-rata pada dasar irisan adalah $u_n = h_n \gamma_w$. Gaya total yang disebabkan oleh tekanan air pori pada dasar irisan nomor n adalah $u_n \Delta L_n$. Jadi persamaan (2.18) berubah menjadi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left(c' + (\gamma h_n - \gamma_w h_{w_n}) \tan\phi' \right) \dfrac{\dfrac{\Delta x_n}{\cos\alpha_n}}{\left(1 + \dfrac{\tan\phi' \tan\alpha_n}{F} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma h_n \Delta x_n \sin\alpha_n} \qquad (2.19)$$

Dari persamaan (2.19) nampak harga F dikedua sisi sehingga diperlukan suatu analisis pengulangan (*iterasi*) untuk memperoleh F maka persamaan (2.19) berubah menjadi

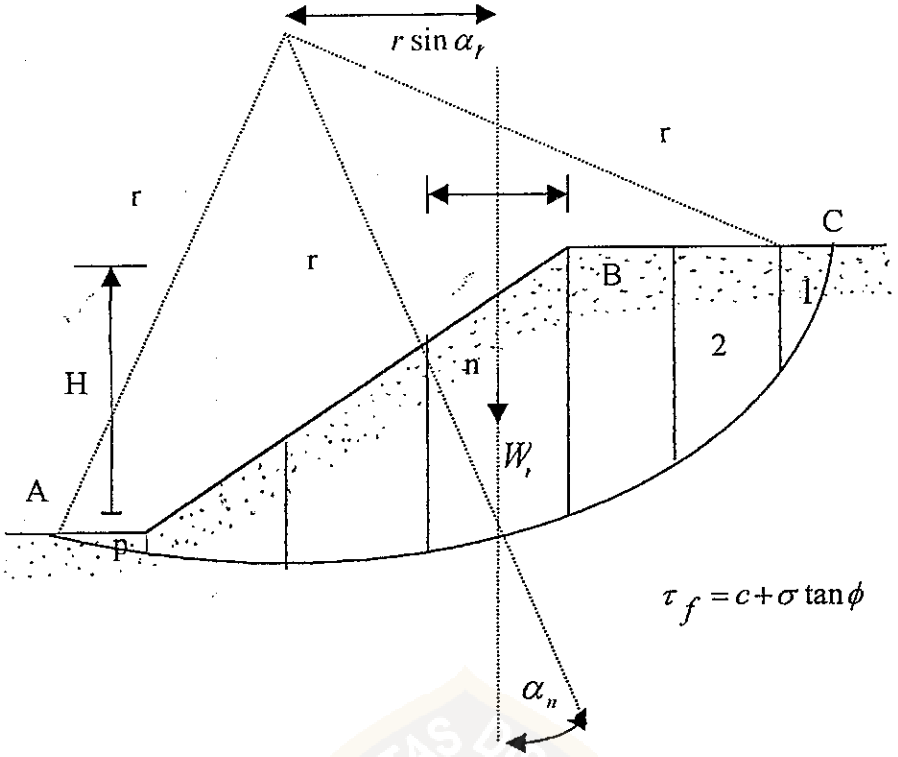
$$F_{m+1} = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left(c' + (\gamma h_n - \gamma_w h_{w_n}) \tan\phi' \right) \dfrac{\dfrac{\Delta x_n}{\cos\alpha_n}}{\left(1 + \dfrac{\tan\phi' \tan\alpha_n}{F_m} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma h_n \Delta x_n \sin\alpha_n} \qquad (2.20)$$

