

BAB VI

ANALISIS HASIL PENELITIAN

6.1 Tinjauan Umum

Dalam analisis stabilitas lereng menggunakan program geo-slope, angka keamanan (SF) dihitung dengan memasukkan data parameter-parameter tanah dan geometri lereng yang akan dianalisis. Dari data parameter tersebut, penulis dapat mengetahui kecenderungan perilaku lereng akibat pengaruh kemiringan, elevasi muka air tanah, dan jarak pembebanan pada puncak lereng, yang ditunjukkan dengan perubahan *slip surface* dan *safety factor*.

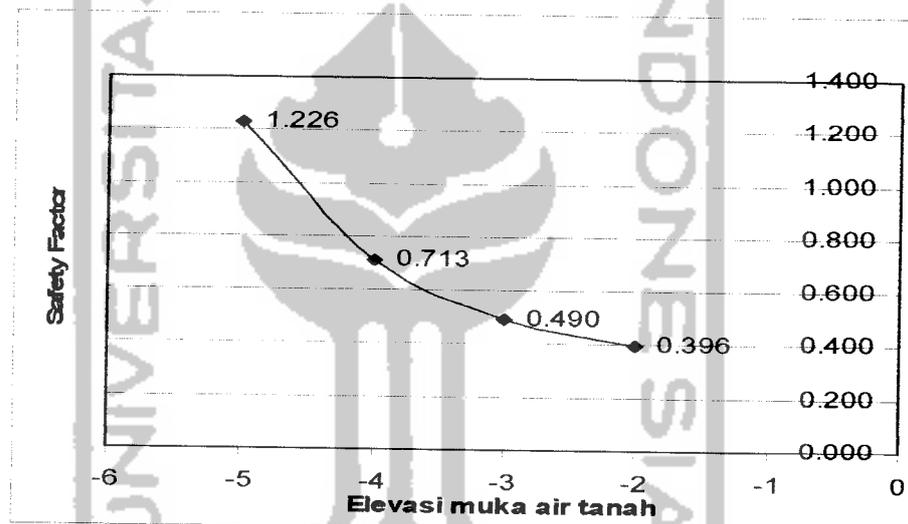
6.2 Analisis Angka Keamanan terhadap Pengaruh Elevasi Muka Air Tanah

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh elevasi muka air tanah terhadap angka keamanan pada lereng, maka dilakukan pemodelan dengan variabel elevasi muka air tanah pada lereng yang mempunyai kemiringan 50° . Dalam hal ini bagian lereng yang jenuh bertambah akibat turunnya hujan, sedangkan pada bagian bawah atau kaki lereng tidak terjadi penggenangan. Intensitas hujan yang tinggi dengan durasi yang lama dapat menyebabkan bagian lereng yang jenuh menjadi bertambah dan dapat memicu terjadinya longsor. Elevasi muka air tanah dapat pula ditunjukkan sebagai *piezometric line*, dinaikkan tiap 1 meter sehingga diperoleh perbedaan angka keamanannya. Penelitian tersebut menghasilkan nilai faktor keamanan yang tercantum dalam tabel 6.1.

Tabel 6.1 Pengaruh naiknya elevasi muka air tanah terhadap *safety factor*

muka air tanah	<i>Safety factor</i>
-5	1.226
-4	0.713
-3	0.490
-2	0.396

Sedangkan trend angka keamanan (*safety factor*) terhadap kemiringan lereng dapat dilihat pada grafik 6.1 di bawah ini.



Grafik 6.1 Hubungan antara *safety factor* dan elevasi muka air tanah

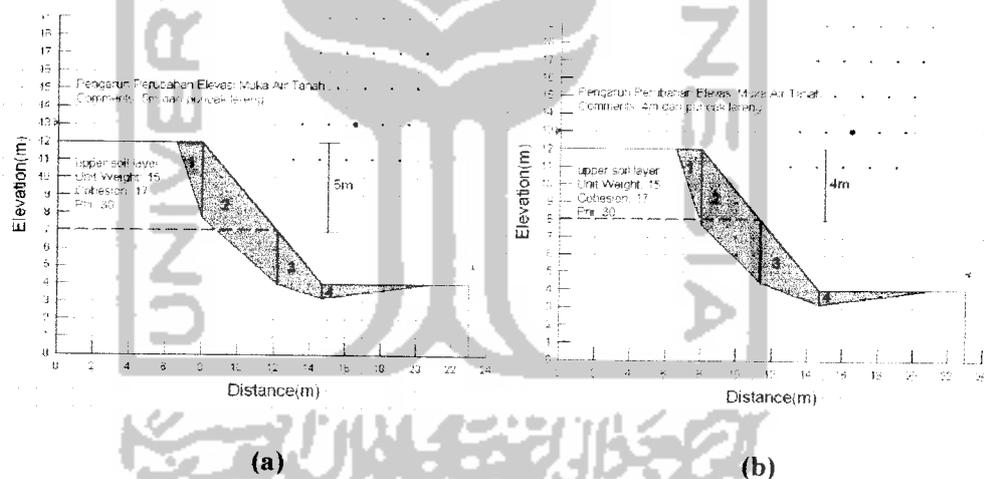
Pada grafik 6.1 dapat diketahui bahwa angka keamanan menurun dengan naiknya elevasi muka air tanah. Sesuai dengan yang tertulis pada bab II (Tinjauan Pustaka), bahwa *safety factor* didefinisikan sebagai perbandingan antara *shear strength* (kuat geser) dengan *shear stress* (tegangan geser).

$$SF = \frac{\text{shear strength}}{\text{shear stress}}$$

Jika elevasi muka air tanah naik, maka secara umum *shear strength* akan menurun akibat naiknya tekanan air pori, sedangkan *shear stress* akan bertambah akibat naiknya massa tanah pada lereng karena proses penjumlahan.

6.2.1 Analisis pengaruh elevasi muka air tanah terhadap tegangan normal

Jika elevasi muka air tanah naik, maka bagian lereng yang jenuh akan bertambah, karena air akan mengisi pori-pori tanah sehingga lereng menjadi bertambah berat. Hal ini akan berpengaruh terhadap gaya-gaya yang terjadi di sepanjang *slip surface* lereng, yaitu tegangan normal (N), tegangan tangensial (T), dan berat (W). Pengaruh naiknya elevasi muka air tanah terhadap gaya-gaya tersebut diilustrasikan oleh model lereng di bawah ini:



Gambar 6.1 Kenaikan elevasi muka air tanah pada lereng (a) kedalaman -5 m, (b) kedalaman -4 m

Pada gambar 6.1a, elevasi muka air tanah pada lereng adalah -5 m. Akibat turunnya hujan, maka elevasi muka air tanah naik pada kedalaman -4 m dari puncak lereng (gambar 6.1b). Akibat naiknya elevasi muka air tanah, bagian lereng yang jenuh bertambah, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6.1a dan 6.1b

di atas. Pada model lereng yang sama, jika elevasi muka air tanah naik, maka gaya berat (W) akan lebih besar pada model lereng dengan elevasi muka air tanah -4 meter, karena $\gamma_{sat} > \gamma_b$.

