

METODA PELAKSANAAN KONSTRUKSI
ASPEK PERHITUNGAN STABILITAS LERENG



Oleh :

IWAN IRAWAN

624.151.36

IRA
m

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL

BANDUNG, April 1999

8S226 R/ETS
8.10.02

DAFTAR ISI	Hal
Daftar Isi	i
I. Pendahuluan	1
II. Type Pergerakan Lereng	2
III. Kekuatan Geser Tanah dan Hubungannya Dengan Kemantapan Lereng	4
IV. Analisa Perhitungan Stabilitas Lereng	6
V. Teknik Menstabilkan Lereng	20
VI. Volume Galian	23
Daftar Pustaka	42



PENDAHULUAN

11. LATAR BELAKANG

Stabilitas lereng merupakan hal mendasar untuk pemanfaatan wilayah dengan morfologi berbukit-bukit, artinya memiliki lereng. Stabilitas lereng berkaitan dengan masalah gerakan tanah, bila lereng tidak stabil, material pembentuk lereng akan bergerak.

Khususnya untuk tanah, biasanya yang banyak dipelajari ialah longsor ("landslide") dimana kadang kadang istilahnya dipakai secara rancu terhadap gerakan tanah. Oleh karenanya Santoso (1991) membatasi bahwa longsor adalah sebagian dari gerakan tanah dengan ciri ada gerak gelincir ("slide"), sedangkan gerakan tanah adalah semua proses yang berkaitan dengan material pembentuk lereng. Definisi yang dikehendakannya yaitu : Longsor adalah gerakan material pembentuk lereng searah atau memotong arah lereng yang dapat berupa suatu lereng buatan, tanah, bahan timbunan atau kombinasi dari material-material tadi, dimana kekandasan geser terjadi pada keadaan gelincir tertentu.

Ketidak stabilan lereng dapat berkembang menjadi bencana alam. Gejala alamiah tersebut merusak berbagai infrastrukturnal yang berkaitan dengan aktivitas manusia. Oleh karena itu ia diklassifikasikan sebagai salah satu bencana alam. Meskipun bencana alam ini tidak nampak sebagai gejala alam yang luar biasa seperti, gempa bumi, banjir, letusan gunung api, dan topan, namun bila keseluruhan kerugian akibat bencana alam ini dijumlahkan, ia merupakan sebab kerugian yang mahal.

Sebagian besar (lebih 50 %) wilayah kepulauan Indonesia merupakan daerah perbukitan, Santoso (1991), dengan demikian memiliki lereng-lereng yang berpotensi untuk longsor. Dipihak lain penduduk semakin bertambah, dan aktivitaspun meningkat. Akibatnya berbagai prasarana fisik dibangun diwilayah perbukitan yang pada masa mendatang dapat berpotensi untuk mengalami gerakan tanah.

Gerakan tanah akibat ketidak stabilan lereng dapat terjadi akibat aktivitas manusia yang mengubah bentuk lereng atau proses-proses alam seperti erosi, gerakan air tanah, gempa bumi, aktivitas gunung berapi dan sebagainya, atau kombinasi dari gejala-gejala tersebut. Secara fisis aktivitas alamiah tersebut akan menunjukkan suatu fakta fisik yang sama, yakni berkembangnya bidang-bidang lemah (struktur geologi) menjadi bidang gelincir, atau ia menyebabkan suatu zona lemah berkembang menjadi bidang gelincir.

Di Indonesia gejala longsor banyak terjadi terutama pada musim hujan. Ini mudah dimengerti karena menurut Wesley (1977) pada musim kering mungkin tidak terjadi tegangan air pori, sedangkan pada musim hujan tegangan air pori bisa menjadi tinggi.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan ini ialah :

1. Memenuhi tugas yang diberikan Bapak Dr. Ir. Furnomo Soekirno dalam mata kuliah Metode Pelaksanaan Konstruksi dengan topik Aspek perhitungan kestabilan lereng dan Volume galian.
2. Menjelaskan berbagai metoda perhitungan stabilitas lereng yang telah dikembangkan dari berbagai literatur yang dibaca.

2. TYPE PERGERAKAN LERENG

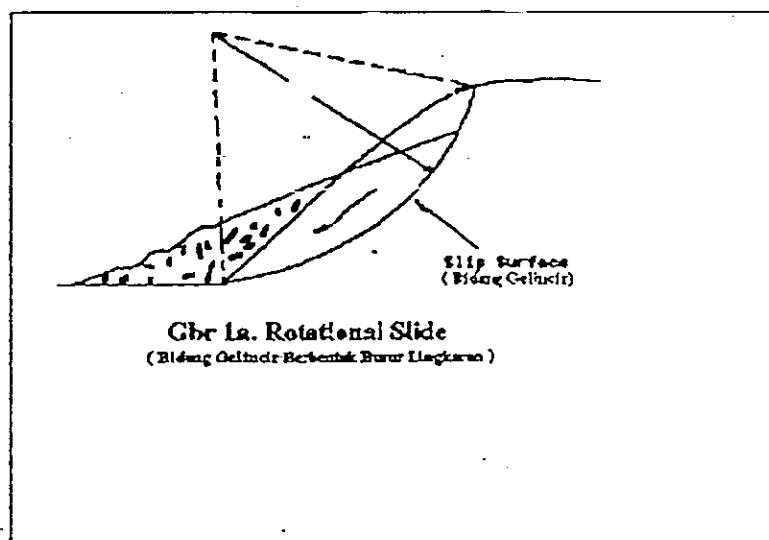
Menurut Wesley (1977) ada tiga macam lereng yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan teknik sipil, yaitu :

- a. Lereng Alam, yaitu lereng yang terbentuk karena proses alami, misalnya lereng suatu bukit.
- b. Lereng yang dibuat dalam tanah asli, misalnya tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
- c. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, misalnya tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

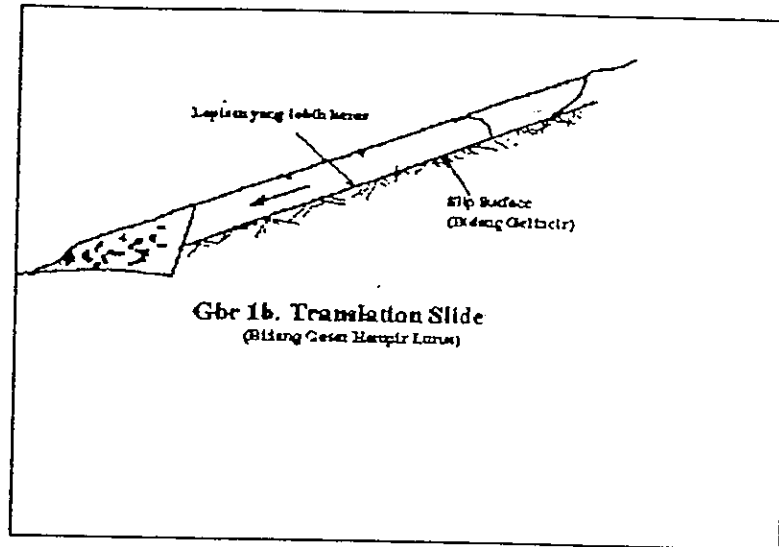
Prinsip dan cara yang dipakai untuk menentukan kemantapan lereng berlaku untuk ketiga golongan lereng tersebut diatas.

Secara jelas dapat dimengerti bahwa tanah yang longsor bergerak pada suatu bidang tertentu. Bidang ini disebut bidang gelincir (Slip Surface) atau bidang geser (Shear Surface). Secara umum dikenal dua jenis bidang gelincir ini, yaitu :

- a. Rotational Slide, yaitu bidang gelincir yang berbentuk busur lingkaran dengan bersifat berputar. (gbr 1a). Longsoran putar biasanya berhubungan dengan lereng-lereng alam dan konstruksi timbunan dari bahan tanah kohesip yang homogen. Longsoran ini berciri masa yang longsor terkumpul dikaki lereng semula. Putaran terjadi terhadap sumbu khayal dalam ruang. Pergerakan longsor akan berhenti sesudah banyak tanah terkumpul dikaki lereng.



- b. Translational Slide, yaitu tanah yang terjadi pada bidang gelincir yang hampir lurus dan sejajar dengan muka tanah dengan sifat gerakan dalam satu jurusan. Tanah longsor semacam ini biasanya terjadi apabila ada lapisan keras yang sejajar dengan permukaan lereng. (Gbr 1b). Longsoran ini dapat terjadi sampai jarak yang jauh.



Bila mana terjadi tanah longsor, maka hal itu berarti kekuatan geser tanah telah dilampaui. Yaitu perlawanan geser pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut. Karena itu, untuk menahan kemantapan suatu lereng suatu lereng kita harus mengetahui kekuatan geser tanah pada lereng tersebut.

3. KEKUATAN GESER TANAH DAN HUBUNGANNYA DENGAN KEMANTAPAN LERENG.

Kekuatan geser tanah secara umum dapat dinyatakan dengan rumus berikut (Wesley, 1977). Rumus ini disebut effective stress analysis.

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \dots\dots\dots(1)$$

dimana : s = kekuatan geser tanah

σ = tegangan normal pada bidang geser

c' = cohesion intercept in terms of effective stress

ϕ' = sudut geser tanah dalam

Pembuatan lereng semacam ini biasanya tidak berlangsung lama, sehingga dapat dianggap tidak terjadi perubahan kadar air selama masa pembuatan lereng tersebut. Dengan demikian kekuatan geser lempung setelah pemotongan atau penggalian akan sama dengan kekuatan sebelumnya. Jika kita menganggap tanah tersebut mempunyai $\phi = 0$, dan kekuatan geser ditentukan secara "undrained".

Perhitungan ini sering disebut " $\phi = 0$ analysis". Hasil perhitungannya tentu saja berlaku untuk jangka pendek. Karena itu disebut "short term stability" (kemantapan jangka pendek) atau "end of construction stability".

