

BAB II

DASAR TEORI DAN STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Tanah merupakan materi dasar yang menerima sepenuhnya penyaluran beban yang ditimbulkan akibat konstruksi bangunan yang dibuat di atasnya. Tanah yang ada di permukaan bumi mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda-beda, sehingga hal ini merupakan suatu tantangan bagi perencana konstruksi untuk memahami perilaku tanah yang dihadapi dalam perencanaan konstruksi dengan jalan melakukan penyelidikan dan penelitian terhadap sifat-sifat yang dimiliki tanah, yang tentunya hasilnya tidak mutlak tepat dan benar akan tetapi paling tidak kita dapat melakukan pendekatan secara teknis yang dapat dipertanggungjawabkan akurasi dalam perencanaan konstruksi.

Dalam pengertian teknik secara umum tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran mineral padat yang tidak tersegmentasi (terikat secara kimia) antara satu dengan yang lainnya dan merupakan partikel padat hasil penguraian bahan organik yang telah lapuk yang berangkal dengan zat cair dan gas sebagai pengisi ruang-ruang kosong antar partikel.

Daerah berpotensi longsor adalah daerah di mana kondisi terrain dan geologinya tidak menguntungkan. Daerah ini sangat peka terhadap gangguan luar, baik yang bersifat alami maupun aktivitas manusia yang merupakan faktor pemicu gerakan tanah. Longsor adalah suatu proses perpindahan massa tanah dari kedudukan semula akibat dari karena pengaruh gravitasi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dan menjadi dasar dasar penanganan pada longsor adalah : kedalaman, aktivitas atau kecepatannya, macam material tanah perlu dibedakan antara tanah (lempung, lanau, pasir, kerikil atau campuran, residual, koluvial dan seterusnya).

Daerah kajian adalah daerah lereng pada sungai yang dikhawatirkan akan terjadi dampak bencana yang lebih parah jika dibiarkan berlarut larut. Agar dapat menghindari terjadinya longsor pada lereng maka diperlukan pembahasan mengenai stabilitas lereng.

2.2. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan di lapangan adalah pokok untuk memutuskan apakah suatu usulan pekerjaan rekayasa layak/patut dan cukup secara ekonomis untuk direncanakan.

Penyelidikan lapangan sangat perlu untuk menganalisa keamanan atau kasus keruntuhan pekerjaan pekerjaan yang ada, untuk memilih bahan bahan dan menentukan metoda konstruksi untuk direncanakan yang kemudian dilaksanakan. Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter tanah yang dalam hal ini antara lain adalah komposisi tanah (*soil properties*), sifat sifat teknik tanah (*soil engineering*) serta kandungan mineralogi yang dimiliki oleh tanah. Pengetahuan akan akan parameter-parameter tanah tersebut sangat di perlukan untuk perencanaan awal desain stabilisasi tanah.

Metoda metoda penyelidikan lapangan sangat luas dalam lingkungan proyek rekayasa dan macam macam lapangan. Pada umumnya, beberapa penyelidikan akan akan dimulai dengan mengumpulkan dan mempelajari semua data tentang keadaan tanah dan kondisi geologi di lapangan. Pada banyak daerah, keadaan pengetahuan setempat, catatan percobaan lubang galian, lubang bor dan lain lain disekitarnya serta perilaku struktur yang ada yang kesemuanya ini akan sangat membantu. Jika keterangan yang ada tidak cukup atau tidak pasti, maka lapangan diperiksa secara detail.

2.2.1. Pekerjaan Sondir

Pekerjaan sondir dilakukan untuk mendapatkan data tingkat kekuatan tanah/kekerasan tanah lapisan tanah, pekerjaan ini dilakukan dengan alat sondir atau *Cone Penetrometer Tes* (CPT). Hasil cone penetration test disajikan dalam bentuk diagram sondir yang mencatat nilai tahanan konus dan friksi selubung, tes ini dapat menentukan lapisan lapisan tanah berdasarkan pada korelasi tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalam sondir, kemudian dapat digunakan untuk mengetahui elevasi tanah lapisan keras dan menghitung daya dukung pondasi yang diletakkan pada tanah tersebut.

Interpretasi hasil sondir didapat dengan mengkorelasikan nilai nilai tahanan konus (q_c) dan friction dengan konsistensi tanah lempung dan kepadatan suatu lapisan pasir seperti yang disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hubungan antar konsistensi dengan tekanan konus

Konsistensi tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (T/m ²)
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0– 10,0	2,50 – 5,0

Tabel 2.1. lanjutan

Stiff	10,0– 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0– 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

2.2.2. Pemboran

Pemboran dapat dilakukan dengan mesin atau manual, pemboran dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan sampel tanah *undisturbed* (tidak terganggu)

Sedangkan maksud dilakukan pekerjaan pemboran adalah guna mengidentifikasi kondisi lapisan tanah sampai pada kedalaman yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan dalam perencanaan pondasi pada stabilisasi lereng. Sampel tanah yang didapat pada pemboran ini digunakan untuk mencari parameter parameter tanah melalui serangkaian tes laboratorium.

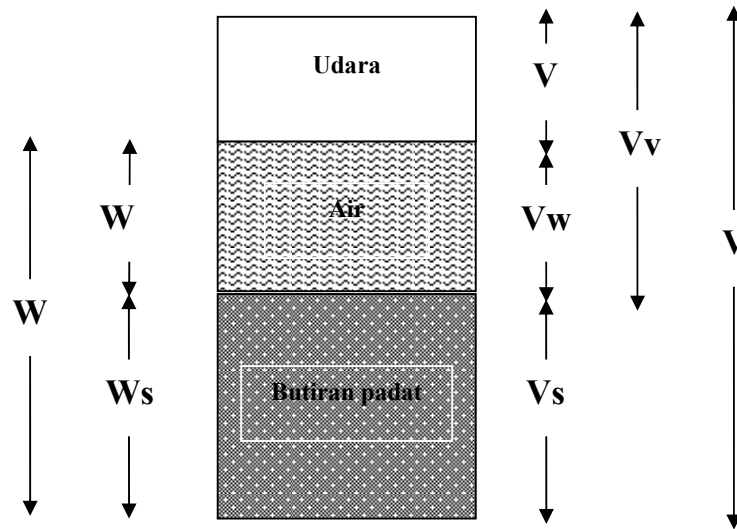
Selain itu juga dilakukan tes SPT atau *Standard Penetration Test* yang diperlukan untuk menentukan konsistensi atau density tanah dilapangan, berikut disajikan korelasi nilai N-SPT dan properties tanah.

Tabel 2.2. Korelasi Nilai N-SPT dan properties tanah.

SAND		CLAY	
N-SPT	Relative Density	N-SPT	Konsistensi
0 - 4	Very Loose	< 2	Very Soft
4 - 10	Loose	2 - 4	Soft
10 - 30	Medium	4 - 8	Medium
30 -50	Dense	8 - 15	Stiff
>50	Very Dense	15 - 30	Very Stiff
		> 30	Hard

2.2.3. Komposisi Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu : butiran padat (solid), air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tiga Fase Elemen Tanah

Hubungan volume – berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Dimana :

V_s = Volume butiran padat

V_v = Volume pori

V_w = Volume air dalam pori

V_a = Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w$$

Dimana :

W_s = Berat butiran padat

W_w = Berat air

Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

1. Angka pori (*void ratio*), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

2. Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen yaitu:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

3. Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, yang dinyatakan dalam persen, yaitu:

$$s = \frac{V_w}{V_v}$$

Hubungan antara angka pori dan porositas diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{e}{1+e}$$

4. Kadar air (w), disebut juga sbg water content yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu:

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

5. Berat volume (γ) adalah berat tanah persatuan volume

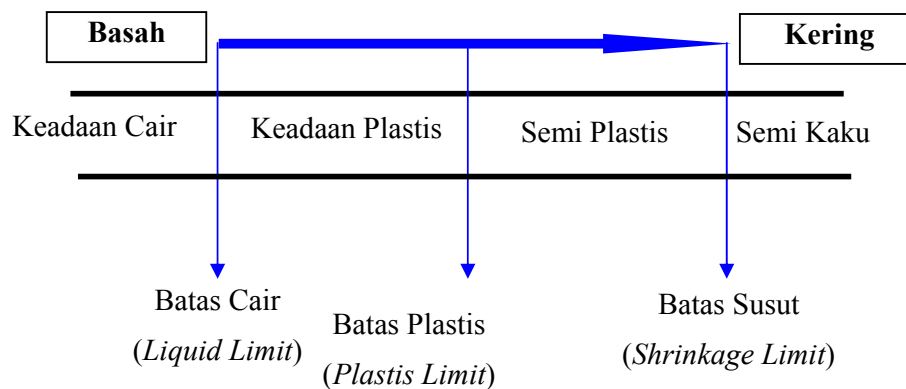
$$\gamma = \frac{w}{v}$$

6. *Specific gravity* (G_s) adalah perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

2.2.4. Batas Konsistensi Tanah

Batas konsistensi tanah atau yang biasa disebut *Atterberg Limit* merupakan hal yang penting dan selalu dilakukan pada saat penyelidikan. Penyelidikan ini khusus dilakukan pada tanah berbutir halus dan dikarenakan batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Kegunaan batas atterberg dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatan kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2. Batas Batas Konsistensi Tanah

1. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
2. Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.

3. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI = LL - PL$$

Tabel 2.3. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas dengan Jenis Tanah menurut Atterberg

PI	TINGKAT PLASTISITAS	JENIS TANAH
0	Tidak plastis	Pasir
0 < PI < 7	Plastisitas Rendah	Lanau (<i>Silt</i>)
7 - 17	Plastisitas Sedang	<i>Silty – Clay</i>
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung (<i>Clay</i>)

4. Batas pengerutan / *shrinkage limit* (SL)

Tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan lahan menghilang. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume, kadar air dinyatakan dalam persen, dimana perubahan volume tanah berhenti.

$$SL = W_i (\%) - W (\%)$$

Dimana:

W_i = Kadar air tanah mula-mula pada saat ditempatkan dalam mangkok uji batas susut.

W = Perubahan kadar air (antara kadar air mula-mula dengan kadar air pada saat susut)

$$W_i (\%) = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\%$$

Dimana:

M_1 = Massa tanah basah dalam cawan besi pa saat permulaan pengujian (gram)

M_2 = Massa tanah kering dalam cawan setelah di oven (gram)

$$W(\%) = (V_i - V_f) \times p_w / M_2 \times 100\%$$

Dimana :

V_i = Volume contoh tanah basah pada saat permulaan pengujian (cc)

V_f = Volume tanah kering setelah dioven (cc)

p_w = Kerapatan air (lgr/cc)

Maka dapat diperhitungkan batas susut

$$SL = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\% - (V_i - V_f) \times p_w / M$$

2.2.5. Analisa Saringan Dan Hidrometer

Analisa saringan dan hidrometer diperlukan untuk klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya. Pemeriksaan analisis saringan dan hidrometer ini untuk menentukan penyebaran butiran / gradasi dari suatu sampel tanah dengan menggunakan saringan dan hidrometer sehingga dapat diketahui jenis tanah berdasarkan diameter butirnya. Analisa saringan dilakukan dengan cara mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set alat ayakan. Dimana lubang lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan, kemudian hasil dari analisa saringan tersebut diplotkan pada kurva distribusi ukuran-butiran. Diameter butiran digambarkan dalam skala logaritmik, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa.