Jika W bertambah besar, maka tegangan normal (N) dan tegangan tangensial (T) bertambah besar

$$N = W \cos \alpha$$

$$T = W \sin \alpha$$

sedangkan besar tegangan normal total σ :

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{dengan } A \text{ adalah luas tampang slice}$$

Dalam analisis stabilitas lereng yang dipengaruhi oleh air tanah atau rembesan, tegangan normal yang dipakai adalah tegangan normal efektifnya (σ');

$$\sigma' = \sigma - u$$

dengan σ' = tegangan normal efektif

σ = tegangan normal total

u = tekanan air pori

Dari penelitian yang dilakukan dengan *software* geo-slope terhadap kedua lereng pada gambar 6.1 di atas, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 6.2 Perhitungan model lereng pada gambar 6.1a

Slice	ΔL_n	α_n	W	N	T	PWP	U	N-U
1	4.5074	71.236	62.202	20.009	71.869	0	0	20.009
2	5.6322	41.855	263.13	195.989	126.080	16.718	94.159	101.830
3	2.643	17.905	76.368	72.669	27.604	34.665	91.620	-18.950
4	6.2058	7.7652	84.593	83.817	12.710	39.06	242.399	-158.581
	18.988				238.263			-55.693

$$SF = \frac{17 \times 18,988 + (-55,693) \tan 30^\circ}{238,263} = 1,220$$

Tabel 6.3 Perhitungan model lereng pada gambar 6.1b

<i>Slice</i>	ΔL_n	α_n	W	N	T	PWP	U	N-U
1	4.5074	71.236	62.202	20.009	98.350	0	0	20.009
2	4.7121	44.585	217.05	154.585	119.400	22.886	107.841	46.744
3	3.4839	20.634	119.73	112.049	40.504	43.185	150.452	-38.403
4	6.2058	7.7652	84.593	83.817	22.159	49.031	304.277	-220.459
	18.909				280.413			-192.110

$$SF = \frac{17 \times 18,909 + (-192,110) \tan 30^\circ}{280,413} = 0,751$$

keterangan:

ΔL_n = panjang dasar tiap *slice*

α_n = sudut kemiringan tiap *slice*

W = berat tiap irisan

N = tegangan normal total

T = tegangan tangensial

PWP = *pore water pressure*

U = *pore water force*

N-U = tegangan normal efektif

c = kohesi

$$SF = \frac{(cx\Delta L_n) + (N - U) \tan \phi}{T}$$

Dari tabel 6.2 dan 6.3 di atas tampak bahwa pada geometri lereng yang sama, lereng dengan elevasi muka air tanah -4 m lebih berat dibandingkan lereng dengan elevasi muka air tanah -5 m. Akibatnya, tegangan normal dan tangensial yang terjadi di sepanjang *slip surface* akan mengalami peningkatan. Selain itu, akibat naiknya elevasi muka air tanah, tegangan air pori (*pore water pressure*) akan meningkat, sehingga tegangan normal efektif (σ') dan *shear strength* akan berkurang, sebaliknya *shear stress* akan meningkat di sepanjang *slip surface*. Akibat berkurangnya *shear strength* dan meningkatnya *shear stress*, maka *safety factor* menurun.

Selain itu air juga akan mengisi pori diantara butiran-butiran tanah dan akan mengikis sedimen yang ada di sekitar butiran tanah, akibatnya kontak antarbutiran tanah akan berkurang dan pergelinciran material penyusun lereng semakin mudah terjadi. Sedangkan *shear stress* akan meningkat akibat bertambahberatnya *slice* akibat bertambahnya bagian tanah yang jenuh. Dari analisis di atas, ternyata elevasi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap *shear strength* dan *shear stress* pada suatu lereng.

Pada tanah granular, sudut gesek dalam (ϕ), secara umum akan bertambah besar jika gradasi dan kekasaran partikel tanah baik, serta kerapatan relatifnya (*relative density*) bertambah. Kerapatan relatif sangat dipengaruhi oleh air tanah. Sedangkan pada tanah lempung (*clay*), kuat geser sangat bergantung pada sejarah tegangan yang pernah dialaminya, yaitu lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dan terkonsolidasi berlebihan (*over consolidated*). Harga ϕ secara umum akan berkurang jika indeks plastisitas meningkat. Indeks

plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, karena itu indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah (Atterberg, 1911). Jika tanah mempunyai indeks plastisitas tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran/fraksi lempung. Dari batasan yang diberikan oleh Atterberg (1911) mengenai indeks plastisitas, sifat, dan macam tanah, dapat diketahui bahwa tanah pasir mempunyai indeks plastisitas rendah (0), sifatnya non-plastis dan non-kohefif. Sedangkan tanah lempung mempunyai indeks plastisitas tinggi dan bersifat kohefif.

Kohesi tanah bergantung pada jenis tanah, yaitu tanah pasir atau lempung. Maka secara umum kohesi tanah tidak mengalami perubahan selama penjenuhan, tetapi dalam jangka waktu relatif lama proses penjenuhan dapat menghancurkan ikatan kohesi dan mengikis mineral-mineral penyusun tanah pada lereng, akibatnya kuat geser akan berkurang. Secara signifikan, menurunnya kohesi dan kuat geser tanah akibat proses penjenuhan dapat dilihat pada tanah lempung yang sangat dipengaruhi oleh air asin (*marine*).

Pengaruh naiknya elevasi muka air tanah pada lereng dapat dijelaskan oleh rumus Coulomb berikut ini:

$$\tau = c + \sigma' \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{Coulomb, 1776})$$

atau

$$\tau = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

dengan:

$$\tau = \text{kuat geser tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$c = \text{kohesi tanah (kN/m}^2\text{)}$$

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

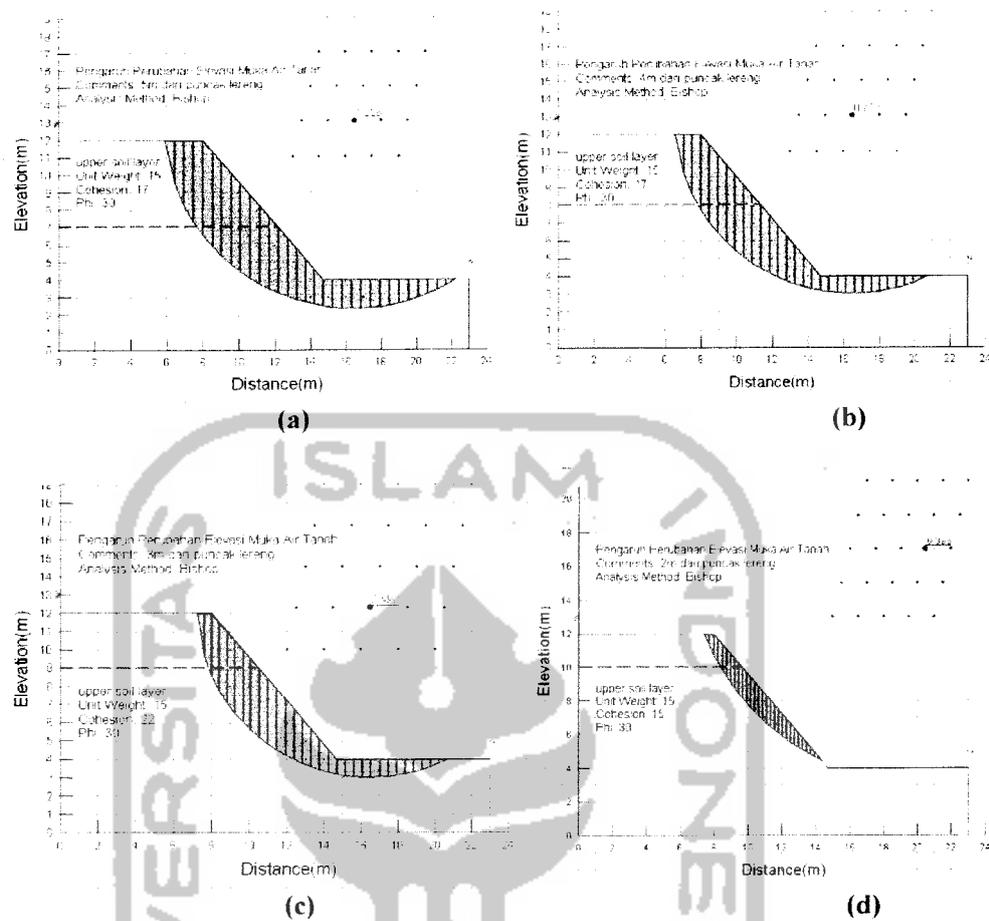
σ' = tegangan normal efektif pada bidang runtuh (kN/m^2)

u = tegangan air pori (kN/m^2)