4. ANALISA PERHITUNGAN STABILITAS LERENG.

4.1. ANALISA UNTUK KASUS DENGAN $\phi_u = 0$

Analisa ini, yang dinyatakan dalam tegangan total, mencakup kasus lempung jenuh sempurna pada kondisi tak-terdrainasi tepatnya untuk kondisi segera sesudah pelaksanaan pembangunan. Dalam analisis ini, yang ditinjau hanya keseimbangan momen. Pada potongan, permukaan runtuh potensial diasumsikan sebagai sebuah busur lingkaran. Suatu permukaan runtuh coba-coba (titik pusat O, jari-jari r, dan panjang L_a) diperlihatkan pada Gambar 4. Ketidakstabilan potensial disebabkan oleh berat total massa tanah (W per satuan panjang) diatas permukaan runtuh. Untuk keseimbangan, kekuatan geser yang harus dikerahkan disepanjang permukaan runtuh dinyatakan dalam

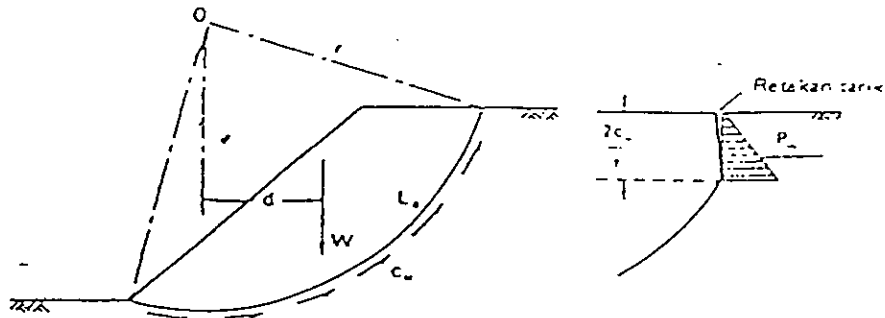
$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F} = \frac{C_u}{F}$$

dimana F adalah faktor keamanan yang sesuai terhadap kekuatan geser. Dengan menyamakan momen di titik O, diperoleh :

$$Wd = \frac{C_u}{F} L_a r$$

sehingga

$$F = \frac{C_u L_a r}{Wd} \quad (1)$$



Gambar 4.

Momen akibat gaya tambahan harus diperhitungkan. Dalam kasus adanya retakan tarik (tension crack), seperti pada Gambar 1., sepanjang busur L_a diperpendek dan gaya hidrostatik akan bekerja tegak lurus terhadap retakan bila retakan tersebut terisi air. Adalah penting untuk menganalisis lereng dengan sejumlah permukaan runtuh coba-coba untuk menentukan faktor keamanan minimum.

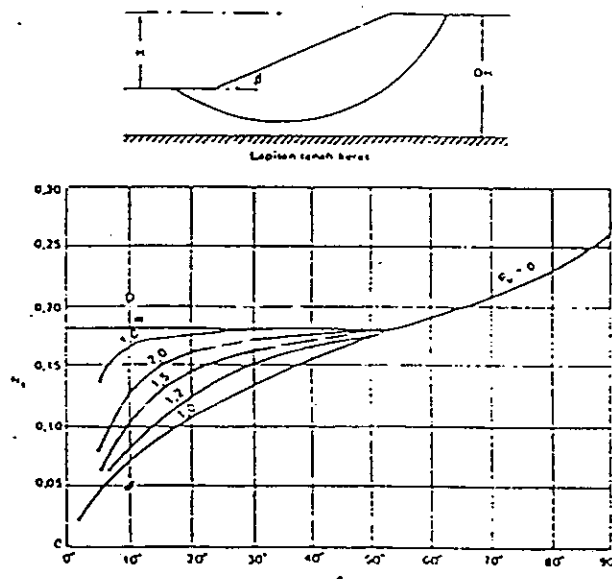
Berdasarkan prinsip kesebangunan geometris, Taylor mempublikasikan koefisien stabilitas untuk analisis lereng homogen dalam tegangan total. Untuk lereng dengan ketinggian H , koefisien stabilitas (N_S) untuk permukaan runtuh dimana faktor keamanannya minimum adalah

$$N_S = \frac{C_u}{F \gamma H} \dots \dots \dots (2)$$

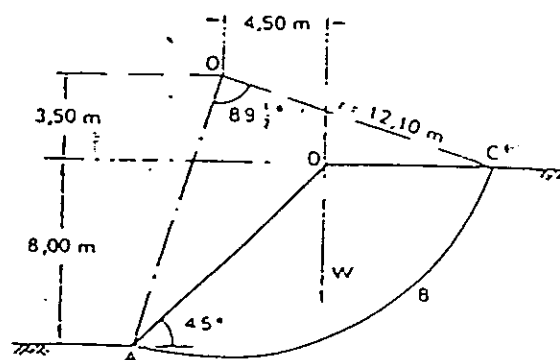
Untuk kasus $\phi_u = 0$, nilai N_S dapat ditentukan dari Gambar 5.

Koefisien N_s tergantung pada sudut lereng β dan faktor kedalaman D , dimana DH adalah kedalaman sampai lapisan tanah keras (firm stratum).

Gibson dan Morgenstern mempublikasikan koefisien stabilitas untuk lereng pada lempung terkonsolidasi normal di mana kekuatan tak-terdrainasi $c_u(\phi_u=0)$ bervariasi secara linear terhadap kedalaman.



Gambar-5. Koefisien stabilitas Taylor untuk $\phi_u=0$.



Gambar-6.

Contoh.

Suatu lereng 45° digali sampai kedalaman 8 m pada suatu lapisan lempung jenuh yang dalam dengan berat isi 19 kN/m^3 , parameter-parameter kekuatan geser yang relevan adalah $C_u = 65 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi_u = 0$. Tentukanlah faktor keamanan untuk permukaan runtuh coba-coba yang diberikan pada Gambar-6.

Pada Gambar-6, luas penampang melintang daerah ABCD adalah 70 m^2 . Berat massa tanah = $70 \times 19 = 1330 \text{ kN/m}$. Titik berat ABCD adalah 4,5 m dari O. Sudut AOC adalah $89,5^\circ$ dan jari-jari OC adalah 12,1 m. Panjang busur AB dihitung sebesar 18,9 m. Faktor keaman didapat sebesar :

$$F = \frac{C_u L_a r}{Wd}$$
$$= \frac{65 \times 18,9 \times 12,1}{1330 \times 4,5} = 2,48$$

Ini adalah faktor keamanan untuk permukaan runtuh coba-coba yang dipilih dan belum tentu merupakan faktor keamanan minimum.

Faktor keamanan minimum dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2. Dari Gambar 3, $\beta = 45^\circ$ dan dengan mengasumsikan D yang besar, maka nilai N_s adalah 0,18. maka

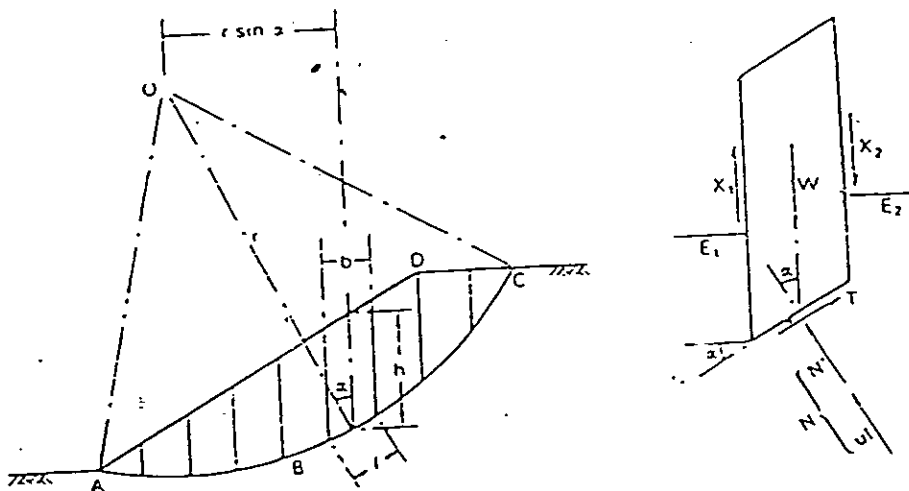
$$F = \frac{C_u}{N_s \gamma H}$$
$$= \frac{65}{0,18 \times 19 \times 8}$$
$$= 2,37$$

4.2. METODE IRISAN

Dalam metode ini, permukaan runtuh potensial pada potongan, diasumsikan berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dan jari-jari r. Massa tanah (ABCD) diatas permukaan runtuh coba-coba (AC) dibagi oleh bidang-bidang vertikal menjadi sejumlah irisan dengan lebar b, seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Dasar dari setiap irisan diasumsikan sebagai garis lurus. Untuk setiap irisan, sudut yang dibentuk oleh dasar irisan dan sumbu horizontal adalah α dan tingginya, yang diukur pada garis sumbu, adalah h. Faktor keamanan di definisikan sebagai rasio kekuatan geser yang ada (τ_f) terhadap kekuatan geser (τ_m) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan, yaitu

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

Faktor keamanan diambil sama untuk setiap irisan, agar terdapat keadaan yang saling mendukung di antara irisan-irisan, jadi harus ada gaya yang bekerja di antara irisan-irisan tersebut.



Gambar-7. Metode Irisan

Gaya (per satuan ukuran yang tegak lurus terhadap potongan) yang bekerja pada irisan adalah :

1. Berat total irisan, $W = \gamma b h$ (γ_{sat} bila diperlukan).
2. Gaya normal total pada dasar, N (sama dengan σ). Umumnya,

gaya ini memiliki dua buah komponen, yaitu gaya normal efektif N' (sama dengan $\sigma' l$) dan gaya airbatas U (boundary water force), (sama dengan $u l$), dimana u adalah tekanan air pori pada pusat dasar dan l adalah panjang dasar.