Sedang pada analisis hidrometer pemeriksaan ini untuk memperpanjang atau melanjutkan batas kurva distribusi ukuran butiran / gradasi dan untuk memperkirakan ukuran yang lebih kecil dari saringan No.200, pemeriksaan dengan analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi butir butir tanah dalam air, tiap partikel partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda beda

2.3. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk membenikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah didalam perencanaan dan pelaksanaan suatu konstruksi. Dalam mekanika tanah telah banyak dibuat metode pengklasifikasian sesuai dengan dasar yang dipakai untuk mendasani metode yang dibuat. Walaupun terdapat berbagai sistem pengklasifikasian tanah, tetapi tidak satupun dari sistem sistem tersebut yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

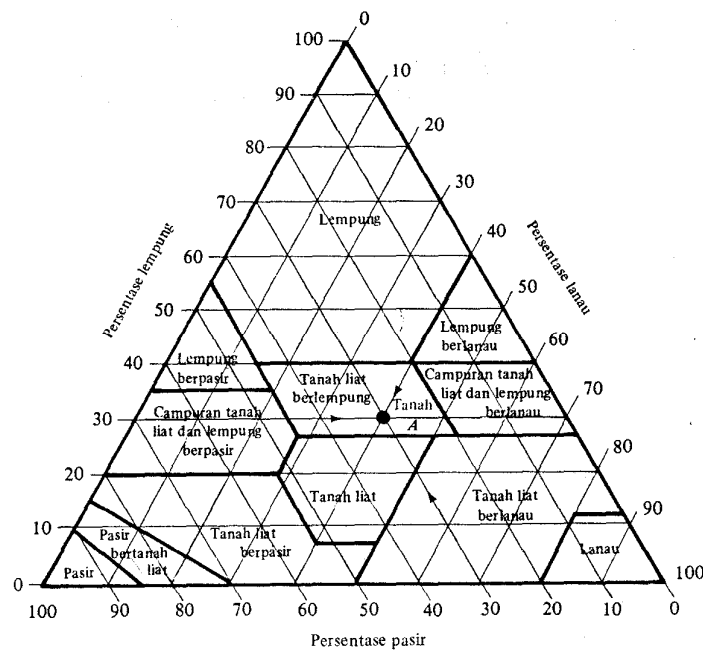
1. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
2. Klasifikasi Tanah Sistem ASHTO
3. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

2.3.1. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah. Pengaruh daripada ukuran tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk testur tanah. Ukuran butir merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah, dan kebanyakan sistem-sistem klasifikasi terdahulu banyak menggunakan ukuran butir sebagai dasar pembuatan sistem klasifikasi. Tanah tersbut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir : pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Dikarenakan deposit tanah alam pada umumnya terdiri atas berbagai ukuran-ukuran partikel, maka perlu sekali untuk membuat suatu aturan berdasarkan distribusi ukuran butir yang kemudian menentukan prosentase tanah bagi setiap batasan ukuran. Departernen Pertanian AS. telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir yang menamakan tanah secara spesifik bergantung dari prosentase pasir, lanau, dan lempung. Untuk itu dibuat suatu grafik segitiga yang dipergunakan untuk mengklasifikasikan sistem ini. **Gambar 2.3.** memperlihatkan grafik segitiga yang dipergunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan sistem segitiga ini. Prosentasi pasir, lanau dan lempung diplotkan pada grafik tersebut dan daerah dimana titik itu terletak akan mengklasifikasikan tanah tersebut.

Akan tetapi meskipun ukuran butir ternyata menyajikan cara untuk rnengklasifikasian tanah, namun mempunyai suatu kekurangan. Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat

menafsirkan ciri ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Gambar 2.3. Klasifikasi Berdasar Tekstur Tanah

2.3.2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Guna mengklasifikasikan tanah untuk pemakaian lapisan dasar jalan raya. Sistem ini pada mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Kelompok A-1 dianggap yang paling baik yang sesuai untuk lapisan dasar jalan raya. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials (AASHTO)* dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada **tabel 2.4.** di bawah. Adapun penjelasan bagan tabel 2.4. diatas adalah sebagai berikut, pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dan kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan persamaan dibawah.

Tabel 2.4a. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi ayakan	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% Lolos)							
No. 10	Maks 50						
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas Cair (LL)			NP	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6			Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Tabel 2.4b. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% au kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Analisis Ayakan (% Lolos)				
No. 10				
No. 40				
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40				
Batas Cair (LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

$$\text{Indeks kelompok} = (F - 35) \{ 0,2 + 0,005 (LL - 40) \} + 0,01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dimana:

F = persen lewat ayakan 0,075 mm (No.200), dinyatakan dalam angka bulat.

LL = Batas cair

PI = Indeks Plastisitas

Indeks kelompok ini selalu dinyatakan dalam bilangan bulat apabila tidak negatif, bila negatif maka dinyatakan sebagai nol. Pada saat menghitung indeks kelompok bagi sub kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya PI saja dan rumus itu yang dipergunakan. Indeks kelompok dituliskan sebagai bagaian dan kiasifikasi AASHTO. Apabila indeks kelompok bagi tanah A-7-6 dan A-2-7 sama dengan 15, maka klasifikasinya ditulis dengan A-7-6(15). Makin tinggi nilai indeks kelompok makin kurang sesuai bahan tersebut sebagai lapisan dasar. Indeks kelompok menunjukkan nilai 0 itu berarti menunjukkan suatu material lapis dasar yang bagus, dan indeks kelompok 20 atau lebih tingi menunjukkan suatu material lapis dasar yang sangat jelek.

2.3.3. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi adalah klasifikasi sistem UNIFIED. Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan ternagn yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S. Bureau of Reclamation* dan *U.S Corps of Engineers* dalam tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa.

Sistem UNIFIED membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

1. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahanya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).

2. Tanah butir halus → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah :

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

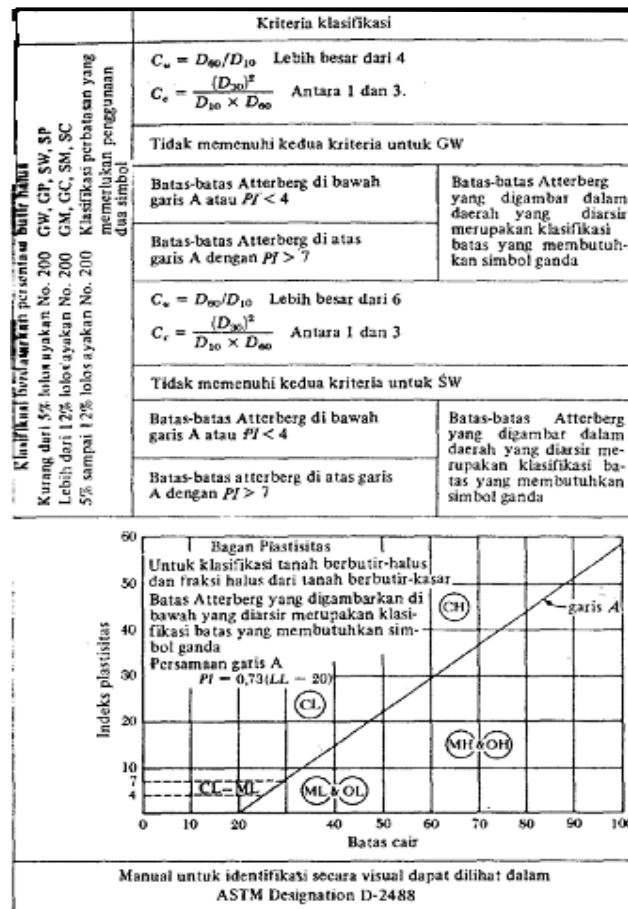
L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Untuk lebih jelasnya klasifikasi sistem UNIFIED dapat dilihat pada bagan **gambar 2.4a.** dan **gambar 2.4b.** dibawah.

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum		
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil berbutir (hanya kerikil)	GW		
		Kerikil dengan butiran halus	GP		
		Pasir berbutir (hanya pasir)	GM		
		Pasir dengan butiran halus	GC		
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir berbutir (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.			
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)			
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Gambar 2.4a. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED



Gambar 2.4b. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

2.4. Identifikasi Tanah Berpotensi Ekspansif

Tanah kohesif didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral yang mempunyai sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimia, *texture* dan partikel serta pengaruh lingkungan disekitarnya. Pengetahuan mengenai mineral tanah sangat diperlukan untuk memahami perilaku tanah. Dari segi mineral yang disebut tanah lempung dan mineral lempung adalah yang mempunyai partikel-partikel tertentu yang apabila dicampurkan dengan air akan menghasilkan sifat - sifat plastis pada tanah.

Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid yaitu merupakan gugusan kristal berukuran mikro yang merupakan hasil proses pelapukan mineral dan batuan induknya.

Mineral lempung terdiri dari dua lempeng kristal pembentuk kristal dasar yaitu *Silikat Tetrahedral* dan *Alumunium Oktaheral*. Mineral lempung yang telah diidentifikasi sudah banyak jumlahnya, namun hanya sebagian kecil yang dibahas dalam persoalan geoteknik. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki tingkat sensifitas tinggi terhadap perubahan kadar air dengan memperlihatkan perubahan volume yang cukup besar dan penurunan *shear strenght*.

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi adanya potensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas *Atterberg*, *linear shrinkage test*, uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas, sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum pada **tabel 2.5**.

Tabel 2.5. Hubungan Potensi Mengembang dengan Indeks Plastisitas

POTENSI MENGEMBANG	INDEKS PLASTIS
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat Tinggi	> 35

Altmever (1955) membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linier dan persentase batas susut Atterberg seperti yang tercantum dalam **tabel 2.6**.

Tabel 2.6. Hubungan batas susut dengan derajat mengembang

BATAS SUSUT ATTERBERG (%)	SUSUT LINIER (%)	DERAJAT MENGEMBANG
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 5	Tidak Kritis

.Skempton (1953) mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut :

$$Activity(A) = \frac{PI}{(C - 10)}$$

Keterangan :

- PI = *Plasticity Index*
 C = Persentase lempung lolos saringan 0.002 mm

Dari rumus diatas Skempton membagi tanah menjadi tiga golongan, yaitu :

- $A \leq 0.75$: **tidak aktif**
- $0.75 < A \leq 1.25$: **normal**
- $A > 1.25$: **aktif**

Seed et al (1962) mengelompokkan besaran *activity* berdasarkan jenis mineral seperti yang terlihat pada **tabel 2.7.**

Tabel 2.7. Hubungan Aktivitas dengan Mineral (Seed et al, 1962)

MINERAL	AKTIVITAS
Kaolinite	0.33 – 0.46
Illite	0.99
Montmorillonite (Ca)	1.5
Montmorillonite (Na)	7.2

2.4.1. Faktor - Faktor Yang Berpengaruh Dalam Proses Mengembang

Menurut Chen (1975) faktor yang berpengaruh pada proses mengembang tanah lempung ekspansif dapat dilihat dari dua kondisi proses, yaitu kondisi di laboratorium dan kondisi di lapangan (*in situ*). Proses mengembang di laboratorium merupakan penyederhanaan pengamatan terhadap faktor berpengaruh dalam proses mengembang di lapangan. Faktor - faktor tersebut adalah kadar mineral lempung, montmorillonite, kepadatan awal, waktu pembasahan, tebal contoh tanah, tingkat kejenuhan, kadar air awal

dan tekanan akibat beban luar. Empat faktor pertama memiliki kecenderungan potensi mengembang tanah bertambah dengan meningkatnya nilai faktor tersebut. Sedangkan tiga faktor terakhir memiliki kecenderungan yang sebaliknya. Proses mengembang yang terjadi di lapangan jauh lebih rumit prosesnya daripada apa yang diamati di laboratorium.

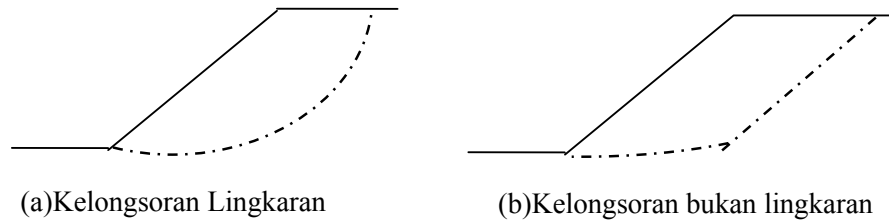
Sejumlah faktor tambahan lain yang sangat berpengaruh terhadap proses mengembang adalah :

1. Iklim (climate) meliputi efek presipitasi, evaporasi dan tranpirasi serta kelembaban tanah.
2. Profil tanah, ketebalan tanah ekspansif dan posisinya pada profil tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang tanah setempat.
3. Air tanah, lapisan tanah ekspansif yang berada di daerah fluktuasi pergerakan air tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang di lokasi tanah setempat. Tetapi untuk lapisan tanah ekspansif yang berada di bawah daerah fluktuasi air tanah tersebut tidak akan mempengaruhi proses mengembang tanah ekspansif tersebut.
4. Drainase.