Sedangkan *shear stress* akan meningkat dengan naiknya elevasi muka air tanah. Hal ini dikarenakan pori-pori tanah akan terisi air selama proses penjenruhan, sehingga massa tanah akan bertambah berat dan massa tanah tersebut akan mempunyai kecenderungan bergerak ke bawah (*driving force* akan meningkat) akibat adanya pengaruh gaya gravitasi, dengan demikian lereng menjadi tidak stabil sehingga akan mengalami kelongsoran (Hunt, 1986).

6.2.2 Analisis perubahan *slip surface* akibat naiknya elevasi muka air tanah

Safety factor dapat pula diartikan sebagai perbandingan antara *resisting moment* dan *driving activating moment*. Jika elevasi muka air tanah naik maka lereng akan membentuk *slip surface* baru yang lebih memungkinkan untuk terjadinya longsor. Bidang longsor tersebut biasanya lebih pendek dan dangkal dengan massa tanah longsor yang lebih kecil pula. Perubahan panjang *slip surface* dan massa tanah yang longsor akibat pengaruh naiknya elevasi muka air tanah dapat dilihat pada gambar 6.2 di bawah ini:



Gambar 6.2 Perubahan panjang *slip surface* akibat perubahan elevasi muka air tanah; (a) -5 m, (b) -4 m, (c) -3 m, (d) -2 m.

Panjang tiap *slip surface* akibat variabel elevasi muka air tanah dapat dilihat pada

Tabel 6.4 di bawah ini:

Tabel 6.4 Pengaruh elevasi muka air tanah terhadap panjang *slip surface*

<i>Water Level</i> (m)	Panjang <i>Slip Surface</i> (m)	Total Massa (kN/m ²)	α_n Rata-rata (deg)
-5	21.78723	661.7	15.843
-4	19.20838	456.14	18.547
-3	18.61246	399.28	19.739
-2	10.52024	133.98	44.163

Dari gambar 6.2 dan tabel 6.4 di atas tampak bahwa semakin tinggi elevasi muka air tanah pada lereng, *slip surface*-nya semakin pendek dengan massa tanah (W) yang longsor kecil. Untuk melihat pengaruh panjang *slip surface* dan massa tanah yang longsor pada *safety factor* dapat diterangkan dengan rumus analisis stabilitas lereng berdasarkan metode irisan, seperti yang telah tertulis pada landasan teori dari penelitian ini:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c\Delta l_n + W_n \cos \alpha_n \cdot \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

dengan Δl_n = panjang dasar tiap *slice*

W_n = berat tiap *slice*

α_n = sudut antara W_n dan garis normal

Dari rumus SF di atas, *shear strength* akan berkurang jika *slip surface* semakin pendek karena kohesi yang terjadi di sepanjang *slip surface* pun menjadi kecil. Sedangkan gaya normal akan dipengaruhi oleh W_n dan α_n , semakin besar α_n yang terjadi, maka *driving force* akan semakin besar sebaliknya *resisting force*-nya menurun (nilai sinus semakin besar, sedangkan nilai cosinus berkurang).

Dari pembahasan di atas, tampak bahwa jika elevasi muka air tanah pada lereng naik, maka lereng akan membentuk *slip surface* baru yang merupakan lokasi yang paling memungkinkan untuk terjadinya *slip*. *Slip surface* yang baru terbentuk itu mempunyai panjang lintasan yang lebih pendek dengan kemiringan yang relatif besar dan massa yang lebih kecil dibanding dengan *slip surface* sebelumnya, seperti yang tampak pada tabel 6.3 di atas, akibatnya akan terjadi

penurunan *resisting moment*, sedangkan *driving moment* akan mengalami peningkatan. Jika elevasi muka air tanah terus dinaikkan, maka *resisting moment* terus menurun sampai di bawah *driving moment*-nya, sehingga perbandingan antara *resisting moment* dengan *driving moment*-nya kurang dari satu ($SF < 1$). Telah disebutkan sebelumnya bahwa *resisting moment* akan berkurang dikarenakan tegangan normal efektif di sepanjang permukaan bidang runtuh yang berkurang karena meningkatnya tegangan air pori, sedangkan *driving moment* bertambah akibat bertambahnya massa tanah karena proses penjumlahan. Besarnya *resisting moment* dan *driving moment* yang terjadi pada setiap model lereng akibat pengaruh naiknya elevasi muka air tanah dapat dilihat pada tabel 6.4 berikut ini:

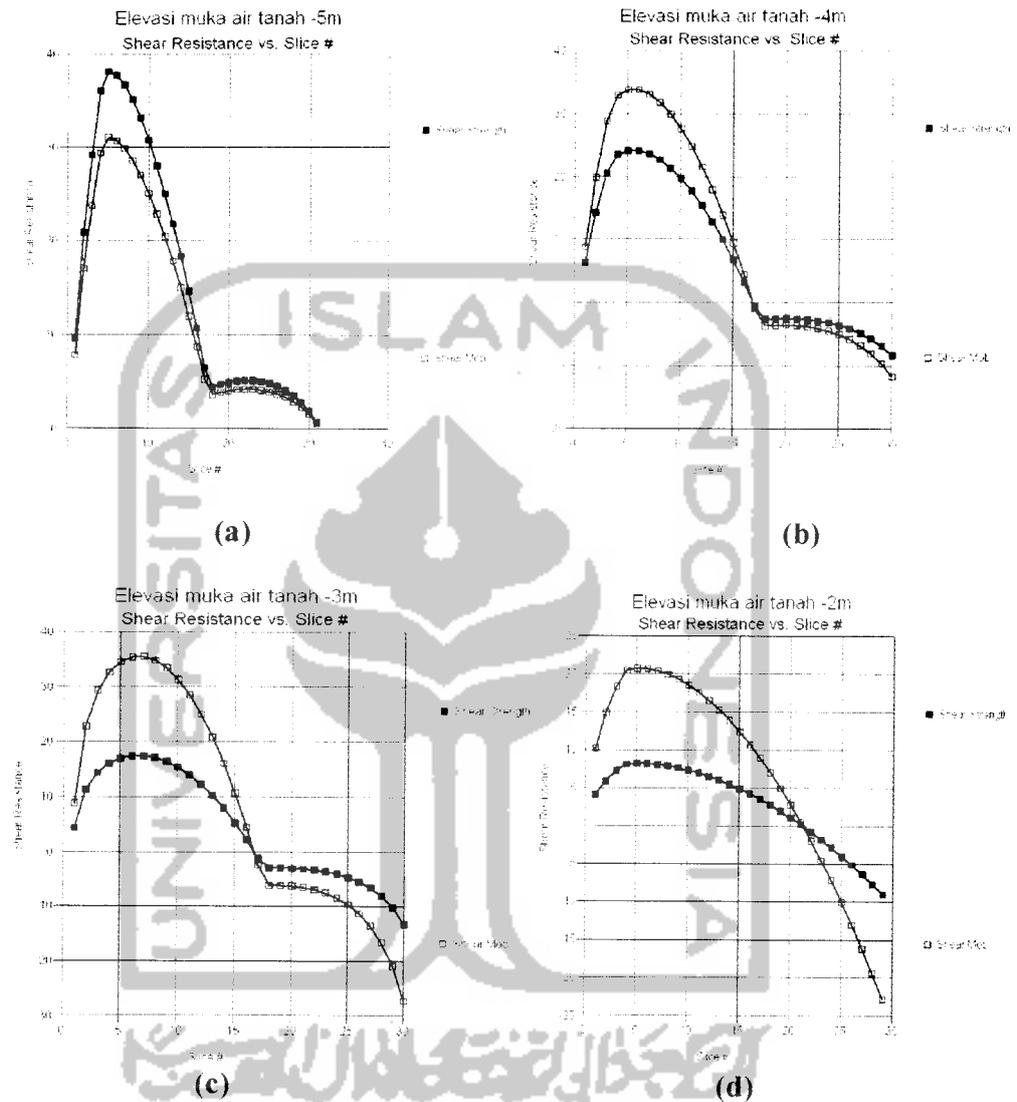
Tabel 6.5 Pengaruh elevasi muka air tanah terhadap *resisting moment* dan *driving moment*