3. Gaya geser pada dasar, $T = \tau_m l$.
4. Gaya normal total pada sisi-sisi E_1 dan E_2 .
5. Gaya geser pada sisi-sisi, X_1 dan X_2 .

Setiap gaya luar juga harus diperhitungkan dalam analisis.

Masalah ini adalah statis tak tentu dan untuk mendapatkan penyelesaian, harus dibuat asumsi tentang gaya-gaya antar irisan (interslice forces) E dan X , dimana faktor keamanan yang didapat tidak eksak.

Dengan meninjau momen O , maka jumlah momen akibat gaya-gaya geser T pada busur keruntuhan AC harus sama-dengan momen akibat berat massa tanah $ABCD$. Untuk setiap irisan, lengan momen $W \sin \alpha$, sehingga

$$T r = \sum W r \sin \alpha$$

Sekarang,

$$T = \tau_m l = \frac{\tau_f}{F} l$$

$$\text{jadi} \quad \sum \frac{\tau_f}{F} l = \sum W \sin \alpha$$

$$\text{jadi} \quad F = \frac{\sum \tau_f l}{\sum W \sin \alpha}$$

Untuk analisis yang menggunakan tegangan efektif,

$$F = \frac{\sum (c' + \sigma' \tan \phi') l}{\sum W \sin \alpha}$$

atau

$$F = \frac{c' L_a + \tan \phi' \Sigma N'}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (3)$$

di mana L_a adalah panjang busur AC . Persamaan 3 cukup tepat tetapi tetap ada pendekatan dalam menentukan gaya N' . Untuk busur keruntuhan yang diberikan, nilai F akan tergantung pada bagaimana gaya N' tersebut diperkirakan.

Penyelesaian Menurut Fellenius.

Dalam penyelesaian ini diasumsikan bahwa untuk setiap irisan, resultan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu

$$N' = W \cos \alpha - ul$$

Kemudian, faktor keamanan yang dinyatakan dalam tegangan efektif (Persamaan 9.3) diberikan oleh

$$F = \frac{c' L_a + \tan \phi \Sigma (W \cos \alpha - ul)}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (4)$$

Komponen-komponen $W \cos \alpha$ dan $W \sin \alpha$ dapat ditentukan secara grafis untuk setiap irisan. Alternatif lain, nilai α dapat diukur atau dihitung. Sekali lagi, sejumlah permukaan keruntuhan coba-coba harus dipilih untuk mendapatkan faktor keamanan yang minimum. Penyelesaian ini menghasilkan perkiraan faktor keamanan yang lebih kecil. Kesalahannya, jika dibandingkan dengan metode analisis yang lebih akurat, biasanya berada dalam rentang 5-20%.

Untuk suatu analisa yang menggunakan tegangan total, digunakan parameter-parameter c_u dan ϕ_u , dan nilai u pada Persamaan 4 adalah nol. Bila $\phi_u = 0$ faktor keamanannya adalah

$$F = \frac{c_u L_a}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (5)$$

Karena N' tidak tampak dalam Persamaan 5, maka didapat nilai F eksak.

Penyelesaian Penyederhanaan Menurut Bishop

Dalam penyelesaian ini diasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horisontal, yaitu

$$X_1 - X_2 = 0$$

Untuk keseimbangan gaya geser pada dasar setiap irisan adalah

$$T = \frac{1}{F}(c'l + N'\tan\phi)$$

Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya dalam arah vertikal :

$$W = N'\cos\alpha + ul\cos\alpha + \frac{c'l}{F}\sin\alpha + \frac{N'}{F}\tan\phi\sin\alpha$$

jadi

$$N' = \left(W - \frac{c'l}{F}\sin\alpha - ul\cos\alpha \right) / \left(\cos\alpha + \frac{\tan\phi\sin\alpha}{F} \right) \dots\dots(6)$$

Dengan mensubstitusikan

$$l = b \sec\alpha$$

maka, dari Persamaan 3, sesudah disusun kembali, didapatkan :

$$F = \frac{1}{\sum W \sin\alpha} \left\{ \sum \left[c'b + (W - ub)\tan\phi' \right] \frac{\sec\alpha}{1 + \frac{\tan\alpha \tan\phi'}{F}} \right\} \dots\dots(7)$$

Tekanan air pori dapat dihubungkan dengan tekanan pengisian total (total fill pressure) pada setiap titik dengan menggunakan rasio tekanan pori yang tak berdimensi, yang didefinisikan sebagai

$$r_u = \frac{u}{\gamma h} \dots\dots\dots(8)$$

(γ_{sat} bila diperlukan). Untuk setiap irisan,

$$r_u = \frac{u}{W/b}$$

Sehingga Persamaan 7 dapat ditulis :

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \left[\left\{ c' b + W(1 - r_u) \tan \phi' \right\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F}} \right] \dots (9)$$

Karena faktor keamanan ada pada kedua ruas Persamaan 9, maka harus digunakan suatu proses pendekatan bertahap untuk memperoleh penyelesaian tetapi dengan konvergensi yang tepat.

Berhubung adanya perhitungan berulang dan diperlukan pemilihan sejumlah permukaan keruntuhan coba-coba yang tepat, maka metode irisan biasanya diselesaikan dengan menggunakan komputer geometri lereng yang lebih kompleks dan lapisan tanah yang berbeda-beda, dapat diselesaikan dengan metode ini.

Pada sebagian besar nilai rasio tekanan pori r_u tidak konstan diseluruh permukaan keruntuhan, kecuali bila terdapat suatu daerah dengan tekanan pori yang tinggi, biasanya yang digunakan dalam desain adalah nilai rata-rata (diukur berdasarkan luas). Sekali lagi, faktor keamanan ditentukan dengan metode ini adalah suatu perkiraan yang lebih kecil tetapi kesalahan jarang melebihi 7 % dan pada sebagian besar kasus lebih kecil dari 2 %.

Specer mengemukakan suatu metode analisis di mana resultan gaya antara irisan adalah sejajar dan keseimbangan gaya dan keseimbangan momen terpenuhi. Specer memperlihatkan bahwa ketelitian metode penyederhanaan dari Bishop, dimana hanya memenuhi keseimbangan momen, adalah akibat dari ketidakpekaan persamaan momen terhadap lereng dengan gaya-gaya antar irisan.

Koefisien stabilitas yang tidak berdimensi untuk lereng homogen, menurut Persamaan 7, telah dikemukakan oleh Bishop dan Morgenstern. Dapat dilihat bahwa untuk suatu sudut lereng dan sifat-sifat tanah tertentu, faktor keamanan bervariasi secara linear terhadap r_u dan dapat dinyatakan sebagai

$$F = m - nr_u \dots \dots \dots (10)$$

dimana m dan n adalah koefisien stabilitas. Koefisien m dan n merupakan fungsi β , ϕ' , bilangan tak berdimensi $c'/\gamma H$, dan faktor kedalaman D .

Contoh :

Dengan menggunakan metode irisan dari Fellenius, tentukanlah faktor keamanan, yang dinyatakan dalam tegangan efektif, dari lereng yang diperlihatkan gambar 8 untuk permukaan runtuh yang diberikan. Berat isi tanah di atas maupun di bawah muka air tanah adalah 20 kN/m^3 dan parameter-parameter kekuatan gesernya adalah $c' = 10 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi' = 29^\circ$. Faktor keamanan diberikan oleh persamaan 2. Massa tanah dibagi menjadi irisan-irisan dengan lebar $1,5 \text{ m}$. Berat (W) setiap irisan adalah :

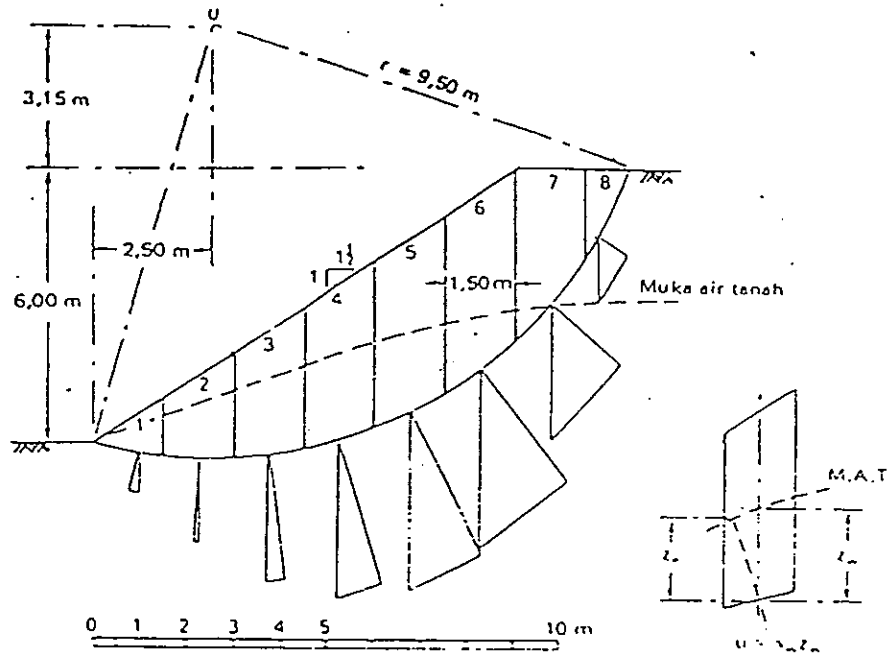
$$W = \gamma bh = 20 \times 1,5 \times h = 30 h \text{ kN/m}$$

Tinggi h untuk tiap irisan ditentukan dibawah pusat dasar irisan dan komponen normal dan tangensialnya, $h \cos \alpha$ dan $h \sin \alpha$, ditentukan secara grafis, seperti diperlihatkan pada gambar 4, maka :

$$W \cos \alpha = 30 h \cos \alpha$$

$$W \sin \alpha = 30 h \sin \alpha$$

Tekanan air pori dipusat dasar diambil sebesar $\gamma_w z_v$, dimana z_v adalah jarak vertikal dari titik pusat dibawah muka air tanah (seperti diperlihatkan pada gambar). Prosedur ini memperkirakan besarnya tekanan air pori yang sedikit terlalu besar yang seharusnya sebesar $\gamma_w z_0$, dimana z_0 adalah jarak vertikal dibawah titik perpotongan muka air tanah dan garis ekponensial sampai pusat dasar irisan. Kesalahan yang didapat masih dalam kondisi aman.