2.5. Teori Kelongsoran Dan Stabilitas Lereng

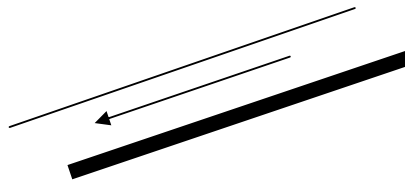
Kelongsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah miring dari kedudukan semula sehingga terpisah dari massa yang mantap karena pengaruh gravitasi dan rembesan (*seepage*). Berikut dijelaskan macam-macam kelongsoran berdasarkan jenis gerakannya, longsor dibedakan sebagai berikut:

1. Rebahan atas (*Topples*)
2. Jatuhan (*Fall*)
3. Luncuran (*Slide*), yang dibedakan menjadi:
 - Rotational Slide, yaitu kelongsoran dengan bidang gelincirnya berbentuk busur lingkaran. Pada umumnya kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan kelongsoran bukan lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang tidak homogen



Gambar 2.5. Kelongsoran rotasi

- Translational Slide, yaitu kelongsoran dimana bidang gelincirnya berbentuk bidang datar. Kelongsoran ini terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan, kelongsoran translasi cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan terletak pada kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng, dimana, bidang gelincirnya akan berbentuk bidang yang hampir sejajar dengan kemiringan lereng.



Gambar 2.6. Kelongsoran translasi

- *Surface Slide*, yaitu kelongsoran dimana bidang gelincirnya terletak dekat dengan permukaan tanah.
- *Deep Slide*, yaitu kelongsoran dimana bidang gelincirnya terletak jauh dari permukaan tanah

4. Aliran (*Flow*)

Aliran adalah jenis gerakan tanah dimana kuat geser tanah kecil sekali atau tidak ada, dan material yang bergerak berupa material kental.

5. Kombinasi (Kompleks)

2.5.1. Faktor-Faktor Penyebab Kelongsoran

Faktor-faktor penyebab kelongsoran secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu akibat pengaruh luar (*External Effect*) dan akibat pengaruh dalam (*Internal Effect*). Penjelasan mengenai dua hal tersebut dipaparkan sebagai berikut :

a. **Gangguan luar**, yang meliputi :

- (1) Getaran yang ditimbulkan gempa bumi, peledakan, kereta api, dan lain-lain.
- (2) Pembebanan tambahan, terutama disebabkan aktifitas manusia misalnya adanya bangunan atau timbunan di atas tebing.
- (3) Hilangnya penahan lateral, yang dapat disebabkan oleh pengikisan (erosi sungai, pantai), penggalian.
- (4) Hilangnya tumbuhan penutup yang dapat menimbulkan alur pada beberapa daerah tertentu yang akan mengakibatkan erosi dan akhirnya akan terjadi longsor.

b. **Gangguan dalam**, yang meliputi :

- (1) Naiknya berat massa tanah batuan, masuknya air ke dalam tanah menyebabkan terisinya rongga antar butir sehingga massa tanah bertambah.
- (2) Larutnya bahan pengikat butir yang membentuk batuan oleh air, misalnya perekat dalam batu pasir yang dilarutkan air sehingga ikatannya hilang.
- (3) Naiknya muka air tanah, muka air dapat naik karena rembesan yang masuk pada pori antar butir tanah yang menyebabkan tekanan air pori naik sehingga kekuatan gesernya turun.
- (4) Pengembangan tanah, rembesan air dapat menyebabkan tanah mengembang terutama untuk tanah lempung.

(5) Pengaruh Geologi

Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang potensial mengalami kelongsoran. Sebagai contoh adalah pembentukan lapisan tanah sebagai berikut, sungai yang mengalirkan air ke laut membawa partikel-partikel halus yang jumlahnya tergantung dari volume dan kecepatan alirannya, kemudian partikel-partikel tersebut mengendap di dasar laut membentuk lapisan tanah, dimana penyebaran pengendapannya bisa merata atau tidak merata tergantung arus air laut

biasanya membentuk sudut kemiringan lapisan 5o-10o. Karena pembentukan tiap lapisan terjadi di air, maka dasar tiap lapisan adalah air yang bisa dilihat seringkali sebagai lapisan tipis (*thin film*) pada zona pemisah antara lapisan lempung dan lanau kepasiran atau sebagai aliran laminar pada lapisan pasir yang lebih permeabel. Dengan keadaan demikian bila banyak air memasuki lapisan pasir tipis, sedangkan pengeluaran air sedikit sehingga keadaan lapisan menjadi jenuh, maka tekanan air akan bertambah dan tekanan air inilah yang sering menyebabkan kelongsoran. Lain halnya bila air memasuki lapisan pasir tebal sehingga keadaan lapisan tidak sepenuhnya jenuh air, maka lapisan tersebut bahkan bisa berfungsi sebagai drainase alamiah.

(6) Pengaruh Morfologi

Variasi bentuk permukaan bumi yang meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun daerah dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan daerah tersebut sehubungan dengan kasus kelongsoran. Secara logis daerah dengan kemiringan besar lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar, sehingga kasus kelongsoran seringkali ditemui di daerah gunung atau perbukitan, dan pada pekerjaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan besar. Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng dan tekanan beban yang berlebihan di kepala lereng. Hal tersebut bisa terjadi karena erosi pada kaki lereng dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

(7) Pengaruh Proses Fisika

Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi dan relaksasi tegangan sejajar permukaan, ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah kohesif lambat laun tereduksi kekuatannya terutama nilai kohesi c dan sudut geser dalamnya (ϕ).

Pada tanah non kohesif misalnya lapisan pasir, bila terjadi getaran oleh gempa mesin atau sumber getaran lainnya, sehingga mengakibatkan lapisan

tersebut ikut bergetar, maka pori-pori lapisan akan terisi oleh air atau udara yang akan meningkatkan tekanan dalam pori. Tekanan pori yang meningkat dengan spontan dan sangat besar ini menyebabkan terjadinya pencairan lapisan pasir, sehingga kekuatan gesernya berkurang.

(8) Pengaruh Air Dalam Tanah

Keberadaan air dapat dikaitkan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

- a. Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran, semakin besar air pori semakin besar pula tenaga pendorong.
- b. Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesif dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang.
- c. Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

2.5.2. Stabilitas Lereng

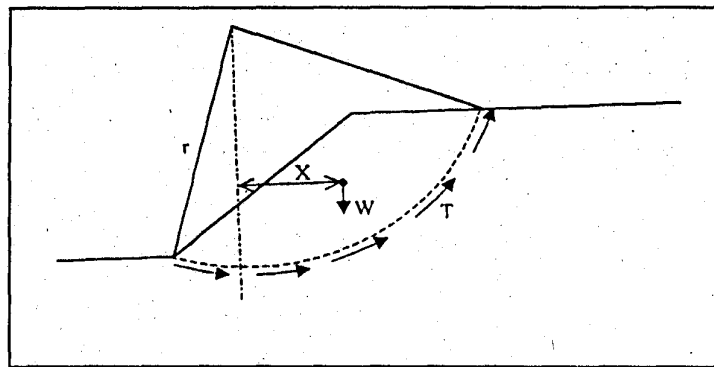
Analisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Karena itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terdiri atas :

1. Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya.
2. Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

Dalam menganalisa stabilitas lereng harus ditentukan terlebih dahulu faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsor.

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

Analisis kestabilan lereng dapat dihitung dengan menghitung momen penahan dan momen penggerak pada lingkaran longsoran. Nampak pada **gambar 2.7.** menjelaskan bahwa bidang gesek sepanjang bidang gelincir akan berlawanan arah dengan arah gerak masa tanah.



**Gambar 2.7. Mekanika pada sebuah bidang longsoran rotasi
(Metoda Lengkung Swedia, untuk $\phi_u=0$)**

$$FK = \frac{r.T}{X.W}$$

Keterangan :

- r : Jari – jari lingkaran kelongsoran
- T : Jumlah gaya geser dari bidang longsoran
- X : Jarak titik berat massa ke titik pusat lingkaran
- w : Berat massa di atas lingkaran longsoran

Pada dasarnya untuk meningkatkan stabilitas lereng ada dua pendekatan yang biasa diterapkan dalam penanganan longsoran, dengan menaikkan angka keamanan, diantaranya yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak / momen penggerak.

Gaya dan momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan merubah bentuk lereng, yaitu dengan membuat lereng lebih datar dengan cara mengurangi sudut kemiringan dan memperkecil ketinggian lereng.

2. Memperbesar gaya penahan / momen penahan.

Untuk memperbesar gaya penahan, dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa metode perkuatan tanah, diantaranya konstruksi penahan seperti dinding penahan tanah, tiang, atau timbunan pada kaki lereng.

Penanggulangan longsor tergantung pada tipe dan sifat longsoran tersebut, serta kondisi lapangan dan geologi yang terdapat pada daerah longsoran. Cara penanggulangan longsor dapat dilakukan dengan cara:

1. Mengubah geometri lereng

Mengubah geometri lereng dapat dilakukan dengan cara pemotongan dan penimbunan pada ujung kaki lereng. Metode ini mempunyai prinsip mengurangi gaya dorong dari masa tanah yang longsor dan menambah gaya penahan dengan cara penimbunan pada ujung kaki lereng, sehingga faktor keamanan lereng dapat bertambah. Sebagai contoh pemotongan bagian ujung kaki dapat dilakukan untuk longsoran yang mempunyai massa relatif kecil. Mengubah geometri dengan cara penimbunan dilakukn dengan memberikan beban berupa timbunan pada daerah kaki yang berfungsi untuk menambah momen lawan. Penanggulangan ini cocok untuk longsoran dengan massa yang relatif utuh.

2. Mengendalikan air permukaan

Pengendalian air permukaan akan mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan menambah kekuatan material pembentuk lereng. Air permukaan yang akan mengalir pada permukaan lereng dan yang akan meresap ke dalam tanah harus dikendalikan, dapat dilakukan dengan menanam tumbuhan, tata salir (saluran permukaan yang dibuat pada bagian luar longsoran dan mengelilingi longsoran sehingga dapat mencegah aliran limpasan yang datang dari daerah yang lebih tinggi), perbaikan permukaan lereng (meratakan cekungan atau tonjolan lereng).

3. Mengendalikan air rembesan

Metode pengendalian air rembesan dapat dilakukan dengan sumur dalam (untuk menanggulangi longsoran yang bidang longsornya dalam), saluran tegak (untuk menurunkan tekanan hidrostatik), saluran mendatar (menurunkan muka air tanah di daerah longsoran), dan sebagainya.

4. Penambatan

Penambatan untuk menanggulangi longsoran tanah dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan penambat antara lain :

- **Bronjong**

Bronjong merupakan bangunan penambat yang mempunyai struktur bangunan berupa anyaman kawat yang diisi batu belah. Struktur bangunan berbentuk persegi dan disusun secara bertangga yang umumnya berukuran 2 x 1 x 0.5 m³. Bronjong adalah struktur yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerakan vertical dan horizontal. Bronjong akan efektif untuk longsoran yang relatif dangkal tetapi tidak efektif untuk longsoran berantai. Bronjong banyak digunakan karena material yang digunakan tidak sulit diperoleh dan biayanya relatif murah.

- **Tembok Penahan**

Tembok penahan merupakan bangunan penambat dari pasangan batu, beton, atau beton bertulang. Tipe tembok penahan terdiri dari dinding gaya berat, semi gaya berat dan dinding pertebalan.

Tembok penahan harus diberi fasilitas drainase seperti lubang penetes dan pipa salir yang diberi bahan filter supaya tidak tersumbat, sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatik yang besar.