Lereng	Water Level (m)	Resisting Moment (kN.m)	Driving Moment (kN.m)	Safety Factor = RM/DM
1	-5	3929.1	3204.9	1.226
2	-4	1694.8	2375.6	0.713
3	-3	943.01	1923.9	0.490
4	-2	534.41	1348.4	0.396

6.2.3 Analisis tipe-tipe keruntuhan akibat naiknya elevasi muka air tanah

Akibat berkurangnya *shear strength* dan bertambahnya *shear stress*, maka *slip surface* semakin pendek dan *safety factor* semakin kecil, pada kondisi tersebut lereng akan semakin mudah longsor. Besarnya *shear strength* dan *shear*

stress yang terjadi pada tiap irisan (*slice*) untuk masing masing model lereng dapat dilihat pada grafik 6.2 di bawah ini.



Grafik 6.2 Besarnya *shear resistance* yang terjadi pada tiap *slice*

Pada grafik 6.2 di atas terlihat bahwa besarnya *shear strength* dan *shear stress* sebanding dengan berat tanah pada tiap irisan (*slice*). Daerah di sekitar kaki lereng merupakan daerah kritis. Apabila daerah disekitar kaki lereng ini tidak cukup kuat menahan beban di atasnya maka keruntuhan akan terjadi di sepanjang

suatu permukaan yang terletak di bawah ujung kaki lereng, keruntuhan semacam ini disebut keruntuhan dasar lereng (*base slope failure*), seperti yang ditunjukkan pada grafik 6.2a, 6.2b, 6.2c. Sedangkan apabila daerah di sekitar kaki lereng cukup kuat menahan beban di atasnya maka keruntuhan akan terjadi di sepanjang bidang yang memotong kemiringan lereng atau di atas kaki lereng, keruntuhan ini disebut keruntuhan lereng dangkal (*shallow slope failure*), seperti yang ditunjukkan pada grafik 6.2d di atas.

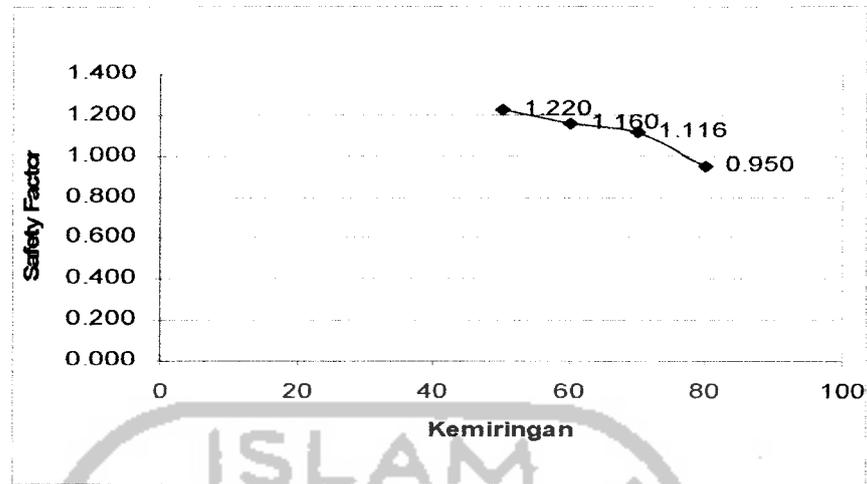
6.3 Analisis Angka Keamanan terhadap Pengaruh Kemiringan Lereng

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kemiringan lereng terhadap angka keamanan, maka dilakukan pemodelan dengan variabel sudut kemiringan lereng. Penelitian tersebut menghasilkan beberapa nilai faktor keamanan yang tercantum dalam Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Pengaruh sudut kemiringan lereng terhadap *safety factor*

Kemiringan	<i>safety factor</i>
50	1.220
60	1.160
70	1.116
80	0.950

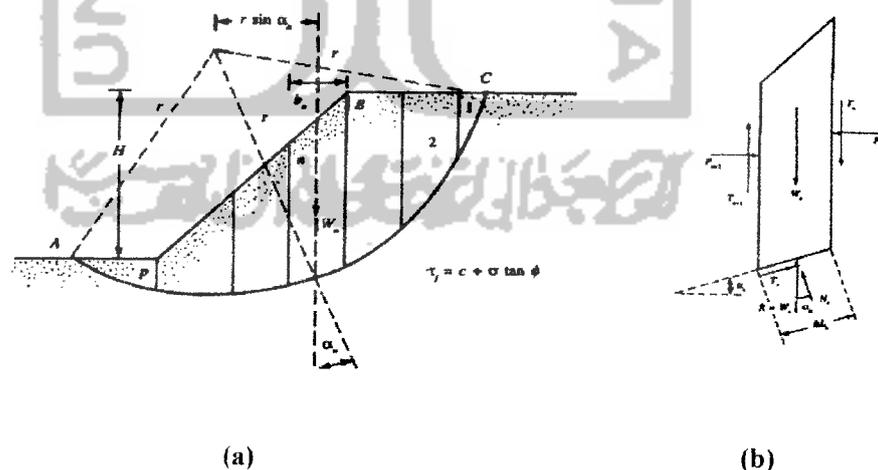
Sedangkan *trend safety factor* terhadap pengaruh kemiringan lereng dapat dilihat pada grafik 6.3 di bawah ini.



Grafik 6.3 Hubungan antara *safety factor* dan sudut kemiringan lereng

Pada grafik 6.3 dapat dilihat bahwa angka keamanan (*safety factor*) menurun dengan bertambahnya sudut kemiringan lereng.

Sesuai dengan yang tertulis pada bab II (Tinjauan Pustaka), bahwa. Pada analisis stabilitas lereng, lereng dibagi-bagi menjadi beberapa irisan (*slice*) seperti yang tampak pada gambar 6.3. Untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada tiap *slice*, dapat ditinjau salah satu *slice* yang ada pada lereng tersebut:



Gambar 6.3. (a) Analisis stabilitas lereng dengan metode irisan. (b) gaya yang bekerja pada irisan nomor n (Das, 1985).