Gambar 8.

Panjang busur L_a dihitung 14,35 m. Hasil-hasil tersebut diberikan dalam tabel 1.

$$\Sigma W \cos \alpha = 30 \times 17,50 = 525 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma W \sin \alpha = 30 \times 8,45 = 254 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma(W \cos \alpha - v_l) = 525 - 132 = 393 \text{ kN/m}$$

Tabel 1

No Irisan	$h \cos \alpha$ (m)	$h \sin \alpha$ (m)	v (kN/m ²)	l (m)	v_l (kN/m)
1.	0,75	-0,15	9,9	1,55	9,1
2.	1,80	-0,10	11,8	1,50	17,7
3.	2,70	0,40	16,2	1,55	25,1
4.	3,25	1,00	19,1	1,60	29,0
5.	3,45	1,75	17,1	1,70	29,1
6.	3,10	2,35	11,3	1,95	22,0
7.	1,90	2,25	0	2,35	0
8.	0,55	0,95	0	2,15	0
	17,50	8,45		14,35	132,0

$$= \frac{c' L_a + \tan \phi' \Sigma(W \cos \alpha - v_l)}{\Sigma W \sin \alpha}$$

$$= \frac{(10 \times 14,35) + (0,554 \times 393)}{254} = 1,42$$

4.3. ANALISIS KELONGSORAN TRANSLASI BIDANG

Diasumsikan bahwa permukaan runtuh potensial adalah sejajar dengan permukaan lereng dan dengan kedalaman yang kecil dibandingkan dengan panjang lereng. Lereng tersebut kemudian dapat dianggap mempunyai panjang tak terhingga, dengan mengabaikan pengaruh ujungnya. Lereng tersebut membentuk sudut β dengan bidang horizontal dan kedalaman bidang runtuh adalah z , seperti pada gambar 9. Muka air tanah diambil sejajar terhadap lereng dengan tinggi mz ($0 < m < 1$) diatas bidang runtuh. Rembesan tunak (steady seepage) diasumsikan terjadi dalam arah yang sejajar dengan lereng. Gaya-gaya pada sisi setiap irisan vertikal adalah sama besar dan berlawanan arah dan kondisi tegangannya sama setiap titik pada bidang runtuh.

Tekuatan geser tanah disepanjang bidang runtuh, dinyatakan dalam tegangan efektif adalah :

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

dan faktor keamanannya adalah :

$$F = \frac{\tau_f}{\tau}$$

Pernyataan untuk σ , τ dan u adalah :

$$\sigma = \{(1 - m) \gamma + m\gamma_{sat}\} z \cos^2 \beta$$

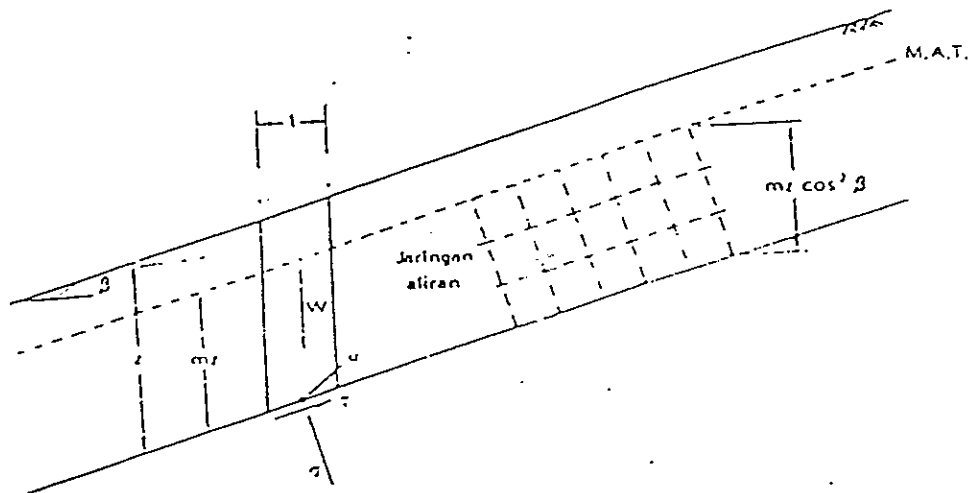
$$\tau = \{(1 - m) \gamma + m\gamma_{sat}\} z \sin \beta \cos \beta$$

$$u = m\gamma_w \cos^2 \beta$$

Berikut ini adalah beberapa kasus khusus yang menarik.

Bila $c' = 0$ dan $m = 0$ (yaitu tanah antara permukaan jenuh dan bidang runtuh tidak jenuh sempurna), maka :

$$F = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \dots \dots \dots (11)$$



Gambar 9 Kelongsoran translasi bidang

Jika $c' = 0$ dan $m = 1$ (yaitu muka air tanah berpotongan dengan permukaan lereng), maka :

$$= \frac{\gamma' \tan \phi'}{\gamma_{sat} \tan \beta} \dots \dots \dots (12)$$

Perlu diperhatikan bahwa jika $c' = 0$, faktor keamanannya tidak bergantung pada kedalaman z . Jika $c' > 0$, maka faktor keamanannya merupakan fungsi z , dan β dapat melebihi ϕ' yang menghasilkan z yang lebih kecil dari nilai kritis.

Untuk analisis tegangan total, parameter kekuatan geser c_u dan ϕ' digunakan untuk nilai $v = nol$.

Contoh :

Satu lereng alami yang panjang pada lempung terkonsolidasi berlebihan yang bercelah (fissured overconsolidated clay) membentuk sudut 12° terhadap bidang horizontal. Muka air tanah berada pada permukaan dan rembesan dianggap searah dengan lereng. Suatu kelongsoran terjadi pada sebuah bidang yang sejajar dengan permukaan pada kedalaman 5 m. Berat isi lempung jenuh adalah 20 kN/m^3 . Parameter kekuatan geser puncak adalah $c' = 10 \text{ kN/m}^2$ dan $m_{ake} = 26^\circ$; parameter kekuatan geser sisa adalah $c_r' = 0$ dan $\phi' = 18^\circ$.

Tentukanlah faktor keamanan sepanjang bidang longsor (a) nyatakan dengan parameter kekuatan geser puncak (b) dinyatakan dengan

kekuatan geser sisa.

Dengan permukaan air tanah pada permukaan ($m = 1$), maka pada setiap titik pada bidang lensor :

$$\begin{aligned}\sigma &= \gamma_{\text{sat}} z \cos^2 \beta \\ &= 20 \times 5 \times \cos^2 12^\circ = 95,5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau &= \gamma_{\text{sat}} z \sin \beta \cos \beta \\ &= 20 \times 5 \times \sin 12^\circ \times \cos 12^\circ = 20,3 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= mzy_v \cos^2 \beta \\ &= 9,8 \times 5 \times \cos^2 12^\circ = 46,8 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Dengan menggunakan parameter kekuatan geser puncak :

$$\begin{aligned}\tau_f &= c' + (\sigma - v) \tan \phi'_{\text{maks}} \\ &= 10 + (48,7 \times \tan 26^\circ) = 33,8 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Maka faktor keamanan didapat sebagai berikut :

$$F = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{33,8}{20,3} = 1,66$$

Dengan menggunakan parameter kekuatan geser sisa, faktor keamanan dapat diperoleh :

$$F = \frac{\gamma' \tan \phi'}{\gamma_{\text{sat}} \tan \beta}$$

$$F = \frac{10,2}{20} \times \frac{\tan 18^\circ}{\tan 12^\circ} = 0,78$$

5. TEKNIK MENSTABILKAN LERENG

Pada prinsipnya untuk menstabilkan suatu daerah yang telah terjadi longsor atau mungkin akan terjadi kelongsoran, agar lerengnya lebih aman (mantap) dapat dibagi dalam dua dua golongan :

1. Memperkecil Gaya Gerak atau Momen Penggerak

Gaya atau momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan cara merubah bentuk lereng yang bersangkutan. Untuk ini ada dua cara :

- a. Membuat lereng lebih datar, yaitu mengurangi sudut kemiringan.
- b. memperkecil ketinggian lereng.

Umumnya cara ini hanya dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas, yaitu dalam hal kelongsoran bersifat "rational slide" (gbr 10). Cara ini tentunya kurang cocok untuk lereng yang tinggi, dimana kelongsoran bersifat translational slide .

2. Memperbesar Gaya Melawan atau Momen Melawan

Gaya melawan atau momen melawan dapat ditambah dengan beberapa cara, yang paling sering dipakai adalah sebagai berikut :

- a. Dengan memakai "counterweight", yaitu tanah timbunan pada kaki lereng
- b. Dengan mengurangi tekanan air pori didalam lereng
- c. Dengan cara mekanis, yang dengan memasang tiang atau dinding penahan.
- d. Dengan cara injeksi.