dengan,

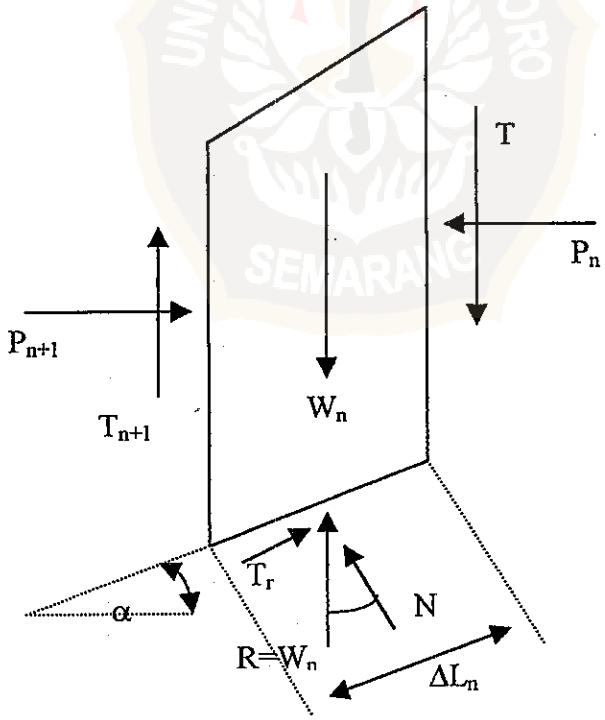
m adalah banyaknya iterasi

Program komputer memungkinkan penyelesaian yang cepat hanya setelah beberapa kali siklus (biasanya 2 sampai 3) dengan menganggap mula-mula F=1 untuk bagian kanan dan menghitung F pada bagian kiri. Nilai F yang diperoleh dibandingkan dengan nilai anggapan, apabila hasilnya antara F yang dihitung lebih besar dari 0,001 maka nilai yang baru saja dihitung digunakan untuk *interasi* berikutnya dan siklus diulangi. Proses ini akan berhenti jika perbedaan antara yang dihitung dan anggapan lebih kecil dari 0,001.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

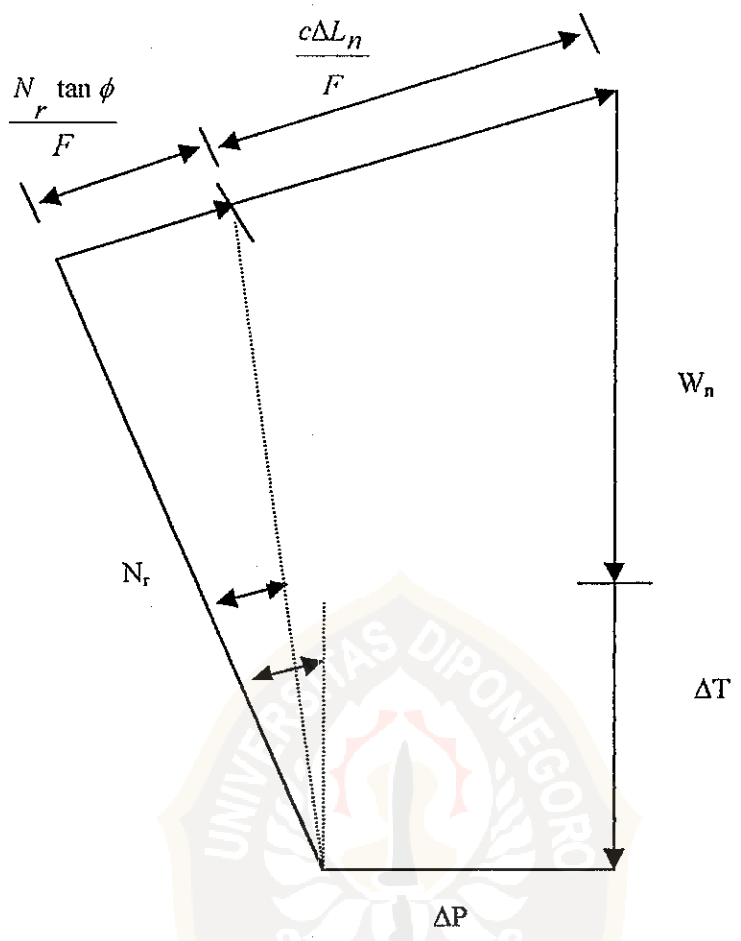


Gambar 2.12a Metoda Bishop's disederhanakan irisan dua dimensi; H adalah tinggi lereng, r adalah jari-jari lingkaran longsor, b_n adalah posisi retakan, α_n adalah sudut kemiringan lereng. (Braja, 1995)