Pada *slice* tersebut bekerja gaya berat yang besarnya, $W = (\text{volume slice}) \times (\text{berat unit tanah})$. Akibat berat elemen tanah ini, akan menyebabkan bekerjanya gaya-gaya yang tegak lurus dan sejajar (parallel) terhadap bidang runtuh (*slip surface*).

1. Gaya yang tegak lurus bidang runtuh adalah $N = W \cos \alpha_n$
2. Gaya yang parallel terhadap bidang runtuh adalah $T = W \sin \alpha_n$. Gaya T ini cenderung menyebabkan kelongsoran di sepanjang bidang runtuh.

Untuk melihat pengaruh sudut kemiringan ditinjau dari ilmu mekanika, maka dilakukan analisis terhadap sebuah *slice* seperti tampak pada gambar 6.4 di bawah ini:



Gambar 6.4 Gaya-gaya yang bekerja pada dasar sebuah *slice* (Das, 1985).

Jika berat *slice* diambil 40 kN/m^2 , tanpa pengaruh muka air tanah dan sudut α_n diambil mulai dari 50° , 60° , 70° dan 80° , maka besarnya *resisting force* (N_r) dan *driving force* (T_r) yang terjadi pada *slice* tanah tersebut dapat dilihat pada tabel 6.7 di bawah ini:

Tabel 6.7 Besarnya *resisting force* dan *driving force* pada dasar suatu *slice*

Sudut kemiringan α_n (deg)	<i>Resisting Force</i> (N_r) $=Wn \cos \alpha_n$ (kN/m ²)	<i>Driving Force</i> (T_r) $=Wn \sin \alpha_n$ (kN/m ²)
50 ⁰	25.712	30.642
60 ⁰	20.000	34.641
70 ⁰	13.681	37.588
80 ⁰	6.946	39.392

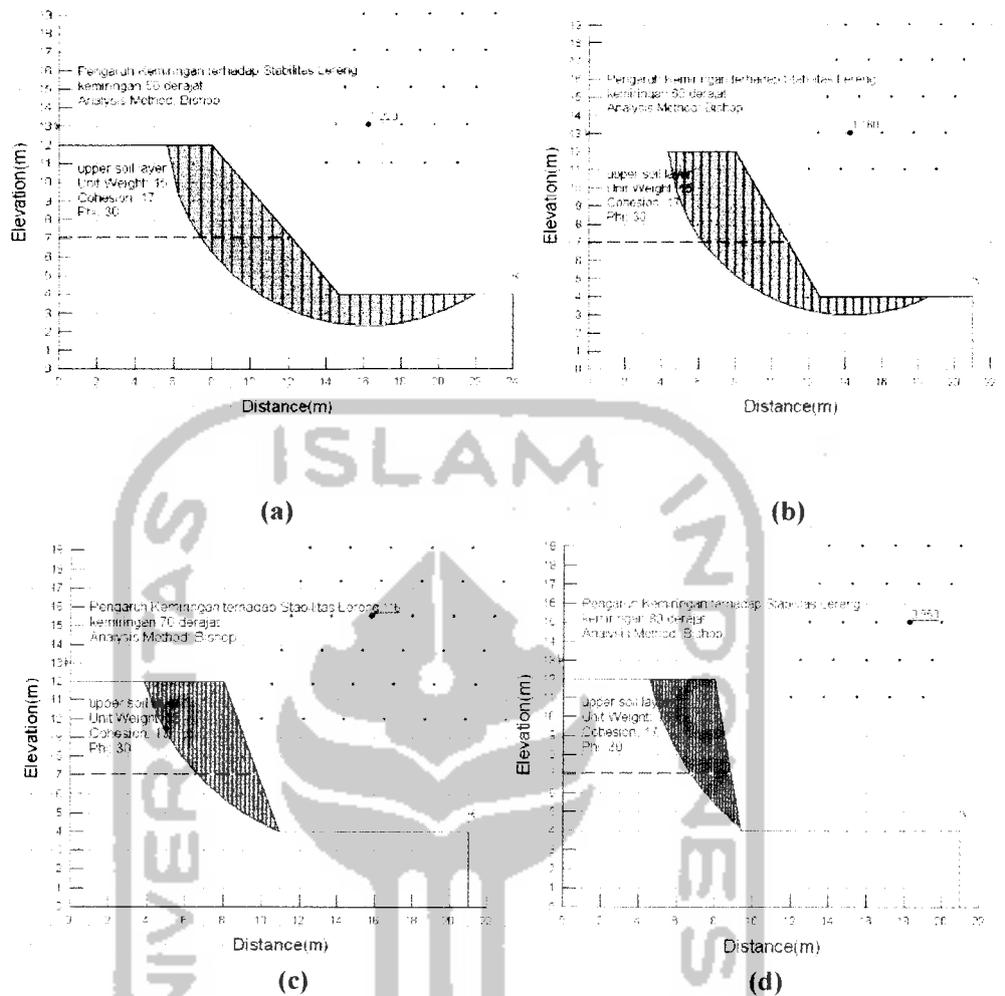
Dari tabel 6.7 dapat diketahui bahwa bertambahnya sudut kemiringan pada dasar tiap *slice* akan menyebabkan menurunnya *resisting force*, sebaliknya *driving force* akan meningkat. Oleh karena itu keruntuhan lereng sering kali terjadi akibat bertambahnya sudut kemiringan lereng.

Tegangan normal σ dan tegangan geser τ yang terjadi pada dasar irisan (*slice*) menurut ilmu mekanika adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{N_r}{A} \quad \text{dan} \quad \tau = \frac{T_r}{A}$$

dengan A adalah luas penampang irisan (*slice*). Tegangan normal σ berbanding lurus dengan gaya N_r . Semakin besar sudut kemiringan α_n , gaya N_r semakin kecil, akibatnya tegangan normal σ berkurang. Sedangkan tegangan geser τ semakin besar jika sudut kemiringan α_n bertambah besar dikarenakan gaya T_r semakin besar pula. Maka pada kondisi batas kemiringan tertentu, tegangan normal σ tidak mampu menahan tegangan geser τ yang terjadi, akibatnya lereng akan mengalami keruntuhan (*failure*).

Pengaruh sudut kemiringan terhadap panjang *slip surface* dan massa tanah yang runtuh diilustrasikan oleh gambar 6.5 di bawah ini.