Cara (a), yaitu dengan menambah tanah timbunan pada kaki lereng seperti diperlihatkan pada gambar 10, maka momen melawan bertambah besar dibandingkan dengan momen penggerak dan faktor keamanan menjadi lebih kecil. Cara ini mudah dilaksanakan asal ada tempat pada kaki lereng yang dipakai untuk keperluan ini. Cara ini hanya dapat dipakai untuk kelongsoran yang "rotational"

Cara (b) dengan membuat selokan secara teratur (drainage) pada lereng kita dapat mengurangi air pori tanah. Dengan demikian kekuatan geser tanah akan naik dan gaya melawan kelongsoran

akan ikut naik. Cara pembuatan selokan ini dapat dilihat pada gambar 11.

Selokan tersebut dibuat pada arah memanjang lereng (bukan arah melintang) dan pada dasar selokan dipasang pipa, dengan sambungan terbuka supaya air dapat masuk. Diatas pipa tersebut, selokan diisi kembali dengan batu-batu dan kerikil. Sebaiknya selokan-selokan ini dibuat lebih dalam dari pada bidang gelincir, tetapi ini tidak merupakan syarat mutlak. Cara ini masih dapat berhasil tiarpun selokan tidak dapat digali sampai sedalam bidang gelincir. Jarak antara setiap selokan sebaiknya dibuat sebesar empat kali dalamnya, yaitu $L = 4 D$

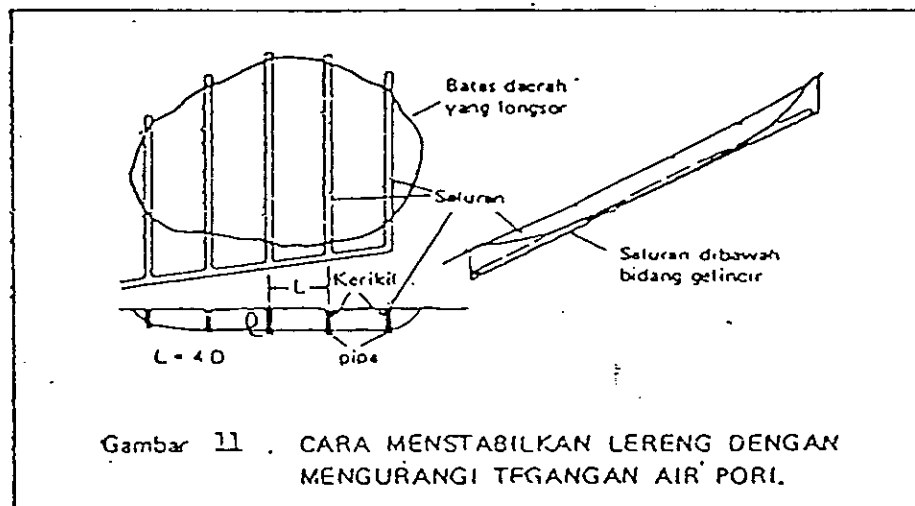
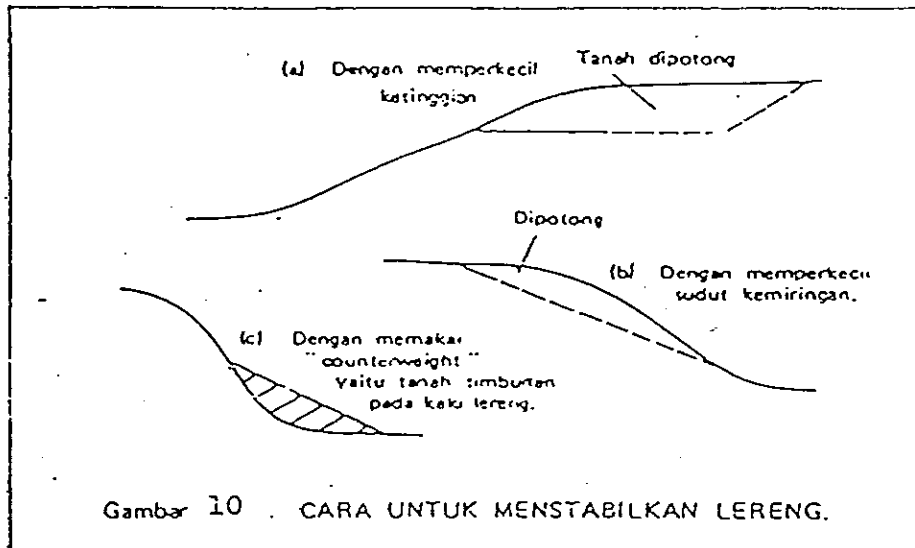
dimana : L = jarak antara selokan
 D = dalam selokan

Cara ini dapat dipakai baik pada kelongsoran bersifat rotational maupun yang bersifat translational. Sering didapati bahwa pada "translational slide" hanyalah cara ini yang dapat digunakan.

Cara (c) Cara mekanis, yaitu dengan membuat dinding penahan atau dengan memancang tiang, hanya dapat dipakai pada lereng atau kelongsoran yang agak kecil. Umumnya pada lereng yang tinggi, tekanan dari tanah yang longsor sangat besar sekali dibandingkan dengan gaya yang dapat ditahan oleh dinding atau tiang, sehingga dinding atau tiang tersebut tidak akan berpengaruh.

cara (d) Kadang-kadang lereng dapat dijadikan lebih stabil dengan memakai cara injeksi. Yaitu bahan kimia atau semen dipompa melalui pipa supaya masuk kedalam lereng yang bersangkutan. Cara ini hanya dapat dipakai bilamana lereng terdiri dari tanah dengan daya rembesan yang tinggi (permeable). Bahan injeksi tidak dapat dimasukkan kedalam

lereng yang terdiri dari lempung atau lanau karena daya rembesar terlampau kecil. Oleh karena hal itu maka cara ini sangat terbalas gunanya.



VOLUME GALIAN

1. PENDAHULUAN

proses dimana permukaan tanah digali, diangkut ke, dan dipadatkan di tempat lain, disebut pekerjaan tanah.

Proses ini telah dimulai sejak zaman pra sejarah, dimana manusia membutuhkan perlindungan diri dan masyarakatnya terhadap gangguan alam, dengan jalan menggali gua-gua dan bekerja dengan alat yang sederhana. Dari catatan sejarah telah ditemukan di daerah Timur Tengah dan Timur Jauh, pembuatan irigasi di Sungai seperti Kingdes pada tahun 1300 SM dan Kanats (Water supply tunnels) di Iran tahun 2800 SM.

Sebelum dikembangkan peralatan penggalian, maka pekerjaan galian ini masih dilakukan secara-manual, tapi setelah abad ke 19, dengan berkembangnya mesin pembakar, tenaga listrik dan tenaga hidrolik, maka disponsori negara maju telah melakukan pekerjaan penggalian dan pemadatan dalam skala yang besar. Produktivitas dapat ditingkatkan dengan menambah ukuran, kapasitas dan efisiensi dari peralatan tersebut. Pengembangan juga dilakukan dengan diciptakan mesin-mesin mini, seperti mini excavator untuk melaksanakan pekerjaan kecil, karena peralatan besar kurang efisien dipakai pada pekerjaan kecil.

Penggunaan peralatan modern, disponsori UK, dimana di Negara ini tenaga kerja relatif mahal, tapi di Negara berkembang seperti Cina dan sebagian Afrika, pekerjaan secara manual dengan tenaga manusia masih digunakan secara luas. Contoh pembangunan Canal Kiangsu di Cina Utara, dimana 70 juta m³ pekerjaan tanah diselesaikan dalam waktu 80 hari oleh tenaga manusia tanpa bantuan peralatan mekanik.

pekerjaan tanah merupakan tahap awal dari pekerjaan konstruksi, dan kala pekerjaan pendahuluan ini lebih mahal dari pekerjaan struktur dan pekerjaan gedung. Penyelesaian pekerjaan tanah dalam awal yang ditetapkan merupakan kunci, untuk menyelesaikan proyek tepat waktu. Dan pada bagian ini sangat sulit untuk menghindari kehilangan waktu kerja. Keberhasilan sangat tergantung dari persiapan perencanaan yang cukup, mengenai penyelidikan lapangan dan menyiapkan design pelaksanaan yang praktis dan memilih penggunaan peralatan yang optimal, dari mulai type dan ukuran peralatan yang akan digunakan serta memenuhi persyaratan lapangan.

Perencanaan dan Pelaksanaan pekerjaan tanah ini, merupakan bagian dari pekerjaan civil engineering (contoh highways, railways dan airfields, galian terwongon, pemipaan dan pekerjaan lain-lain).

2. PERENCANAAN PEKERJAAN TANAH

2.1. PEMILIHAN LOKASI

Pemilihan lokasi atau jalan untuk pekerjaan tanah sangat tergantung dari beberapa faktor, termasuk adanya lokasi, biaya tanah, perencanaan, perancangan, pembangunan, lingkungan dan pertimbangan ekonomi.

Dalam beberapa perencanaan kondisi geologi, dan geoteknik merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap design dan construction, oleh karenanya diperlukan penyediaan biaya bagi pekerjaan tanah. Hal ini sangat penting pada pemilihan lokasi dan letak jalan serta jalan rel. Karena dengan dilakukan penyelidikan geologi, kondisi geoteknik dapat ditetapkan, dan pengontrolan masalah lokasi akan lebih mudah dilakukan.

6.2.2. PERTIMBANGAN EKONOMI DAN LINGKUNGAN

Perencanaan dan pelaksanaan konstruksi biaya pekerjaan tanah secara umum tergantung pada lingkungan dan daerah sekitar lokasi, kondisi tanah didalam lokasi, dan material yang tersedia didaerah tersebut.

Daerah landscape merupakan pertimbangan utama. Secara ideal se baiknya tidak berpengaruh buruk/jelek tapi berpengaruh baik terhadap lingkungan. Pemilihan lokasi ini sebaiknya dipilih secara hati-hati, sehingga dapat meminimumkan pengaruh jelek terhadap lingkungan.