- **Tiang Bor (*Bored Pile*)**

Untuk penanggulangan longsoran dengan bantuan struktur tiang yang lebih sering dipakai adalah Tiang Bor (*Bored Pile*) dibandingkan dengan tiang pancang karena tiang pancang memiliki keterbatasan dalam dimensi dan kemampuan dipancang (*driveability*). Pengalaman di Jepang, diameter tiang bor yang digunakan untuk menstabilkan longsoran (*dowel piles*) berkisar antara 1,5 – 3,5 m. Pemasangan tiang bor biasanya dilakukan dengan 3 metode, yaitu metode kering (*dry method*), metode casing (*casing method*), dan metode basah (*wet method*). Untuk semua kasus longsoran yang ditinjau (apabila diterapkan penanganan menggunakan tiang bor), metoda yang dipakai adalah metode casing sementara (*temporary casing method*) yang dikombinasikan dengan metode basah dikarenakan metode ini memungkinkan Konstruksi tiang bor untuk dilaksanakan pada kondisi tanah/batuan di lokasi yaitu muka air tanah yang dekat dengan permukaan dan batu serpih lapuk yang mudah runtuh akibat pengeboran.

- **Tiang Pancang**

Tiang dapat digunakan baik untuk pencegahan maupun penanggulangan longsoran. Cara ini cocok untuk longsoran yang tidak terlalu dalam, tetapi penggunaan tiang ini terbatas oleh kemampuan tiang untuk menembus lapisan yang keras atau material-material yang mengandung bongkah-bongkah. Cara ini tidak cocok untuk tipe aliran, karena sifat tanahnya sangat lembek yang dapat lolos melalui sela-sela tiang. Tiang pancang tidak disarankan untuk jenis tanah yang sensitif, karena dapat menimbulkan pencairan massa tanah sebagai akibat getaran pada saat pemancangan. Jenis-jenis tiang pancang adalah tiang pancang kayu, tiang pancang beton pracetak, tiang pancang beton prategang, tiang pancang beton cor langsung, tiang pancang baja, tiang pancang campuran dan tiang pancang jenis khusus.

- **Teknik Penguatan Tanah**

Tanah bertulang mempunyai fungsi untuk menambah tahanan geser yang prinsipnya hampir serupa dengan dinding penopang isian batu atau bronjong. Konstruksi ini terdiri dari timbunan tanah berbutir yang diberi tulangan berupa pelat-pelat baja strip dan panel untuk menahan material berbutir. Bangunan ini umumnya ditempatkan pada bagian ujung kaki lereng dan dipasang pada dasar yang kuat di bawah bidang longsoran.

- **Dinding Penopang Isian Batu**

Cara penanggulangan ini adalah dengan penimbunan pada bagian kaki longsoran dengan material berbutir kasar yang dipadatkan dan berfungsi menambah tahanan geser. Penanggulangan ini dapat digunakan untuk longsoran rotasi dan translasi.

- **Sheet Piles**

Penanggulangan longsoran dengan menggunakan *sheet piles* biasanya digunakan pada lereng yang memiliki stabilitas cukup aman. Secara umum fungsi *sheet piles* adalah untuk mempertahankan perbedaan tinggi permukaan tanah agar tetap stabil. *Sheet piles* merupakan deretan lembaran papan baik dari kayu, baja, maupun beton yang dipancang vertical ke dalam tanah, sehingga membentuk dinding tegak. Untuk perencanaan *sheet piles* ada 3 model pemancangan yang dapat dilakukan, yaitu:

- **Vibro Hammer**

Terdiri dari sepasang pembangkit yang bekerja berlawanan arah, dimana pada saat pemasangan *sheet piles* alat ini dipasang pada pegangan di kepala *sheet piles*. Kombinasi berat dan energi getaran akan mendorong *sheet piles* ke dalam tanah. Untuk memilih penggunaan type *vibro hammer* yang akan digunakan harus disesuaikan dengan berat dan panjang *sheet piles* yang akan digunakan. Peralatan ini efektif digunakan pada tanah lepas hingga tanah granular yang padat, namun tidak begitu efektif pada tanah lempung yang keras dan tanah lempung yang kaku.

- **Water Jetting**

Pemancangan *sheet piles* dengan semprotan air (*water jet*) dilakukan jika penggunaan *vibro hammer* tidak mungkin dilakukan. Pipa *water jet* yang dilengkapi dengan lubang pipa dari pangkal hingga ujung telah dipasang ke dalam pile di pabrik. *Water jet* dapat digunakan pada tanah granular yang mana pemancangan *sheet piles* dengan menggunakan alat ini akan masuk ke dalam tanah pada lubang tanah yang dibuat oleh tekanan air, cara penyemprotan ini sangat efektif digunakan pada tanah lempung padat hingga tanah lempung yang kaku. Apabila digunakan pada tanah granular yang mengandung kerikil dan berbutir kasar yang tidak dapat ditembus oleh air masih dapat dilakukan dengan pemancangan dengan kombinasi *jetting* dan *hammering*.

- **Diesel Hammer**

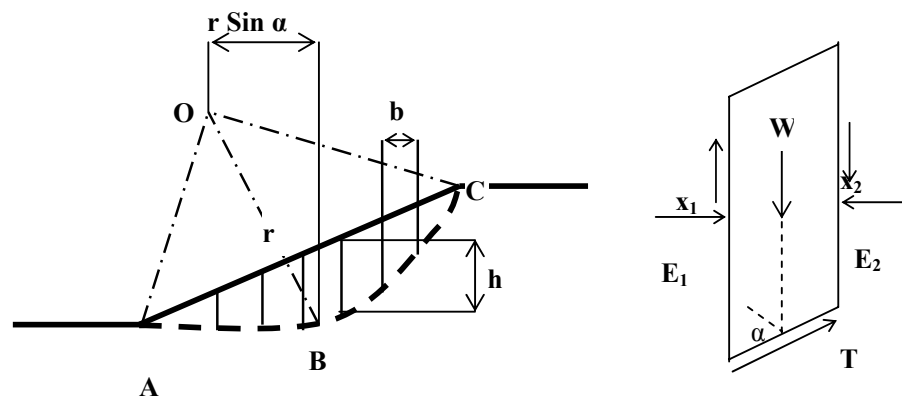
Biasa digunakan untuk pemancangan normal pada tanah lempung yang kaku, dimana tumbukan dari *vibro hammer* akan menjadi sangat efektif jika berat *hammer* disesuaikan dengan ukuran *sheet piles* yang akan dipasang.

2.6. The Method Of Slice (*Metode Pias – Pias*)

Metoda ini menggunakan runtuh permukaan potensial pada lereng yang diasumsikan berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dan jari-jari r , metode pias pias (*method of slice*) dipergunakan untuk jenis tanah yang tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume tanah yang tidak menentu. Gaya normal yang bekerja adalah akibat berat tanah sendiri yang bekerja pada suatu titik dilingkaran bidang longsor. Dalam metoda ini masa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa pias vertikal dengan lebar (b), seperti terlihat pada gambar dibawah. dasar dan setiap pias diasumsikan sebagai garis lurus. Untuk setiap pias, sudut yang dibentuk oleh dasar pias dan sumbu horisontal adalah α , dan tingginya yang diukur pada garis sumbu adalah h .

Faktor keamanan didefenisikan sebagai rasio kekuatan geser yang ada terhadap kekuatan geser yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan, atau dapat ditulis dengan:

$$F = \tau_f / \tau_m$$



Gambar 2.8. Metode Irisan

Faktor keamanan ini diambil sama untuk setiap pias, agar terdapat keseimbangan antara masing-masing pias maka gaya-gaya yang bekerja pada tiap tiap pias tersebut haruslah ada. Gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing pias tersebut adalah:

1. Berat total pias, $W = \gamma bh$.
2. Gaya normal total pada dasar (N), umumnya gaya ini memiliki dua buah komponen yaitu gaya normal efektif N' dan gaya air batas U_i (*Boundary water force*).

3. Gaya geser pada dasar, $T = \tau m.l$
4. Gaya normal total pada sisi pias (E1 dan E2)
5. Gaya geser pada sisi sisi pias (X1 dan X2)
6. Dan jika ada gaya luar maka gaya luar tersebut harus diperhitungkan.

Ada beberapa cara yang dapat dipakai dalam penyelesaian guna mencari faktor keamanan dengan metoda pias pias ini, antara lain Fellenius (1936) dan Bishop (1955).

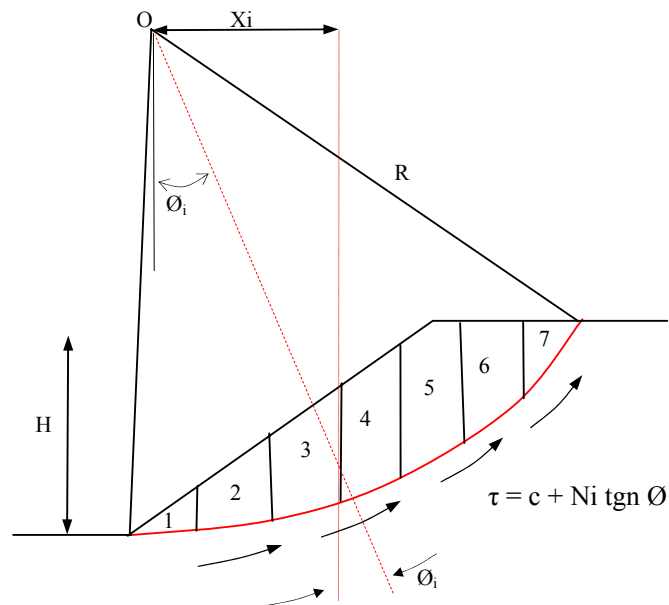
- **Metode Bishop's (Bishop's Method)**

Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg \phi'}{P}$$

Dimana :

- σ = Tegangan normal total pada bidang longsor
 u = Tekanan air pori



Gambar 2.9. : Pias pada metoda Bishop

Untuk irisan (pias) yang ke- i , nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu nilai geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu :

$$T_i = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F}$$

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada dasar bidang longsohnya dapat dinyatakan oleh (Gambar 2.9.) :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) tg \theta'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + tg \theta_i tg \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dimana :

- F = Faktor Keamanan
- C' = Kohesi tanah efektif
- ϕ' = Sudut geser dalam tanah efektif
- b_i = Lebar irisan ke - i
- W_i = Berat irisan tanah ke - i
- θ_i = Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam gambar 2.9
- U_i = Tekanan air pori pada irisan ke - i

Nilai banding tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h}$$

Dimana :

- r_u = Nilai banding tekanan pori
- u = Tekanan air pori
- b = Lebar irisan
- γ = Berat volume tanah
- h = Tinggi irisan rata-rata

Adapun bentuk persamaan Faktor Keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop, adalah :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c'_i + W_i (1 - r_u) \operatorname{tg} \theta'_i] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Persamaan faktor amana Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (trial and error), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaanya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari perhitungan yang dilakukan dengan cara lain yang mendekati (lebih teliti). Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan rumus.

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)$$

Lokasi lingkaran sliding (longsor) kritis pada metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellinius lebih mudah, metode Bishop (1995) lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti.