Gambar 6.5 Pengaruh perubahan kemiringan pada lereng; (a) sudut kemiringan 50° , (b) sudut kemiringan 60° , (c) sudut kemiringan 70° , (d) sudut kemiringan 80°

Pada saat kemiringan lereng berubah menjadi semakin besar (curam), *slip surface* yang terjadi menjadi semakin pendek dan sudut α_n yang terjadi semakin besar, sehingga gaya normal N sebagai *resisting force* menjadi bertambah kecil sesuai dengan rumus $N = W \cos \alpha_n$. Sebaliknya gaya geser T sebagai *driving force* bertambah besar akibat bertambahnya sudut kemiringan lereng. Perubahan panjang lintasan *slip surface*, dan rerata sudut kemiringan pada

dasar *slice* α_n akibat bertambahnya kemiringan lereng dapat dilihat pada tabel 6.8 di bawah ini:

Tabel 6.8 Pengaruh kemiringan terhadap panjang *slip surface*

Kemiringan (deg)	Panjang <i>Slip Surface</i> (m)	α_n Rata-rata (deg)
50 ⁰	21.786	15.516
60 ⁰	19.209	18.580
70 ⁰	10.724	52.434
80 ⁰	9.363	54.790

Dari tabel 6.8 dan gambar 6.4 di atas, tampak bahwa semakin besar sudut kemiringan suatu lereng, *slip surface*-nya semakin pendek sedangkan rerata sudut α_n semakin besar. Akibat berkurangnya panjang *slip surface*, maka kohesi yang terjadi di sepanjang permukaan bidang runtuh menjadi kecil. Selain itu perubahan sudut kemiringan akan berpengaruh pada *resisting moment* dan *driving moment* yang bekerja pada lereng tersebut. Berikut ini adalah besarnya *resisting moment* dan *driving moment* yang terjadi pada setiap model lereng akibat penambahan sudut kemiringan lereng:

Tabel 6.9 Pengaruh kemiringan lereng terhadap *resisting moment* dan *driving moment*

Lereng	Kemiringan (deg)	<i>Resisting Moment</i> (kN.m)	<i>Driving Moment</i> (kN.m)	<i>Safety Factor</i> = RM/DM
1	50 ⁰	4096.2	3357.9	1.220
2	60 ⁰	3654.3	3149.8	1.160
3	70 ⁰	3568.4	3198.4	1.116
4	80 ⁰	2875.9	3026.7	0.950

Pada tabel 6.9 di atas tampak bahwa *safety factor* merupakan perbandingan antara momen yang menahan (*resisting moment*) dan moment yang menyebabkan keruntuhan (*driving moment*). Semakin besar sudut kemiringan lereng, maka *safety factor*-nya semakin kecil.

Sudut kemiringan lereng yang baru setelah terjadinya longsor menurut Culmann (1875) adalah sebagai berikut.

$$\theta_{cr} = \frac{\alpha + \varphi_d}{2}$$

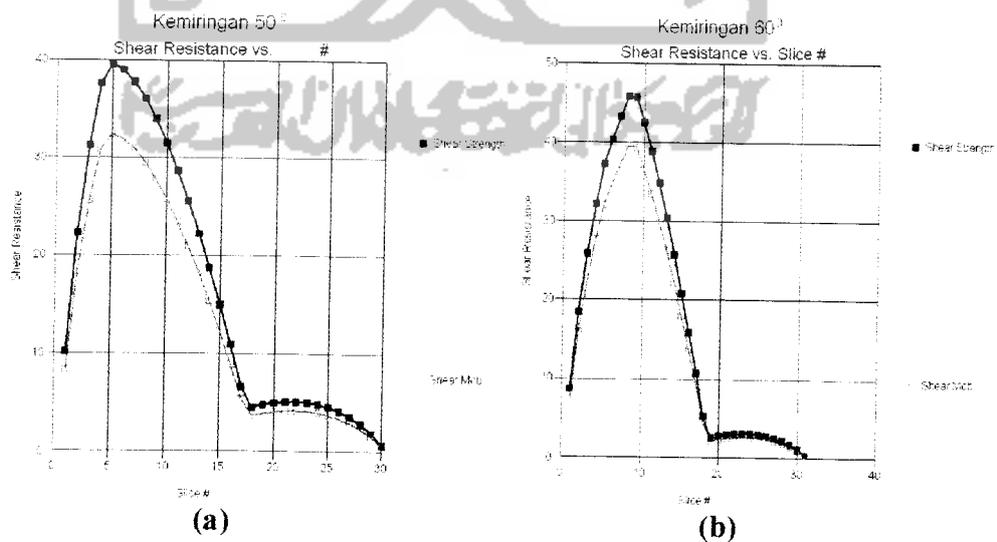
dengan θ_{cr} = sudut baru setelah terjadi keruntuhan

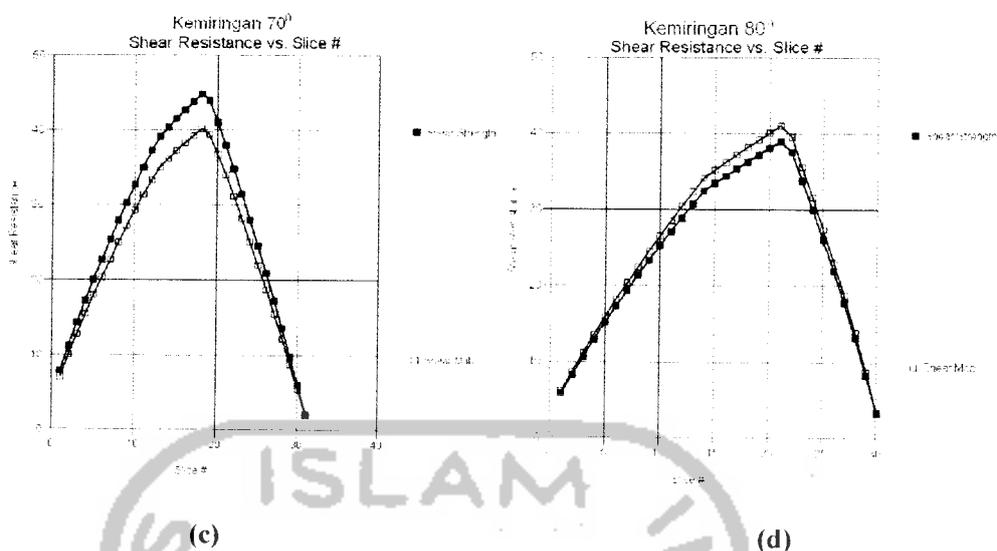
α = sudut lereng sebelum terjadi keruntuhan

φ_d = sudut gesek dalam tanah di sepanjang bidang longsor

6.3.1 Analisis tipe-tipe keruntuhan akibat bertambahnya kemiringan lereng

Besarnya *shear strength* dan *shear stress* yang terjadi pada tiap irisan (*slice*) untuk masing masing model lereng dapat dilihat pada grafik 6.4 di bawah ini.





Grafik 6.4 Besarnya *shear resistance* yang terjadi pada tiap *slice*

Pada grafik di atas terlihat bahwa pada grafik 6.4a dan 6.4b keruntuhan terjadi di sepanjang suatu permukaan yang terletak di bawah ujung kaki lereng, keruntuhan semacam ini disebut keruntuhan dasar lereng (*base slope failure*). Keruntuhan dasar ini terjadi karena daerah di sekitar kaki lereng tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya. Sedangkan pada grafik 6.4c dan 6.4d keruntuhan terjadi di sepanjang bidang yang memotong kemiringan lereng atau diatas kaki lereng, keruntuhan ini disebut keruntuhan lereng dangkal (*shallow slope failure*).