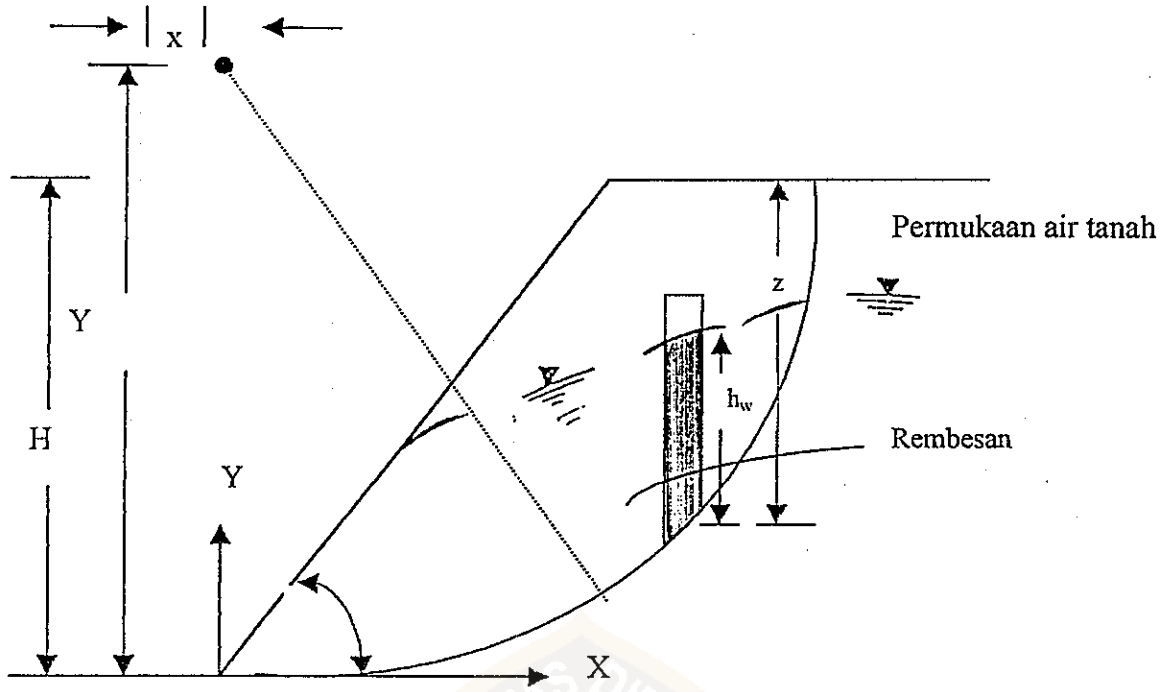
Gambar 2.12b Gaya-gaya yang bekerja pada irisan; T_{n+1} dan P_{n+1} adalah gaya-gaya vertikal dan horizontal, W_n adalah berat irisan, ΔL_n adalah lebar irisan, N adalah gaya normal (Braja, 1995)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.12c Poligon gaya untuk keseimbangan; ΔT dan ΔP adalah perbedaan gaya-gaya vertikal dan horizontal, ϕ adalah sudut gesek dalam (Braja, 1995)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.13 Stabilitas lereng dengan rembesan konstan; Y dan Xadalah sumbu-sumbu koordinat pada arah vertical dan horizontal, x adalah koordinat pusat longsoran, h_w adalah tinggi permukaan air , z adalah tinggi permukaan air tanah (Braja, 1995)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)