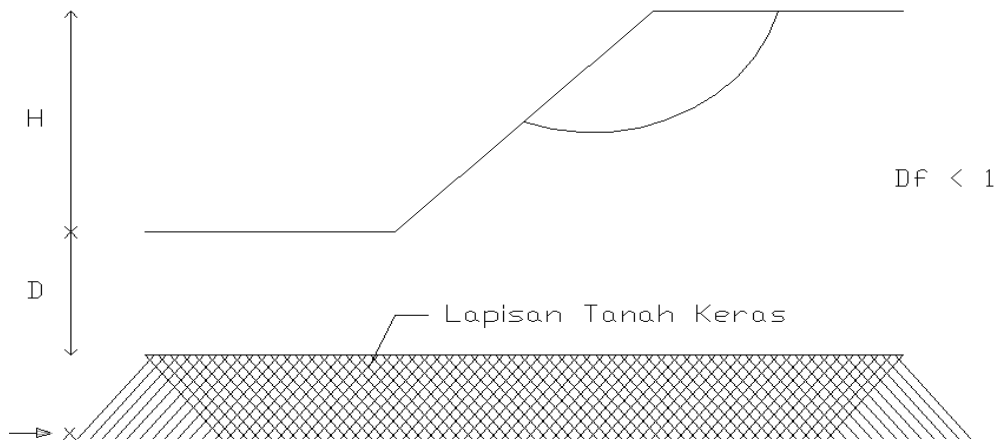
2.6.1. Bidang Longsoran Berbentuk lingkaran

Analisis lereng terbatas dengan bidang longsor yang berbentuk lingkaran pada umumnya mempunyai tiga macam tipe kelongsoran, yaitu :

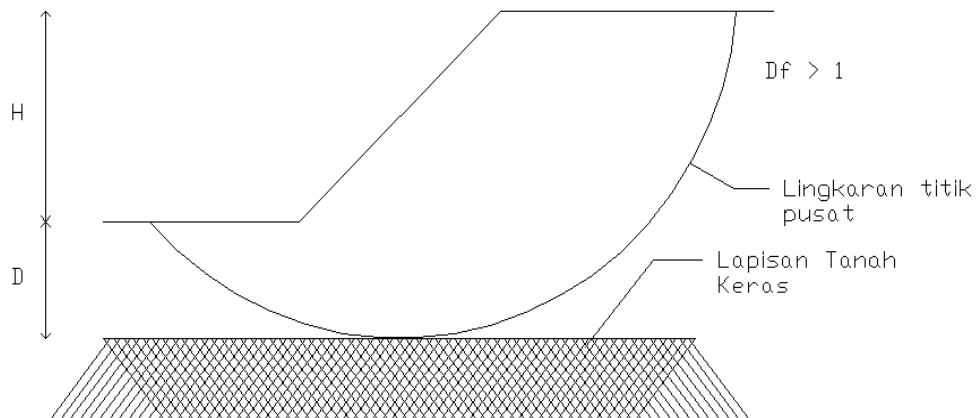
- Kelongsoran muka lereng
- Kelongsoran dasar
- Kelongsoran ujung kaki / bawah lereng

Faktor kedalaman :

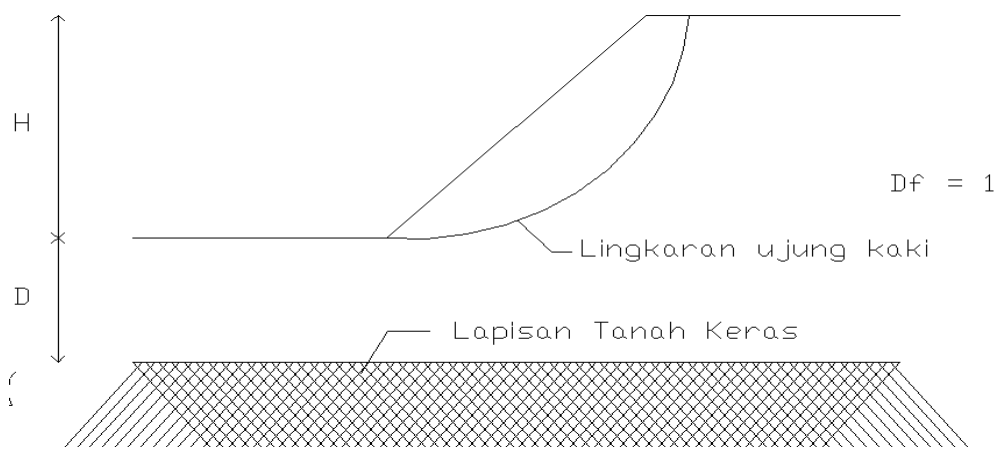
$$D_f = \frac{D + H}{H}$$



Gambar 2.10. Tipe longsor rotasi $D_f < 1$



Gambar 2.11. Tipe longsor rotasi $D_f > 1$



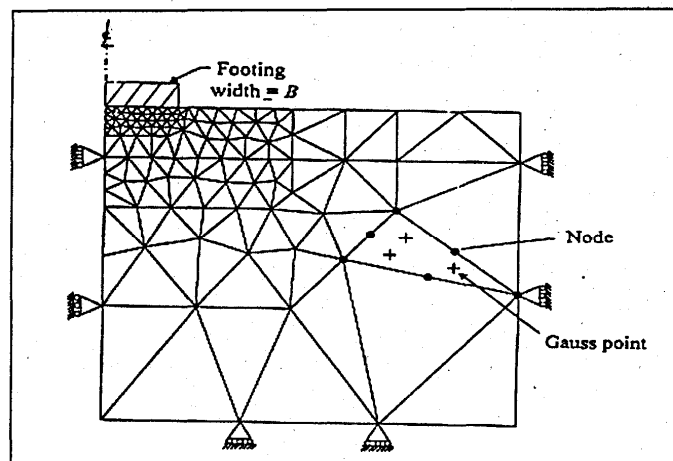
Gambar 2.12. Tipe longsor rotasi $D_f = 1$

2.7. PLAXIS

2.7.1. Metoda Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa teknik. Inti dari metode tersebut adalah membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai - nilai pada titik - titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat dan dicari solusinya dengan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan pada hasil akhirnya.

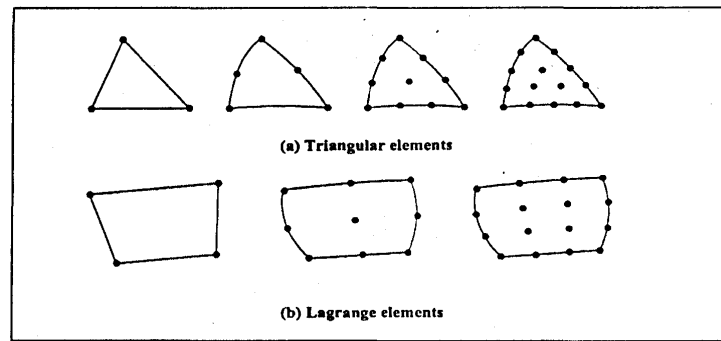
Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen - elemen yang dihubungkan oleh *node*. *Node* merupakan titik - titik pada jaring di mana nilai dari variabel primernya dihitung. Misal untuk analisa *displacement*, nilai variabel primernya adalah nilai dari *displacement*. Nilai - nilai *nodal displacement* diinterpolasikan pada elemen agar didapatkan persamaan aljabar untuk *displacement*, dan regangan, melalui jaring - jaring yang terbentuk.



Gambar 2.13. Contoh jaring - jaring dari elemen hingga

2.7.1.1. Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

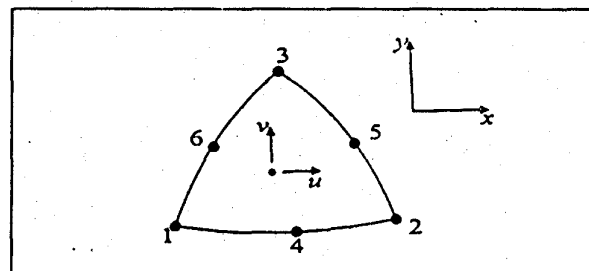
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilatelar* (**Gambar 2.14**). Bentuk umum dari elemen - elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* di mana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



Gambar 2.14. Elemen-elemen Triangular dan Lagrange

2.7.1.2. Interpolasi Displacement

Nilai - nilai *nodal displacement* pada solusi elemen hingga dianggap sebagai *primary unknown*. Nilai ini merupakan nilai *displacement* pada *nodes*. Untuk mendapatkan nilai - nilai tersebut harus menginterpolasikan fungsi - fungsi yang biasanya merupakan *polynomial*.



Gambar 2.15. Elemen dan six-noded triangular

Anggap sebuah elemen seperti pada **Gambar 2.15**. *U* dan *V* adalah *Displacement* pada sebuah titik di elemen pada arah *x* dan *y*. *Displacement* ini didapatkan dengan menginterpolasikan *displacement* pada *nodes* dengan menggunakan persamaan *polynomial* :

$$U(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \dots\dots\dots(2.31)$$

$$V(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \dots\dots\dots(2.32)$$

Konstanta a_1, a_2, \dots, a_5 dan b_1, b_2, \dots, b_5 tergantung pada nilai *nodal displacement*. Jika jumlah *nodes* yang menjabarkan elemen bertambah maka fungsi interpolasi untuk *polynomial* yang juga akan bertambah.

2.7.1.3. Regangan

Regangan pada elemen dapat diturunkan dengan memakai definisi standar. Sebagai contoh untuk *six-node triangle* :

$$\epsilon_{xx} = \partial u / \partial x = a_1 + 2a_3x + a_4y \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\epsilon_{yy} = \partial v / \partial y = b_2 + b_4x + 2b_5y \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\epsilon_{xy} = (\partial u / \partial y) + (\partial v / \partial x) = (b_1 + a_2) + (a_4 + 2b_3)x + (2a_5x + b_4)y \dots\dots\dots (2.35)$$

Persamaan yang menghubungkan regangan dengan *nodal displacement* ditulis dalam bentuk persamaan matrix :

$$\epsilon = \mathbf{B} \cdot \mathbf{U}^e \dots\dots\dots(2.36)$$

Vektor regangan ϵ dan vektor nodal displacement masing – masing dihubungkan dengan \mathbf{U}^e :

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xy} \end{bmatrix} \mathbf{U}^e = \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ \dots \\ \dots \\ U_6 \\ V_6 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.37)$$

2.7.1.4. Hukum Konstitutif (Constitutive Law)

Constitutive law diformulasikan untuk membuat matrik hubungan antara tegangan (vektor σ) dengan regangan (vektor ϵ) :

$$\sigma = \mathbf{D} \cdot \epsilon \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan :

\mathbf{D} : Matrik kekakuan material

Untuk kasus elastisitas isotropik regangan bidang linear, matrixnya :

$$D = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan :
 E : Modulus young
 v : Poisson's ratio

2.7.1.5. Matrix Kekakuan Elemen

Gaya pada tanah yang diaplikasikan pada elemen dianggap sebagai gaya yang bekerja pada *nodes*. Vektor *nodal forces* P_e ditulis :

$$P^e = \begin{bmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ P_{2x} \\ P_{2y} \\ \dots \\ \dots \\ P_{6x} \\ P_{6y} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.40)$$

Nodal forces yang bekerja pada titik *i* di arah *x* dan *y* adalah P_{ix} dan P_{iy} , dan dihubungkan dengan *nodal displacement* dengan matrik :

KeUe = Pe(2.41)

Sedangkan Ke merupakan Matrik Kekakuan Elemen yang ditulis :

Ke = Bt.D.B.dv(2.42)

Keterangan :
 D : Matrik kekakuan material
 B : Matrik penghubung nodal displacement dengan regangan
 dv : Elemen dari volume

2.7.1.6. Matrik Kekakuan Global

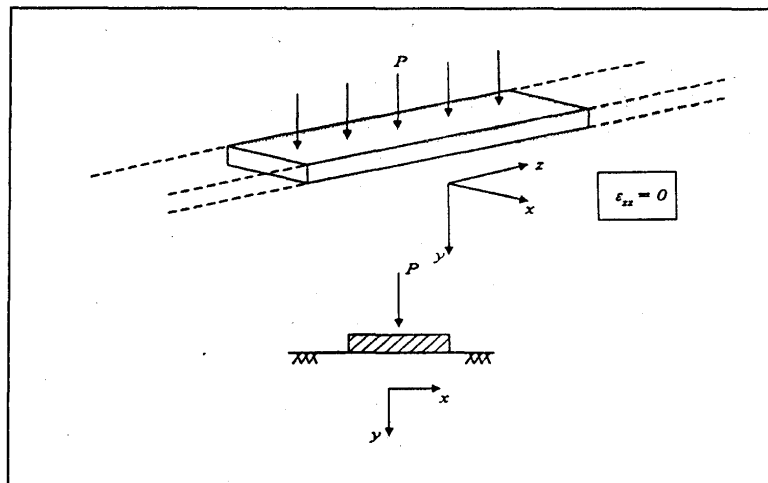
Matriks kekakuan K untuk jaring (*mesh*) elemen hingga dihitung dengan menggabungkan matrik - matrik kekakuan elemen di atas.

$$K.U = P \dots\dots\dots(2.43)$$

Di mana U merupakan vektor yang mempunyai unsur displacement pada semua titik pada jaring elemen hingga.

2.7.1.7. Analisa Elastis Dua Dimensi

Dalam mencari solusi dan analisa numerik dua dimensi kondisi model yang dianalisa tersebut harus seperti pada kondisi tiga dimensi. Pendekatan yang digunakan adalah tegangan bidang (*plane stress*) dan regangan bidang (*plane strain*). Pendekatan yang sering digunakan dalam analisa tanah adalah kondisi tegangan bidang .