Biaya pekerjaan tanah secara umum dipengaruhi oleh jumlah material yang perlu didatangkan ke lokasi, atau kelebihan material yang perlu dipindahkan dari lokasi. Didalam rencana jalan raya, sangat diperlukan untuk mencoba menyeimbangkan (balance) antara cut dan fill sehingga diperlukan penyelesaian route dari alignment vertical. Hal ini tidak selamanya didapat, kadang-kadang ditemukan sedikit lebih besar yang perlu dibuang, atau sedikit kurang yang perlu didatangkan dari tempat lain.

Apabila material harus didatangkan, maka diusahakan diambil dari borrow area yang dekat dengan lokasi, dengan pertimbangan jumlah yang tersedia dan mutu bahan sesuai dengan persyaratan yang ada. Apabila material terlalu banyak harus didatangkan, ini tentunya sangat berpengaruh terhadap biaya transportasi, mengakibatkan proyek jadi mahal, untuk ini akan lebih bijaksana apabila design route dirubah.

Kebutuhan untuk mendatangkan bahan atau membuang dari lokasi, sangat mengganggu lingkungan sekitarnya, khususnya pada proyek yang besar. Karena dapat bertambahnya arus lalu lintas pada jalan lokasi, untuk ini sangat diperlukan penentuan route bagi kendaraan yang masuk dan keluar lokasi secara baik.



6.3. PERENCANAAN CUTTING DAN EMBANKMENT

6.3.1. PENGGALIAN (EXCAVATIONS)

Penggalian dapat merupakan bagian pekerjaan yang permanen (seperti cuttings) atau bagian pekerjaan temporer (seperti pondasi dan drainase).

Dalam banyak kasus, tahap penggalian sangat memerlukan kestabilan selama umur pelaksanaan, jadi tidak mengandung resiko terhadap keselamatan Manusia dan Binatang. Dalam masalah ini kestabilan lokal, dapat ditoleransi, apabila ada batasan terhadap mahalnyanya biaya pembuatan konstruksi pencegahan. Kestabilan secara umum dapat dicapai dengan menggali pada batas slope dari material atau membuat dinding penahan.

Kestabilan alam dan slope potongan dapat diperiksa secara alami seperti, distribusi, density dan strenght dari material dalam bentuk sloponya, kondisi air tanah atau tekanan air pori, tambahan beban luar, dan strenght pemindahan daerah yang tidak kontinu.

Selama penggalian atau cutting pengurangan total stress dari slope selalu dilakukan dengan mengurangi tekanan pori, sehingga dapat menambah stabilitas galian jangka pendek, ini sangat tergantung dari jenis material pada lokasi yang digali. Oleh karenanya sebelum pekerjaan dilakukan, selalu diperlukan perhitungan analisa stabilitas ini.

Pada tanah cohesive dan batuan permeability yang rendah, proses ini dapat diambil dalam waktu mingguan atau dekade yang rata. Dimana perhitungannya dilakukan dengan analisa total stress untuk stabilitas jangka pendek, dan analisa efektif stress untuk kestabilan dalam jangka waktu menengah atau panjang.

Penerapan faktor keamanan dalam design slope sangat tergantung dari pengetahuan yang luas dan andal dari kondisi tanah, dan

akibat dari kegagalan. Dalam tabel 2 diberikan tabel khusus mengenai slope dan jenis material serta untuk keperluan jangka pendek atau jangka panjang :

Tabel 2: Typical batter of excavated slope

Material	Slope batter (vertical:horizontal)	
	Permanent	Temporary
Massive rock	1.5:1 to vertical	1.5:1 to vertical
Well jointed/ bedded rock	1:2 to 2:1	1:2 to 2:1
Gravel	1:2 to 1:1	1:2 to 1:1
Sand	1:2.5 to 1:1.5	1:2.5 to 1:1
Clay	1:4 to 1:2	1:2 to 2:1

6.3.2. EMBANKMENT (PENINGGIAN TANAH)

Embankment dibuat dari berbagai ukuran, dengan berbagai material dan untuk berbagai macam keperluan. Diantaranya, Load bearing fills, merupakan konstruksi yang digunakan untuk jalan dan bendungan, dengan persyaratan yang tinggi pada faktor keamanan. Dan non load bearing fills, seperti stoppile atau amenity embankments. Ada berbagai faktor yang menjadi syarat untuk membuat design dan pelaksanaan embankment, yang dapat dipilih diantara berbagai faktor yang ada. Salah satunya adalah pemilihan material yang digunakan, sehingga embankment dapat dilaksanakan secara ekonomis.

Berbagai faktor untuk mendesign dan membangun embankment, adalah

- a. Stabilitas
- b. Bearing Capacity
- c. Settlement
- d. Trafficability
- e. Faktor lainnya, seperti permeability.

Tabel 3 : Typical better of embankment slope

Material	Typical slope better (vertical:horizontal)
Hard rock fill	1:1.5 to 1:1
Weak rock fill	1:2 to 1:1.25
Gravel	1:2 to 1:1.25
Sand	1:2.5 to 1:1.5
Clay	1:4 to 1:1.5

Stabilitas dari embankment sangat dipengaruhi oleh waktu, dan secara umum akan terjadi bila dibangun dengan tanah yang cohesive. Dalam banyak kasus, konstruksi embankment selalu berpengaruh terhadap tekanan air pori dalam timbunan, yang diakibatkan oleh bertambah atau berkurangnya waktu. Sebagai akibatnya faktor keamanan dalam embankment selalu lebih kecil atau mendekati pada tahap akhir pelaksanaan. Tanah clay mempunyai konsolidasi yang berlebihan, dan jika digunakan untuk timbunan, maka tekanan air pori selalu bertambah dibawah permukaan slope setelah pembangunan. Dari ini mengakibatkan runtuhnya slope, setelah beberapa tahun kemudian.

Analisa stabilitas dari embankment (termasuk pondasi) dalam pelaksanaan dilapangan, harus ditetapkan dengan ukuran yang relatif dari range yang tinggi, material konstruksi dan lapisan pondasi, dengan tekanan air pori yang dapat dihasilkan selama dan setelah masa konstruksi. Jika analisa faktor-faktor keamanan tidak mencukupi, diperlukan stabilitas tambahan untuk mendapatkan stabilitas, yaitu :

1. Memperkecil sudut geser
2. membuat berm pada ujung slope
3. menggunakan bahan timbunan dengan tegangan tinggi
4. Memperbaiki tegangan tanah timbun, dengan mengeringkan atau stabilisasi kapur atau semen.

- e. Membuat drainase didaerah timbunan untuk mengurangi tekanan air tanah
- f. Memasang geotextile dibawah timbunan untuk meningkatkan tegangan menyeluruh.
- g. Membuat dinding penahan pada sebagai atau seluruh bagian timbunan.

Bearing capacity dari embankment hanya penting pada permukaan yang dibebani. Contoh jalan, jalan rel dan pondasi. Sifat dari penimbunan embankment adalah terjadi perubahan setelah waktu konstruksi. Contoh : konsolidasi, atau bertambahnya moisture content dan ini merupakan persyaratan yang harus diperhitungkan dalam design bearing capacity untuk jalan, jalan rel dan runway. CBR atau modulus of subgrade reaction selalu digunakan dalam design pavement, sebaliknya plat bearing capacity atau triaxial test selalu digunakan pada pondasi.

Bila bearing capacity tidak mencukupi pada timbunan, penggunaan kualitas yang baik dari bahan timbunan seperti gravel atau rockfill dapat digunakan untuk lapisan atas, serta stabilisasi dengan material kapur, semen atau pemakaian teknik pemadatan seperti vibro flotation atau dinamic consolidation akan sangat bermanfaat.

Settlement dari embankment akan terjadi pada timbunan dan/atau lapisan pondasi. Jika digunakan material yang permeable, settlement terjadi pada saat konstruksi, dan dapat diimbangi dengan menambah timbunan. Dan jika permeabilitasnya rendah, maka settlement akan terjadi terus menerus dalam waktu seminggu sampai setahun setelah konstruksi, tergantung dari percepatan konsolidasinya. Jumlah settlement dapat diminimumkan dengan cara pemadatan, yang juga akan mempengaruhi stabilitas timbunan.

Apabila terjadi differential settlement, akan sangat sukar diatasi dengan cara pemadatan. Untuk ini dapat diminimumkan dengan cara menggunakan material khusus seperti granular fill

atau pulverised fuel ash (pfa). Masalah yang sama terjadi bila perubahan tinggi/patahan terjadi tiba-tiba, seperti permukaan quarry lama dengan baru atau banching of the scarp, untuk ini disarutkan untuk penggunaan material pilihan.

Jika besar atau lamanya settlement pondasi berlebihan dan/atau tanah pondasi terlalu lemah, ini memerlukan ukuran khusus dalam design dan konstruksi dari embankment. Dibawah ini diberikan beberapa teknik :

- a. kurangi sudut permukaan slope
- b. buat berm pada ujung slope
- c. Pasang geotextile didasar embankment untuk mengurangi deformability
- d. buang material lunak atau lemah dan ganti dengan yang baik
- e. buat konstruksi yang besar dan dalam dengan material yang granular
- f. Perbaiki tanah dasar dengan vibriflotation, dynamic compaction atau preloading
- g. kontrol tingkat konstruksi untuk mengizinkan waktu konsolidasi konstruksi dan tambah tegangan
- h. kurangi beban yang mencapai tanah dengan memakai material ringan seperti pfa
- i. buat vertical drain dan/atau horizontal drainage didalam embankment untuk menghilangkan tekanan air pori dan settlement dan tambah strenght dari tanah.