6.4 Analisis Angka Keamanan terhadap Pengaruh Posisi Beban

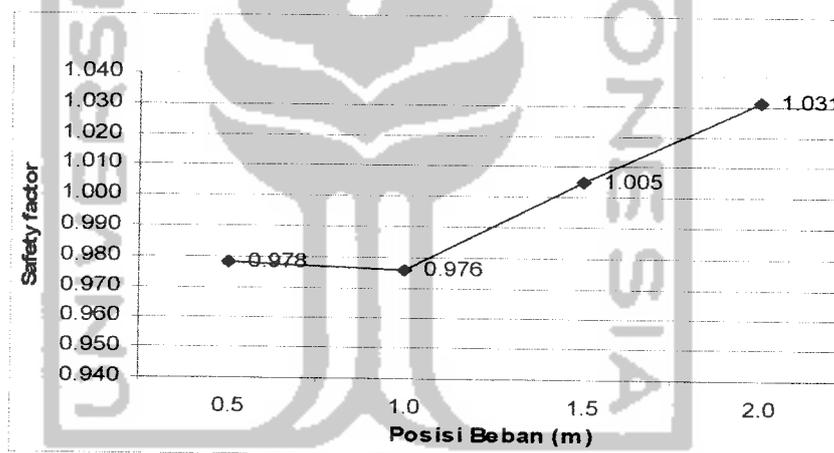
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jarak pembebanan pada tebing lereng terhadap angka keamanan, maka penulis melakukan pemodelan dengan beban titik (*point force*) sebesar 15 kPa yang dikerjakan pada puncak lereng. Beban titik tersebut dapat berupa pondasi tapak (*foot plate*). Beban

dikerjakan mulai dari jarak 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m dan 2,0 m dari tebing lereng untuk mengetahui pengaruhnya pada stabilitas lereng. Penelitian tersebut menghasilkan beberapa nilai faktor keamanan yang tercantum dalam tabel 6.10.

Tabel 6.10 Pengaruh posisi beban terhadap *safety factor*

Posisi beban	<i>safety factor</i>
0.5 m	0.978
1.0 m	0.976
1.5 m	1.005
2.0 m	1.031

Sedangkan trend *safety factor* pada lereng akibat pengaruh jarak pembebanan yang dilakukan penulis dapat dilihat pada grafik 6.5.



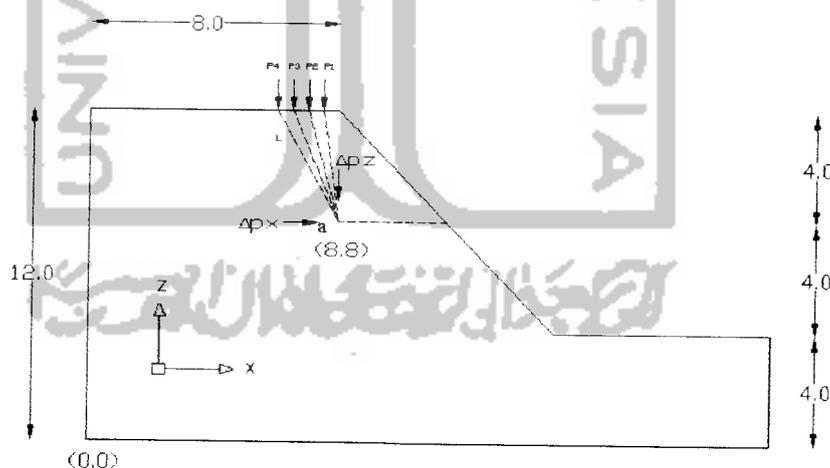
Grafik 6.5 Hubungan antara posisi beban dan *safety factor*

Pada grafik 6.5 dapat dilihat bahwa angka keamanan (SF) akan menurun pada saat beban semakin dekat dengan tebing lereng, pada suatu jarak tertentu, yaitu 1,0 m dari tebing lereng, angka keamanan mempunyai angka minimal, kemudian meningkat secara perlahan-lahan hingga jarak 0 m dari tebing lereng,

tetapi karena peningkatan yang sangat kecil maka *safety factor* pada bentang jarak tersebut (0,0 m - 1,0 m) dapat dianggap konstan.

6.4.1 Analisis tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban terpusat

Beban yang bekerja pada puncak lereng akan menyebabkan timbulnya tegangan normal pada suatu titik yang berada di bawah permukaan tanah tersebut. Semakin jauh beban dari tebing lereng, maka tegangan normal yang terjadi semakin kecil. Tegangan normal dapat terjadi pada 3 arah; arah x, arah y, dan arah z. Analisis tegangan-tegangan yang terjadi pada sembarang titik di bawah muka tanah dengan medium yang homogen, elastis, dan isotropis dapat dilakukan berdasarkan rumus yang dikembangkan oleh Boussinesq (1883). Untuk melihat pengaruh beban terpusat pada stabilitas lereng, diilustrasikan oleh gambar 6.6 di bawah ini.



Gambar 6.6 Pengaruh beban titik pada suatu titik di bawah muka tanah

Jika titik a berada pada koordinat (8,8) atau 4 m di bawah puncak lereng dan y diambil = 0, dengan beban $P= 15$ kPa, maka besarnya tegangan-tegangan yang terjadi pada titik a tersebut dapat dilihat pada tabel 6.11 di bawah ini:

Tabel 6.11 Penambahan tegangan arah horizontal dan vertikal yang diakibatkan oleh beban terpusat

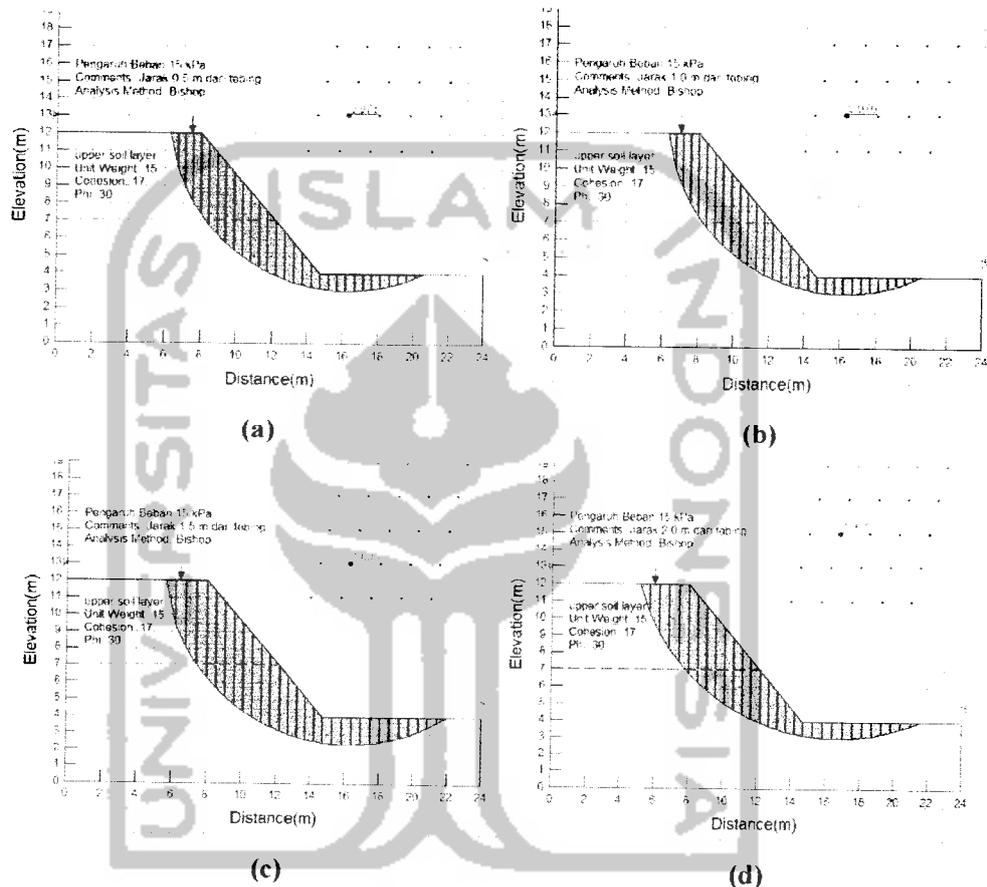
Beban no.	x	y	z	r = x	L	Δp_x	Δp_z
1	0.5	0	4	0.5	4.031	$0.148\mu-0.0671$	0.431
2	1.0	0	4	1.0	4.123	$0.1425\mu-0.0475$	0.385
3	1.5	0	4	1.5	4.272	$0.135\mu-0.0222$	0.322
4	2.0	0	4	2.0	4.472	$0.126\mu+0.00095$	0.256