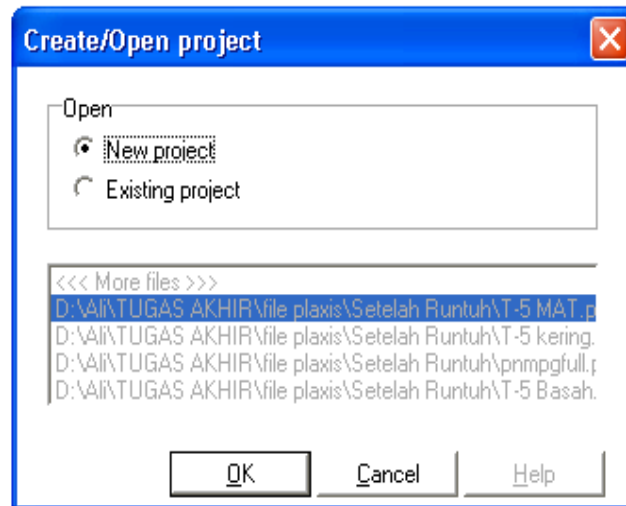


Gambar 2.16. Analisa tegangan bidang

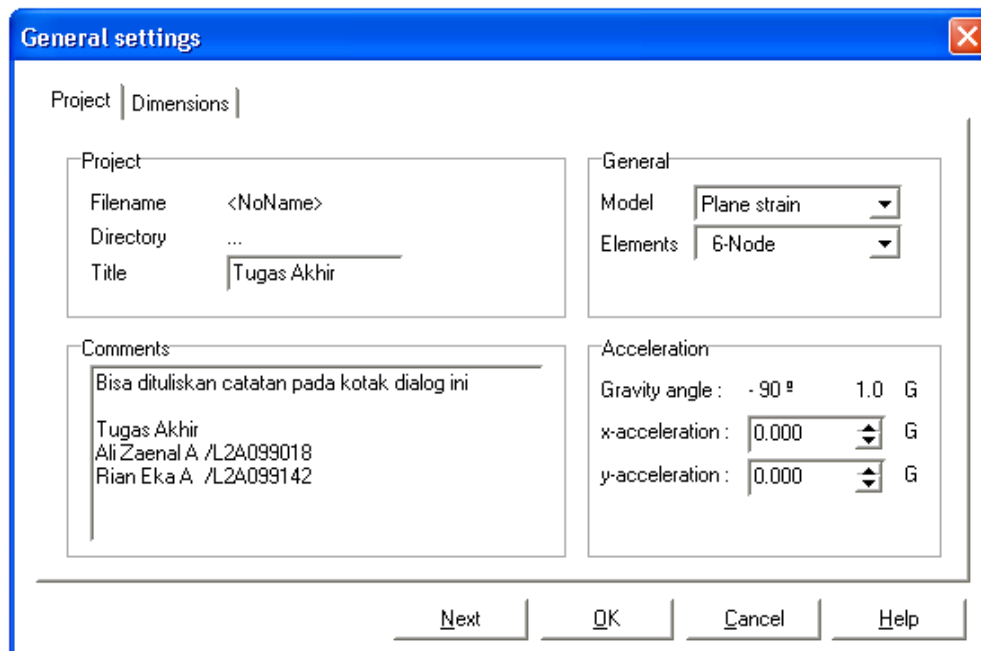
Pada analisa tegangan bidang, nilai tegangan yang terletak di luar bidang (*out - of plane*), dalam hal ini bidang z , adalah nol.

2.7.2. INPUT

Memulai program PLAXIS V. 7. 11 dari *start* kemudian program, pilih PLAXIS V. 7. 11. *Dialog Box A Create / Open Project* akan timbul jika program PLAXIS V. 7. 11 dipilih. Pilih *New Project* dan klik <OK>, window *General Setting* akan muncul yang terdiri dari dua tab sheet *Project* dan *Dimensions* (lihat **Gambar 2.17.** dan **2.18**).



Gambar 2.17. *Dialog box Create/Open project*



Gambar 2.18. *Tab sheet Project dari windows General Settings*

General Settings

Langkah paling awal dari setiap analisis adalah membuat parameter dasar dari metode elemen hingga. Tahap ini dilakukan pada windows *General Setting* yang mencantumkan tipe analisis, tipe elemen, *basic unit* dan ukuran bidang gambar. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Berikan judul proyek pada box *Title* dan keterangan pada box *Comments*.
- Spesifikasikan pada box *General* tipe analisis dan tipe elemen. Untuk kasus ini dipilih model *Plane Strain* dan tipe elemen memakai 6 nodal (*6 noded*).

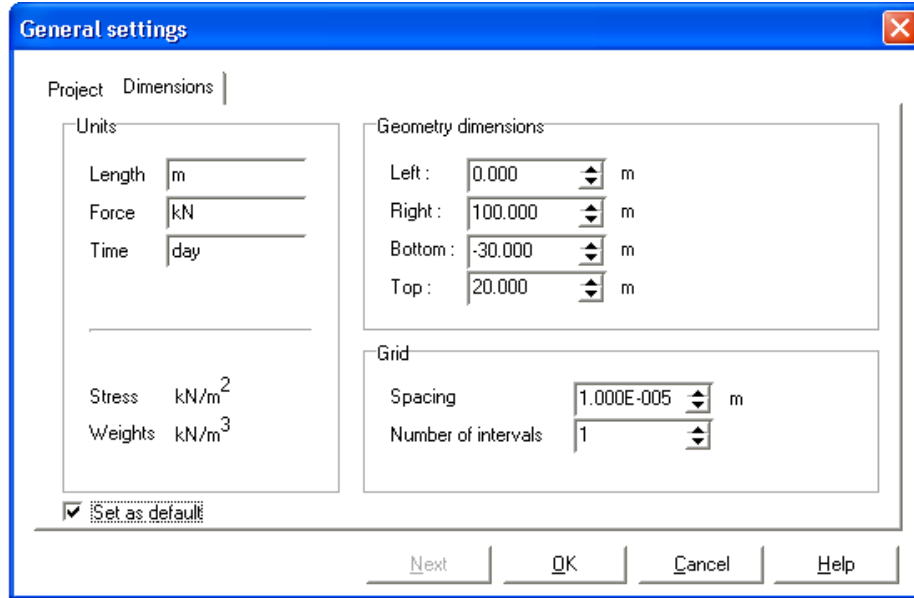
Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada penggunaan 6 nodal lebih mempercepat proses perhitungan komputer dengan menggunakan memori yang jauh lebih kecil daripada 15 nodal. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah cukup teliti dan dapat diandalkan.

- Box *Accelerations* memberi nilai sudut gravitasi -90^0 yang menunjukkan arah ke bawah. Nilai-nilai pada box *Accelerations* dibiarkan nol, karena pemberian nilai-nilai pada box tersebut hanya untuk analisa *Pseudo-dinamis*.
- Nilai-nilai pada tab sheet *Dimension* dibiarkan sesuai dengan *defaultnya* di box *Unit* (*Length = m: Force = kN: Time = day*)
- Masukkan nilai yang diperlukan pada box *Geometry Dimensions*.
- Masukkan nilai untuk *Spacing* (besar kecilnya *spacing* bergantung pada nilai ketelitian berapa angka dibelakang koma yang diinginkan), dan 1 untuk *Intervals*.
- Tekan <OK> untuk konfirmasi penyetingan.

Geometry Contour

Apabila tahap pengisian *General settings* telah selesai maka bidang gambar akan muncul dengan sumbu x dan y. sumbu x menuju arah kanan dan sumbu y ke arah atas. Untuk membuat objek gambar dapat dipilih dari tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry*. Langkah-langkah pembuatan sebagai berikut:

-  Pilih *Geometry Line*.




Gambar 2.19. Tab sheet Dimensions dari windows General Setting


- Klik tombol mouse sebelah kiri pada titik titik geometri sampai terbentuk sebuah *cluster* dengan kembali pada titik asal
- Untuk membuat cluster baru, ulangi langkah yang sama agar terbentuk cluster cluster yang diinginkan.

Boundary Conditions

Ikon *Boundary Condition* bisa dicari di bagian tengah *toolbar* atau di menu *Loads*. Prinsipnya, semua batas harus mempunyai satu kondisi batas (*boundary conditions*) pada tiap arah. Jika suatu model tidak diberi *boundary conditions* maka kondisi alamiah akan terjadi di mana gaya yang ditentukan sama dengan nol dan terjadi *free displacement*.


Tahapan pembuatannya dilakukan sebagai berikut:

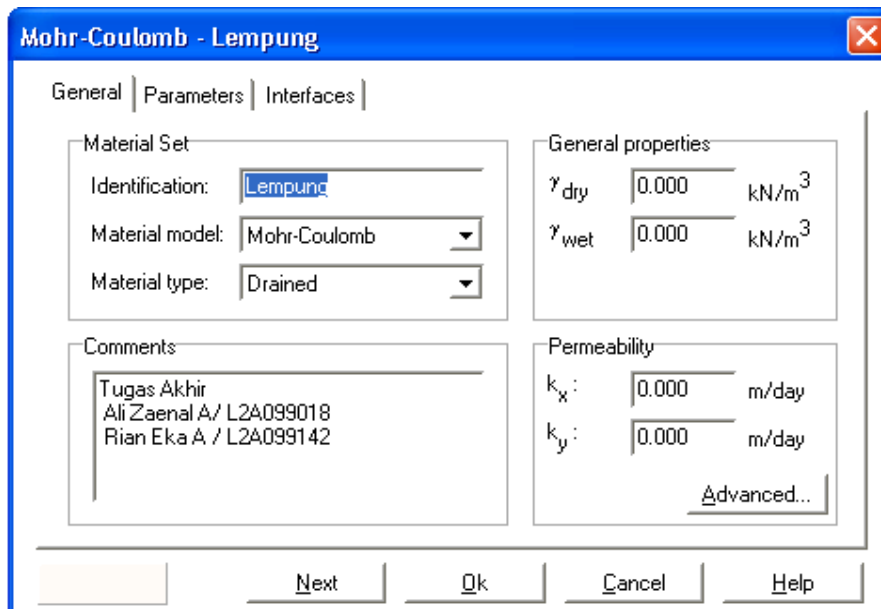
-  Tekan ikon *Standard Fixities* pada *toolbar* atau pilih *Standard Fixities* dari menu *Loads* untuk memilih *standard boundary conditions*.
- Program Plaxis akan membentuk jepit pada dasar geometri dan kondisi nol pada dasar geometri ($U_x = 0$; $U_y = \text{free}$).

- 
 Pilih ikon *Traction-Load System A* dari *toolbar* atau pilih dari menu *Loads.Traction-Load System A* digunakan untuk memodelkan beban merata yang bekerja pada permukaan.

Material Data Set

Simulasi sifat tanah pada geometri perlu dilakukan agar dapat dilakukan analisis elemen hingga. Program Plaxis V.7.11 dilengkapi dengan *database* mengenai material tanah dan struktur (*beam*, *anchors* dan *geotextile*), namun pengguna program ini dapat juga memasukkan *database* sesuai kebutuhan. Tahapan pendefinisian material tanah dilakukan setelah tahap pemberian *boundary conditions*. Sebelum dilakukan *meshing* pada geometri, *cluster-cluster* pada geometri sudah didefinisikan jenis materialnya. Tahapan untuk memasukkan data tanah dapat dilihat pada halaman berikutnya :

- 
 Pilih ikon *material sets* pada *toolbar*.
- Klik tombol <New> di bagian bawah window dari *material sets*. Dialog box yang baru akan muncul dengan tiga buah tab sheet: *General*, *Parameter* dan *Interface* (lihat **gambar 2.20**. dan **2.21**.).



The image shows a dialog box titled "Mohr-Coulomb - Lempung" with three tabs: "General", "Parameters", and "Interfaces". The "General" tab is selected. It contains several input fields and sections:

- Material Set:**
 - Identification: Lempung
 - Material model: Mohr-Coulomb
 - Material type: Drained
- General properties:**
 - γ_{dry} : 0.000 kN/m³
 - γ_{wet} : 0.000 kN/m³
- Permeability:**
 - k_x : 0.000 m/day
 - k_y : 0.000 m/day
 - Advanced... button
- Comments:**
 - Tugas Akhir
 - Ali Zaenal A / L2A099018
 - Rian Eka A / L2A099142

At the bottom of the dialog box are buttons for "Next", "Ok", "Cancel", and "Help".