Trafficability merupakan kekuatan material timbunan yang dibatasi dengan faktor konstruksi embankment yang efisien, khususnya pada penggunaan tanah cohesive atau butiran basah. Dalam pelaksanaan praktis penggunaan material ini untuk keperluan stabilitas embankment dipilih pada meterial yang cocok untuk konstruksi. Karena dalam spesifikasi hanya diizinkan menggunakan peralatan berat, tidak peralatan ringan untuk melaksanakan pekerjaan dengan kualitas material yang tidak baik:

6.4. TYPE PERALATAN YANG DIGUNAKAN PADA PEMINDAHAN TANAH

Untuk mendapatkan efisien kerja, maka penentuan type peralatan yang akan digunakan harus ditentukan, sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara efektif.

Peralatan pemindahan tanah dapat diklassifikasikan dalam 4 golongan besar, sebagai berikut :

a. Peralatan yang hanya digunakan untuk menggali material.

- Jenisnya :
- Rippers
 - Drill and blast
 - Impact hammer
 - Hydraulic breakers
 - Graders
 - Simmers

b. Peralatan yang digunakan untuk menggali dan memuat :

- Jenisnya :
- Dragline
 - Face shovel
 - Forward loaders
 - Grab
 - Back hoe
 - Bucket wheel excavators

c. Peralatan yang digunakan hanya untuk mengangkut material

- Jenisnya :
- Dumpers
 - Dump truck
 - Lorries
 - Conveyors

d. Peralatan untuk menggali, memuat, mengangkut dan menyimpan material :

- Jenisnya :
- Dozers
 - Tractor drawn scraper
 - Motor scrapers
 - Dredgers

6.5. FAKTOR PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN PEMINDAHAN TANAH

- a. Faktor material, seperti tipe, sifat dan variabilitas dari material, untuk digali dan diangkut.
- b. Faktor geografi, seperti features dan relief dari daerah, ini maksudnya jalan masuk yang panjang ke lokasi, dan mengantisipasi bagai mana kondisinya selama periode kerja.
- c. Faktor ruang/tempat, seperti volume, lokasi penempatan material yang telah digali, dan waktu yang dapat digunakan untuk berbagai operasi.
- d. Faktor peralatan, seperti tipe alat yang cocok dan tersedia untuk bekerja, karakteristik operasi serta output dan biaya per unit (unit cost)
- e. Faktor lainnya, seperti aturan, batasan kontrak dan politik yang dapat berpengaruh terhadap pekerjaan, seperti: penggunaan jalan masuk alat dan peralatan.

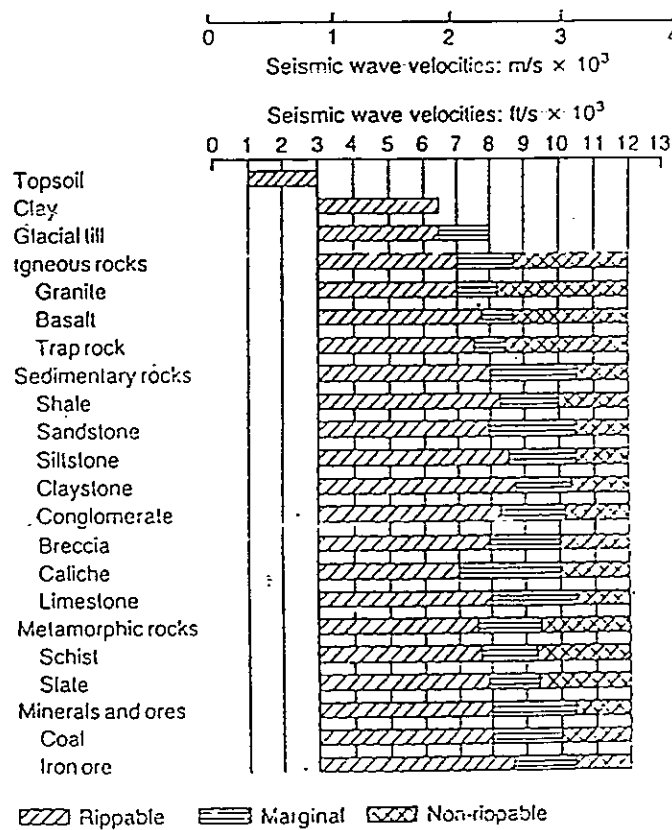
6.5.1. FAKTOR MATERIAL

Material alam selalu berpengaruh pada lokasi yang digunakan, metode penggalian serta pengangkutan dari material tersebut. Jika informasi yang diperlukan sudah tersedia, melalui penyelidikan lapangan tentang material dan berbagai sumber daya lainnya, ini dapat digunakan untuk melakukan penilaian dari tipe material seperti top soil, soil atau rock, dan kemudian mengidentifikasi masing-masing tipe dari material yang akan digunakan dalam pekerjaan, atau dikeluarkan dari lokasi.

Tanah dapat berbentuk cohesive atau granular dan secara umum dapat digali tanpa menggunakan ripper, blasting atau pneumatic. Tanah yang sangat cohesive dan tanah granular kasar atau padat dapat diperlakukan seperti rock lemah, dan digali dengan bantuan ripping atau digunakan alat pneumatic, khususnya pada penggalian dengan luas tak terbatas.

Rock dalam pengertian engineering, tidak sama seperti pengertian umum lainnya. Rock lemah seperti siltstone, mudstone dan chalk, dimana rock ini berisi berbagai discontinuities (bedding plane, joint dsbnya) seperti slate dan sand stone dapat digali dengan ripper. Rock keras seperti limestones dan sand stone, dihancurkan dengan blasting.

Bila dari hasil penelitian, hanya dapat dikerjakan dengan blasting, maka diperlukan pengalaman khusus untuk melaksanakannya, atau dapat dipelajari dari petunjuk yang telah dipublikasikan, sehingga kecepatan seismic yang diperlukan untuk masing-masing lapisan diketahui. Sebagai contoh ditunjukkan dalam gambar 12 lapisan batuan, seperti silicious sand stone dan quartzite mempunyai abrasive yang sangat tinggi, sehingga diperlukan alat bor dengan kekuatan tinggi untuk melubangkannya.



Gambar 12. Ripper performance chart for Caterpillar D9H Dozer with multy/single ahank 9D ripper

Faktor penting lainnya adalah musim, yang akan mempengaruhi lokasi. Keseimbangan antara hujan dan evaporation penting dikontrol agar pergerakan dilokasi lancar. Hujan akan mengakibatkan tanah menjadi becek, sehingga akan mempengaruhi bearing capacity, dengan demikian mempersulit pergerakan peralatan. Moisture contents yang berlebihan mengakibatkan tanah sukar dipadatkan. Pengaruh-pengaruh diatas mengakibatkan pengurangan produktivitas dilokasi.

Pengaruh material terhadap curah hujan berbeda-beda, antara clay dan fine grained granular soil dan fire grained weak rocks. Kondisi air tanah dilokasi dapat meberikan efek berarti pada tipe dan produktivitas alat gali, khususnya granular soil seperti sand dan gravel. Penaksiran kondisi air tanah, sangat diperlukan untuk membedakan antara data lokal dan data nasional, sehingga dapat diperhitungkan quantitas aliran. Jika aliran tersebut mempunyai pengaruh yang berarti, maka diperlukan pelaksanaan dewatering, seperti pekerjaan di Sungai dan pembuatan kanal, dan apabila quarry berada dibawah muka air, maka penggalian dapat menggunakan draglines, back acters atau grabs.

Soil dan rock alam sepanjang haul routes dan daerah penggalian harus dipelajari dengan baik, karena dapat berpengaruh terhadap tipe dan operasi penggalian dan tarikan peralatan. Sangat penting ditetapkan bagai mana tanah dapat mendukung peralatan yang akan digunakan. Contoh bearing capacity lebih peka terhadap hujan dari pada coarser granular soil atau harder rock. Dump truck lebih mudah berpengaruh terhadap hujan dari pada scraper, sehingga productivitas kerja truck berkurang dibandingkan scraper.

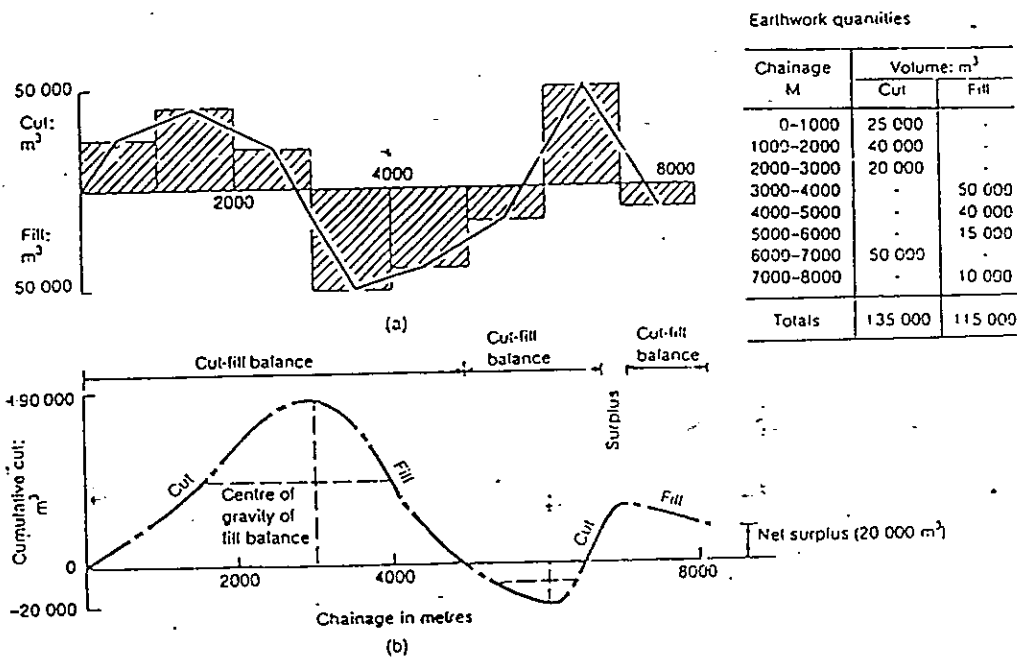
6.5.3. FAKTOR RUANG/TEMPAT

Faktor ruang/tempat memberi pengaruh terhadap jumlah dan tipe peralatan yang digunakan dan lamanya waktu proyek. Dan akibatnya berpengaruh besar terhadap biaya proyek. Perincian utama

diberikan pada volume dari berbagai material yang akan digali dan diangkat pada atau keluar lokasi, dan lamanya atau ketepatan kerja.