Dari perhitungan pada tabel 6.11 di atas, tegangan normal dalam arah horizontal (Δp_x) bergantung pada angka Poisson mediumnya, sedangkan tegangan normal arah vertical (Δp_z) tidak tergantung pada angka Poisson. Semakin jauh jarak beban, Δp_x dan Δp_z semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa letak beban pada puncak lereng berpengaruh pada besarnya tegangan normal yang terjadi di dalam lereng. Semakin jauh posisi beban dari tebing lereng *shear stress*-nya akan berkurang, sehingga lereng aman dari keruntuhan (*failure*). Sebaliknya semakin dekat jarak beban terhadap tebing lereng, *shear stress* yang terjadi bertambah besar dan akan menyebabkan kelongsoran pada lereng.

6.4.2 Analisis perubahan *slip surface* akibat pengaruh posisi beban

Safety factor dapat pula diartikan sebagai perbandingan antara *resisting moment* dan *driving/activating moment*. Secara umum, akibat bekerjanya beban pada puncak lereng akan menyebabkan meningkatnya *driving/activating moment*.

Posisi beban tersebut akan sangat menentukan *safety factor* dan *slip surface* yang terjadi. Perubahan panjang *slip surface* pada suatu lereng akibat posisi beban pada lereng dapat dilihat pada gambar 6.7 di bawah ini:



Gambar 6.7 Perubahan *slip surface* akibat perubahan posisi beban pada puncak lereng (a) jarak 0,5m (b) jarak 1,0m (c) jarak 1,5m (d) jarak 2,0m

Panjang tiap *slip surface* akibat posisi beban pada puncak lereng dapat dilihat pada tabel 6.12 di bawah ini:

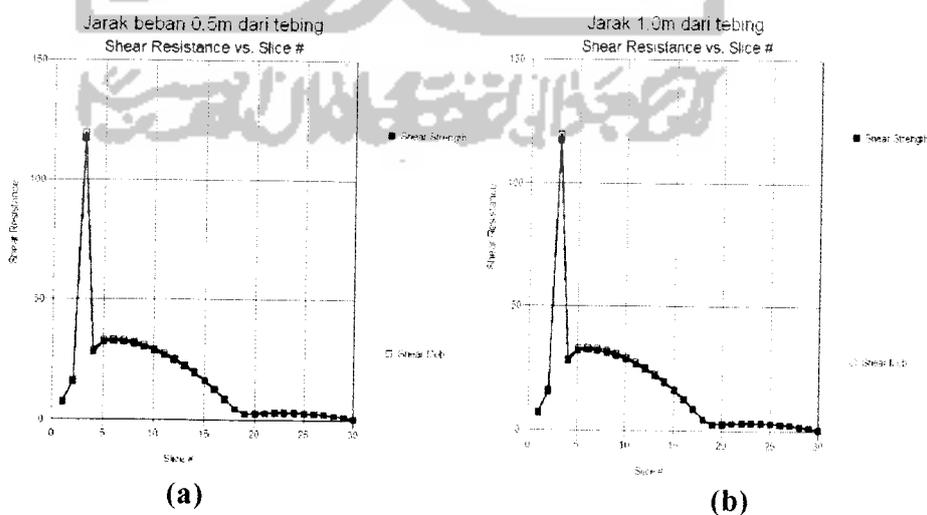
Tabel 6.12 Pengaruh posisi beban terhadap panjang dan kemiringan *slip surface*

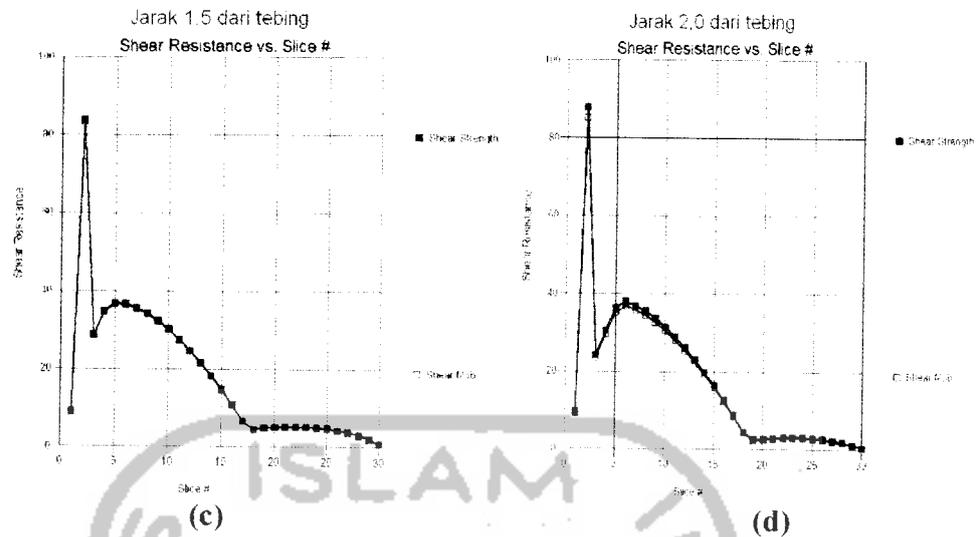
Posisi Beban	Panjang <i>Slip Surface</i>
0,5	19,210
1,0	19,897
1,5	21,786
2,0	21,913

Dari gambar 6.2 dan tabel 6.12 di atas tampak bahwa semakin jauh jarak beban dari tebing lereng, *slip surface*-nya semakin panjang, akibatnya bidang gesek sepanjang *slip surface* tersebut menjadi lebih besar sehingga *shear strength* bertambah besar.

6.4.3 Analisis tipe-tipe keruntuhan akibat jarak beban pada puncak lereng

Jika beban titik dikerjakan pada puncak suatu lereng, maka tepat di bawah beban tersebut akan terjadi peningkatan tegangan normal, seperti yang tampak pada grafik 6.6. Pada *slice* yang dibebani beban titik, tegangan normalnya akan meningkat dengan tajam. Besarnya *shear strength* dan *shear stress* yang terjadi pada tiap irisan (*slice*) untuk masing-masing model lereng dapat dilihat pada grafik 6.6 di bawah ini.





Grafik 6.6 Besarnya *shear resistance* yang terjadi pada tiap *slice*

Pada grafik di atas terlihat bahwa pada grafik 6.6a, 6.6b, 6.6c dan 6.6d keruntuhan terjadi di sepanjang suatu permukaan yang terletak di bawah ujung kaki lereng, keruntuhan semacam ini disebut keruntuhan dasar lereng (*base slope failure*). Keruntuhan dasar ini terjadi karena daerah di sekitar kaki lereng tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya. Pada grafik 6.6 di atas *shear resistance* menjadi meningkat tajam (pada *slice* ke-2 dan ke-3), hal ini dikarenakan pada daerah tersebut bekerja beban titik (*point force*) sebesar 15 kPa yang bekerja pada zona aktif lereng.