Gambar 2.20. Tab sheet *General* dari windows *Soil and interfaces data sets*

- Ketikan nama material box *Identification*.

- Pilih model material pada kombo boks *material model* dan tipe material pada kombo boks *material type*.

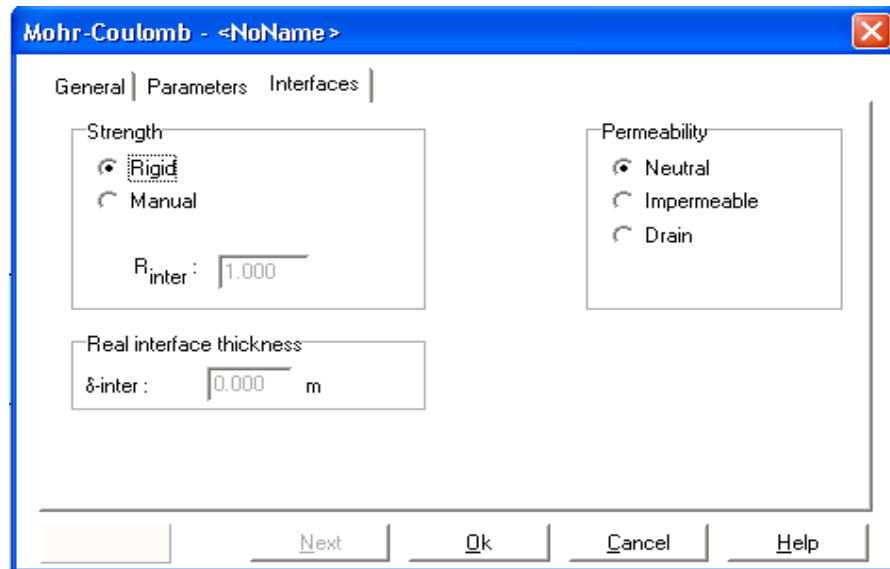
Perilaku tanah dan batuan di bawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya model Mohr-Coulomb, *Linear Elastic Model*, *Hardening Soil Model*, *Soft Soil Model*, dan *Soft Soil Creep Model*. Pada analisis ini digunakan model Mohr-Coulomb yang memerlukan 5 buah parameter yaitu modulus elastisitas (E), Poisson's Ratio (ν), kohesi (c), sudut geser tanah (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ). Dipilih metode Mohr-Coloumb karena metode ini berdasarkan parameter-parameter tanah yang ada paling mendekati dengan sifat tanah di lokasi.

Material Type menggambarkan hubungan antara air dan sifat tanah, di mana tanah dibedakan menjadi 3, yaitu : *Drained*, yaitu tanah yang diijinkan adanya *excess pore pressure*, contoh pada kasus *full drainage* pada tanah permeabilitas tinggi dan atau dengan beban rendah. Pada umumnya tanah lempung adalah *undrained*, di mana digunakan adanya *excess pore pressure* dengan permeabilitas yang rendah dan beban yang berat. *non-porous behaviour*, digunakan dalam analisa batuan.

- Masukkan nilai – nilai yang sesuai dari data yang didapatkan
- Tekan tombol *<Next>* atau langsung tombol *parameters* untuk masuk ke tab *Parameters* sesuai dengan model yang dipilih pada tab *General*.

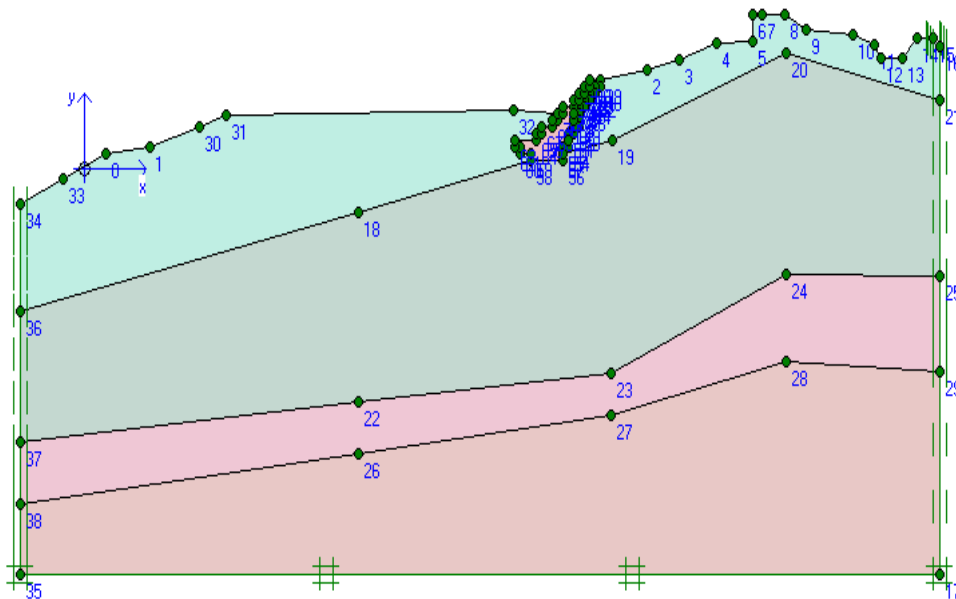
Gambar 2.21. Tab Sheet Parameters

- Masukkan nilai – nilai yang terdapat pada data, sesuai dengan nama boks yang ada pada tab sheet *parameters*. Biarkan tab sheet *interfaces* sesuai kondisi *defaultnya*



Gambar 2.22. Tab sheet interfaces


- Proses di atas diulang untuk material yang lain
- Drag tiap *material* tanah tersebut pada *layer* dimana material tersebut bertempat berdasarkan hasil dari stratifikasi tanah.

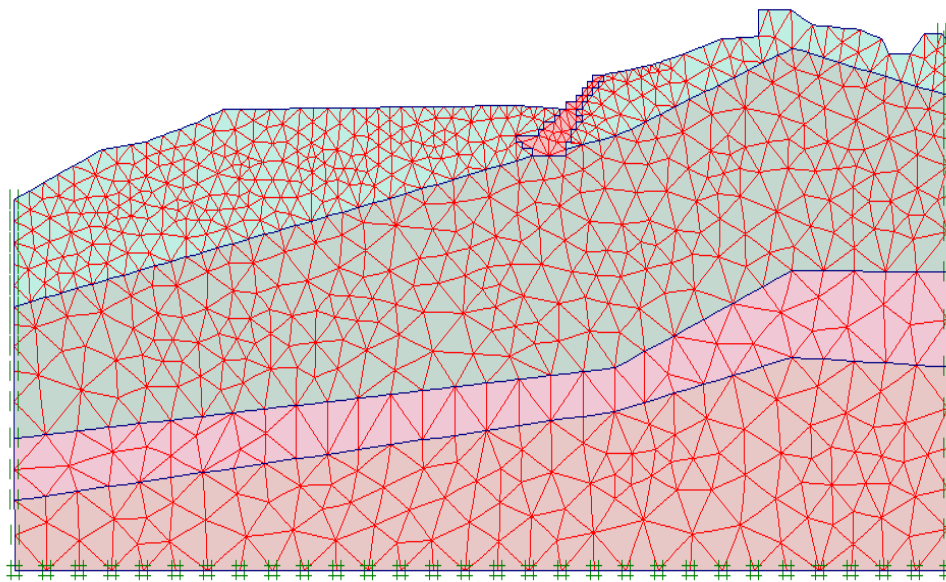


Gambar 2.23. Tampilan setelah *Geometry model*, *Standard fixities* dan *Material setting*

Mesh Generation

Program Plaxis 7.11 dapat membangun jaring (*mesh*) secara otomatis, di mana jaring – jaring tersebut membagi geometri menjadi beberapa elemen. Pembuatan jaring elemen berdasarkan prinsip triangulasi yang akan membentuk jaringan yang kokoh dan jaringan tersebut bentuknya tidak teratur (*unstructured mesh*). Untuk melakukan *mesh* dilakukan tahap :

-  Tekan tombol ikon *Mesh generations* pada *toolbar* atau pilih lewat opsi *Generate* dari menu *Mesh*. Sebuah window baru akan muncul dan memperlihatkan bentuk *mesh* dari model (**Gambar 2.24.**)



Gambar 2.24. Bentuk *Mesh* dari potongan melintang model.





- Tekan tombol *<Update>* untuk kembali ke mode *Geometry input*.

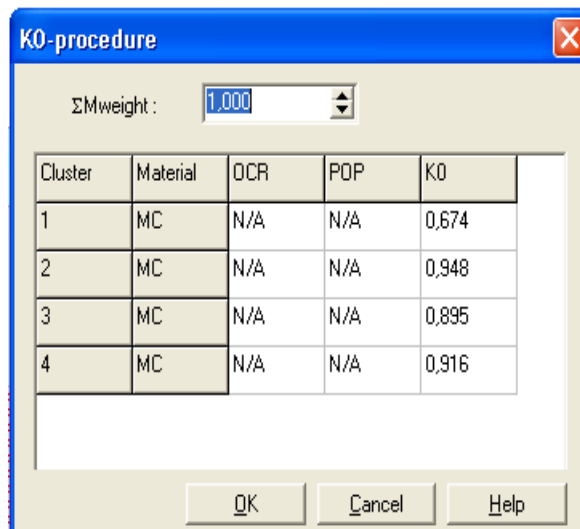
Initial Condition (Kondisi Awal)

Initial condition berfungsi untuk mendefinisikan keadaan awal geometri sebelum dilakukan tahap perhitungan. Keadaan awal meliputi kondisi air tanah awal (*Initial ground water condition*), konfigurasi awal dari geometri dan keadaan awal tegangan efektif.

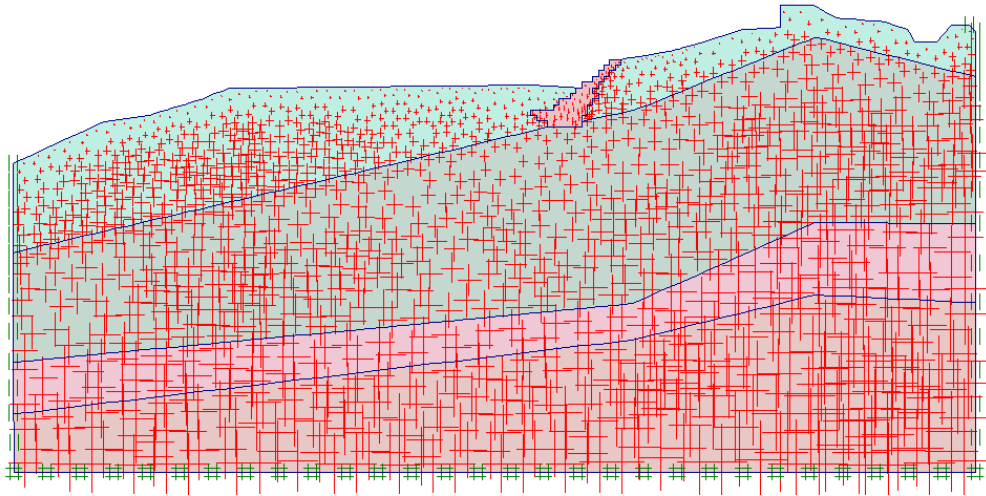
Pengaktifan tegangan awal dengan cara *Gravity loading* tidak dapat dilakukan melalui menu *Initial conditions*. Pengaktifan dilakukan di tahap perhitungan.

Langkah-langkahnya sebagai berikut :

-  **Initial conditions** Tekan tombol *Initial conditions* pada *toolbar* atau pilih opsi *Initial conditions* dari menu *Initial*
- Akan muncul windows yang menunjukkan nilai *default* untuk berat jenis air 10 kN/m^3 . tekan <OK> untuk menerima nilai *default* tersebut, setelah itu muncul mode *Ground water conditions*. Dalam data tanah tidak ditemukan adanya muka air tanah.
-  Kliklah tombol *Generate water pressures* pada *toolbar* sehingga window *Water pressure generation* terlihat. Pilih *Phreatic line* pada kotak *Generate by* lalu klik <OK>
- Hasilnya ditampilkan dalam output window. Klik <Update> untuk kembali ke model *groundwater conditions*.
-  Tekan tombol *switch* untuk menuju kodel *Geometry configuration*.
-  Tekan tombol *Generate Initial Procedure* untuk mengaktifkan *K₀-Procedure*.