Pada lokasi yang kecil hanya dapat digunakan tipe peralatan yang terbatas, jarak angkut menjadi faktor kecil dalam total kerja, dimana ketepatan menjadi penting dan dalam beberapa kasus double handling dari material harus digunakan.

Apabila jumlah material yang digali dan diangkat besar dalam berbagai jarak, mengakibatkan volume material dan jarak angkut selalu menjadi faktor penting dalam pemilihan peralatan. Untuk kasus seperti ini penggunaan mass haul diagram (gbr 13) dapat digunakan untuk mendapatkan metode yang baik dari penggalian dan angkutan material.



Jambar 13. (a) Mass profile diagram (b) mass haul diagram

6.5.5. FAKTOR PERALATAN

Untuk menentukan tipe peralatan yang digunakan, perlu dilakukan analisa pekerjaan yang akan dilaksanakan. Bila tingkat hasil tergantung dari kombinasi peralatan maka dapat ditentukan unit cost dari pekerjaan tanah tersebut. Tingkat produksi dapat diperkirakan dengan berpedoman pada manufaktur peralatan yang dikeluarkan oleh pabrik.

6.5.6. FAKTOR LAINNYA

Berbagai kontrak dan batasan hukum telah ditetapkan pada konstruksi pekerjaan tanah. Ini termasuk pembatasan peralatan yang digunakan atau lamanya waktu peralatan yang dapat digunakan. Sehingga mempelajari kontrak dengan seksama merupakan langkah yang terpuji.

6.7. TIPE DARI PEKERJAAN PEMINDAHAN TANAH

Secara garis besar tipe pekerjaan pemindahan tanah, dapat dibagi sebagai berikut :

- a. Pembersihan lokasi, pembongkaran dan pengikisan lapisan atas.
- b. Penggalian transis dan pondasi
- c. Penggalian dan pencabutan sebagai besar material

6.8. CONTOH PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN PEKERJAAN TANAH

Dibawah ini akan ditunjukkan contoh sederhana tentang perencanaan pekerjaan tanah dan pemadatan, bersama dengan pemecahan pelaksanaan sebuah kontrak.

6.8.1. PEMINDAHAN TANAH

Lokasi pekerjaan berukuran lebar 150 m dan panjang 250 m, yang akan dikembangkan untuk perumahan. Pekerjaannya meliputi stripping dari top soil, reducing site level dan removing material dari lokasi. Berikut ini jumlah material yang digali dan dipindahkan :

Clay	= 18 125 m ³
Topsoil	= 10 000 m ³
Total	= 28 125 m ³

Lokasi dianggap rata dan jalan masuk (access) baik. Daerah bebas yang dapat digunakan sepanjang 3.0 km. Waktu dilaksanakan pada awal musim summer dan diperkirakan selesai selama 10 minggu. Waktu produksi dibatasi 40 jam per minggu.

Perubahan volume padat ke gembur, mengikuti pola berikut :

Loose volume = bulking factor x bank volume

Karenanya :

Loose volume clay = $1.3 \times 18.125 = 23.562 \text{ m}^3$

Loose volume topsoil = $1.45 \times 10.000 = 14.500 \text{ m}^3$

Total loose volume = 38.062 m^3

Pilihan dari estimator adalah menggunakan alat penggalian jenis tracked forward loader dengan kapasitas 1,53 m³, dan angkutan lori berkapasitas 14 M³ (20 t).

Bucket fill factor = 0,8 (80 % dari kapasitas)

Load per cycle = $0,8 \times 15,3 \text{ m}^3 = 1,22 \text{ m}^3$

Jumlah kali muat per 14 m³ lori = $\frac{14}{1,22} = 11,5 \approx 12$

Satuan waktu muat loader = 0,8 menit/load (dari manufacture alat)

Total load time per lori = $12 \times 0,8 \text{ menit} = 9,6 \text{ menit}$

Tambahkan 2 menit untuk gerakan lori keposisinya, sehingga :

Total load time = $9,6 + 2 = 11,6 \text{ menit}$

Output per loader dengan 40 jam per minggu dan bekerja 50 menit/hour, menjadi :

$$= 40 \times \frac{50}{11,6} \text{ loads/week} = 172 \text{ load/week}$$

$$= 2408 \text{ m}^3/\text{week}$$

Total waktu yang dibutuhkan untuk satu loader :

$$= \frac{38.062}{2.408} \text{ minggu}$$

$$= 15,8 \text{ minggu}$$

Jadi untuk melaksanakan pekerjaan untuk waktu yang idsyaratkan, harus digunakan 2 loader, sehingga pekerjaan selesai 8 minggu.

Perubahan pekerjaan lori per cycle menjadi :

Pengerakan lori keposisi	= 2,0	menit
Waktu muat	= 9,6	menit
Masuk dan keluar lokasi	= 1,0	menit
Perjalanan 2,5 km dengan waktu tempuh 30 km/h	= 10,0	menit
Waktu putar (tipping time)	= 3,0	menit
Total waktu	= 25,6	menit

$$\text{Jumlah lori yang dibutuhkan per loader} = \frac{25,6}{11,6} = 2,2$$

$$\text{Total lori yang dibutuhkan} = 4,4$$

Jadi kebutuhan peralatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan persyaratan adalah 2 loader dengan 5 lori.

6.8.2. PEMADATAN

Sebuah embankment berbetuk seri dibangun dengan rockfill dan butiran tanah dengan gradasi baik. Dari perhitungan perencanaan

diperlukan material sejumlah 15.000 m³ s/d 22.000 m³ per minggu. Type peralatan yang digunakan adalah Roller. Kedua material dapat dipadatkan bersama-sama, dengan menggunakan vibrating rollers. Oleh karenanya dari penyelidikan lebih mendalam diidentifikasi untuk menggunakan towed roller dan self propelled double drum roller.

Spesifikasi dari kedua roller tersebut seperti ditunjukkan dalam tabel 5. Kecepatan operasi peralatan adalah 1,5 - 2,5 km/h (rata-rata 2,0 km/h) dan overlap 0,15 m, setiap sisi dari roll pada setiap lintasan.

Tabel 5:

	Towed Roller	Self propelled double drum roller
Roller width	2,08 m	2,03 m
Weight/m width roller	5600 kg/m	3000 kg/m

Ketebalan maksimum dari pemadatan dalam jumlah minimum lintasan ditentukan dalam specification on compaction (DTp), seperti tabel 5.

Tabel 6

	Towed Roller	Self propelled double drum roller
Maximum thickness of compacted soil	275 mm	200 mm
Minimum number of passes	4	2

Perhitungan untuk Towed roller

$$\begin{aligned}
 \text{Luas pelayanan} &= \text{efektif roller} \times \text{kecepatan} \\
 &= (2,08 - 0,3) \times 1.000 \text{ m}^2/\text{h} \\
 &= 3.560 \text{ m}^2/\text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total produksi/h} &= \frac{3560 \times 0,275}{4} \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 244,75 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\text{Total produksi/minggu} = 244,75 \times 54 = 13.217 \text{ m}^3/\text{minggu}$$

Produksi ini belum diperhitungkan upah untuk pekerjaan lebih kecil dari efisiensi puncak, mulai, putaran, breakdown dsbnya.

Koreksi diperlukan 60 % dari efisiensi kerja.

$$\begin{aligned} \text{Jadi koreksi produksi/minggu} &= 13.217 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{minggu} \\ &= 7930 \text{ m}^3/\text{minggu} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk self propoled roller

$$\begin{aligned} \text{Luas yang dapat dilayani} &= (2,03 - 0,3) \times 2,0 \times 1000 \text{ m}^2/\text{h} \\ &= 3.460 \text{ m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total produksi/h} &= \frac{3460 \times 0,2}{2} \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 18.684 \text{ m}^3/\text{minggu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi produksi/minggu} &= 18.684 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{minggu} \\ &= 11.210 \text{ m}^3/\text{minggu} \end{aligned}$$

Untuk mencapai produksi puncak dibutuhkan salah satu dari dua kemungkinan diatas, yaitu menggunakan 2 self propelled tandem roller atau 3 towed vibrating roller.

Dalam kasus ini unit cost dari operasi towed roller (termasuk crawler tractor) adalah 1,4 x tandem roller. Dan penting untuk faktor keamanan adalah lebih baik menggunakan 2 tandem roller. Jika pekerjaan menyebar untuk beberapa embankment, dimana roller harus bergerak dari satu daerah ke daerah lain, ini lebih ekonomis apabila menggunakan 2 towed roller.

DAFTAR PUSTAKA

1. Craig, R.F., Susilo S, Budi., MEKANIKA TANAH, Penerbit Erlangga 1989.
2. Horner, P.C., ERTWORKS., ICE Works Construction Guides, Thomas Telford, London, 1988.
3. Lee, Ian K., at all., GEOTECHNICAL ENGINEERING., Pitman Publishing, London 1983.
4. Santoso, Joko., at all., PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PERHITUNGAN STABILITAS LERENG., Laporan Penelitian No 11110191., Institut Teknologi Bandung, 1991.
5. Terzaghi, Karl, B. Peck, Ralph., MEKANIKA TANAH DALAM PRAKTEK REKAYASA, Penerbit Erlangga, 1987.
6. Wesley, L.D., MEKANIKA TANAH, Cetakan ke VI 1977, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
7. W, Herianto., ANALISA KESTABILAN LERENG, 1983.