Gambar 2.25. Harga *K₀-procedure*



Gambar 2.26. *Effective stress*

2.7.3. Calculation

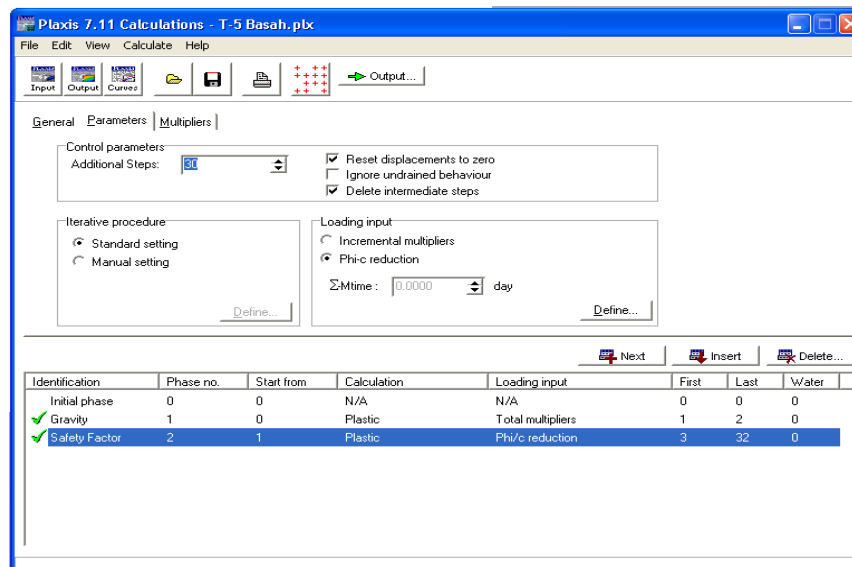
Tahapan Perhitungan dimulai setelah menekan tombol *<Calculate>* dan menyimpan data input pada tahap memasukkan data. Program penghitungan digunakan untuk mendefinisikan dan mengeksekusikan fasa-fasa perhitungan. Simulasi pemodelan dapat dibagi menjadi beberapa tahap / fasa perhitungan,

- Pada tab sheet *General* pilih *Plastic* pada combo box pertama dari *Calculation type* dan *Load adv. ultimate level* pada combo box kedua.
- Pada kotak *Number/ID* beri nama *phase 1* dengan *Gravity loading*.

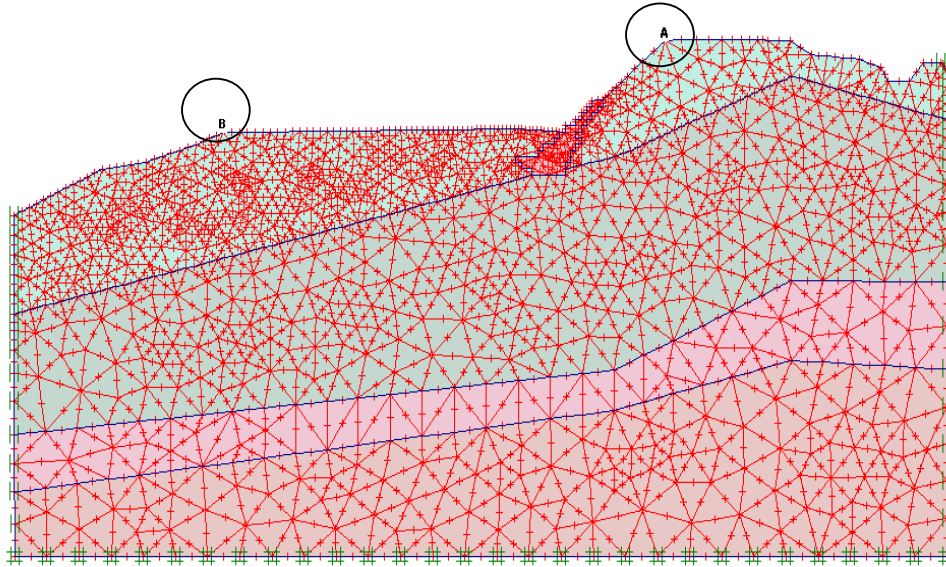
Tahap awal dari analisis digunakan untuk menghitung tegangan-tegangan awal akibat berat sendiri massa tanah dan tegangan horizontal. Permukaan potongan melintang model yang dianalisa, bentuknya tidak horizontal (*non-horizontal surface*) sehingga untuk mencari tegangan dan regangan awalnya digunakan cara *Gravity Loading*. Metode ini digunakan untuk menghitung tegangan awal dengan cara memasukkan beban tanah pada tahap perhitungan, oleh karena itu *default* dari program yang memakai persamaan Jaky ($K_0 = 1 - \sin \phi$) tidak diperlukan dalam mencari regangan dan tegangan awal dari model elemen hingga.

- Tekan tombol *<Parameter>*, pada *tab sheet* ini terdapat parameter- parameter untuk mengontrol perhitungan. Biarkan nilai default pada combo box *Additional step* =100.
- Pada kotak *Loading input* pilih *Total multipliers*, kemudian tekan tombol *Define*

- *Tab sheet multiplier* akan terpilih setelah menekan tombol *Define*. Pada *tab sheet* ini terdapat banyak tingkat variasi pembebanan.
- Pengaktifan *Gravity loading* dengan memasukkan nilai 1 pada kotak *Total Multipliers Σ -M_{weight}*, kemudian tekan *<Next>*
- Jika ada beban yang bekerja dapat diaktifkan bersama sama pada tahap perhitungan ini, caranya dengan masukkan nilai beban pada kotak *Σ -Mload -A*, lalu tekan tombol *<Next>*
- Nilai faktor keamanan dari fasa *Gravity loading* dicari dengan metode *Phi-c reduction*, beri nama fase tersebut sebagai *Safety factor analysis 1*.
- Pada *Calculation type combo box* pilih *Load Adv. Number of Steps*. Periksa pada *combo box Start from phase* harus dimulai dari fase 1- *Gravity loading*.
- Tekan tombol *Parameters*, pada *Additional steps* untuk memberikan gambaran detail pada *output* berikan nilai yang lebih rendah dari nilai *default*. Untuk memberikan gambaran umum berikan nilai *default*, yaitu 30. Beri tanda centang pada *Reset displacement to zero* dan *Delete intermediate step*. Pilih *Phi-c reduction* pada *Loading input*, lalu tekan *<Define>*
- Pada *tab sheet multipliers* biarkan semua nilai *default* yang ada. Nilai *Msf* pada *Incremental loading* = 0.1
- Tekan tombol; *<Calculate>* untuk memulai perhitungan fase-fase tersebut. Fase-fase yang akan dihitung diberi tanda anak panah biru di depan tulisan *Phase*, yang akan menjadi centang hijau apabila perhitungan sukses dilakukan.



Gambar 2.27. Tahap perhitungan



Gambar2.28. Titik yang ditinjau

2.7.4. Output

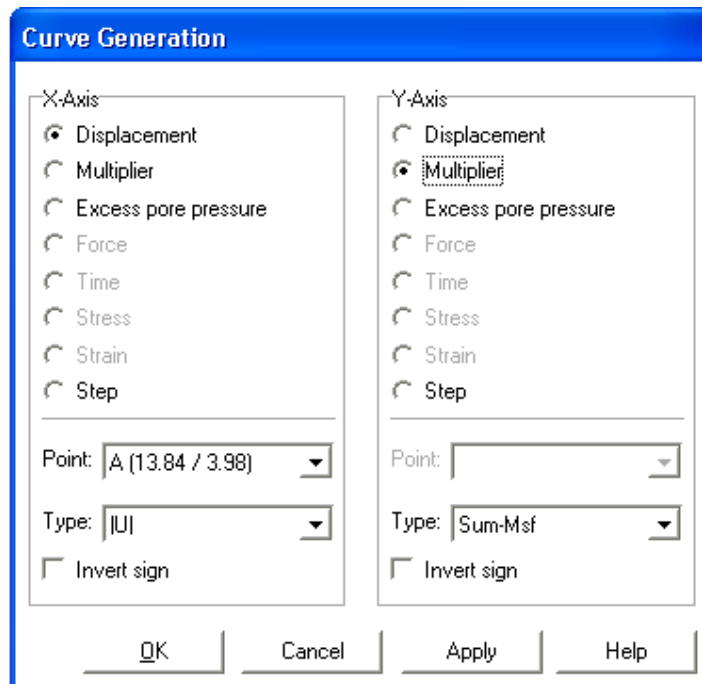
Apabila proses perhitungan telah selesai kita bisa melihat hasil berupa gambar dan nilai nilai hasil proses perhitungan dengan menekan tombol output

- Klik tombol open file dan buka file yang ingin dilihat output hasil perhitungannya
- Kita bisa melihat gambar output berupa, deformasi, incremental atau diagram momen, geser dan axial pada *beam*
- Dengan mengubah arrows ke shading pada gambar *incremental displacement* kita bisa mendapatkan gambaran informasi mengenai bidang gelincir yang bisa diaplikasikan pada geometri.

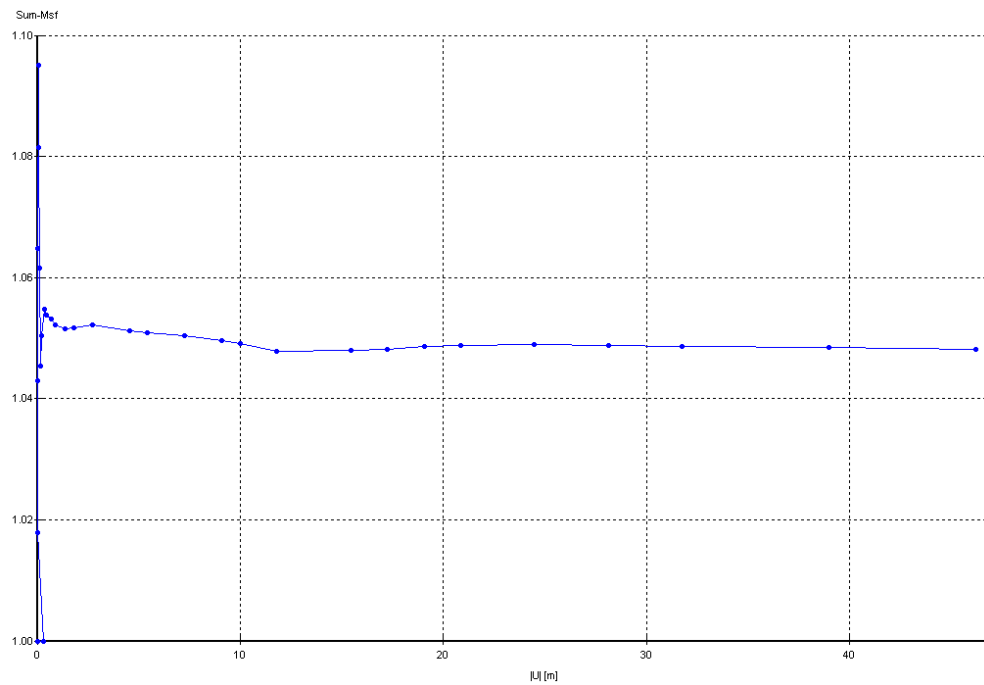
2.7.5. Kurva

Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada titik titik yang ditinjau tekan tombol *Curve*.

- Klik tombol new untuk file yang baru atau open file pada grafik yang telah disimpan
- Untuk sumbu X biarkan sebagai nilai *displacement*, sumbu y sebagai multiplier atau Sum-Msf untuk analisa faktor keamanan
- Pilih titik yang ingin ditinjau pada kombo boks point.
- Klik OK



Gambar 2.29. Curve generation windows



Gambar 2.30. Kurva hasil perhitungan faktor keamanan