



STUDI PENANGANAN KELONGSORAN DI DAERAH EMPAT LAWANG STA PI 13+850

M. Firdaus

*Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas PGRI Palembang
Jalan Jendral A. Yani Lorong Gotong Royong 9/10 Ulu Palembang
Email : m_firdaus_71@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Adanya curah hujan dengan durasi yang lama disertai dengan intensitas yang tinggi dapat menyebabkan runoff. Hal ini menyebabkan semakin besarnya tegangan air pori positif pada tanah, sehingga tegangan geser tanah menjadi berkurang dan daya dukung tanah juga berkurang yang dapat menyebabkan bencana longsor. Selain itu mekanisme kelongsoran dapat juga terjadi akibat penanganan yang kurang tepat. Penelitian ini membahas studi penanganan longsor daerah empat lawang dengan berdasarkan data tanah yang ada. Pemodelan numerik dilakukan untuk mendapatkan solusi dan penanganan terbaik dari pola kelongsoran yang terjadi. Dengan berdasarkan nilai faktor keamanan yang memenuhi syarat maka metode perkuatan tebing dapat diusulkan.

Kata Kunci : *Kelongsoran, Finite elemen, Sondir, NSPT*

PENDAHULUAN

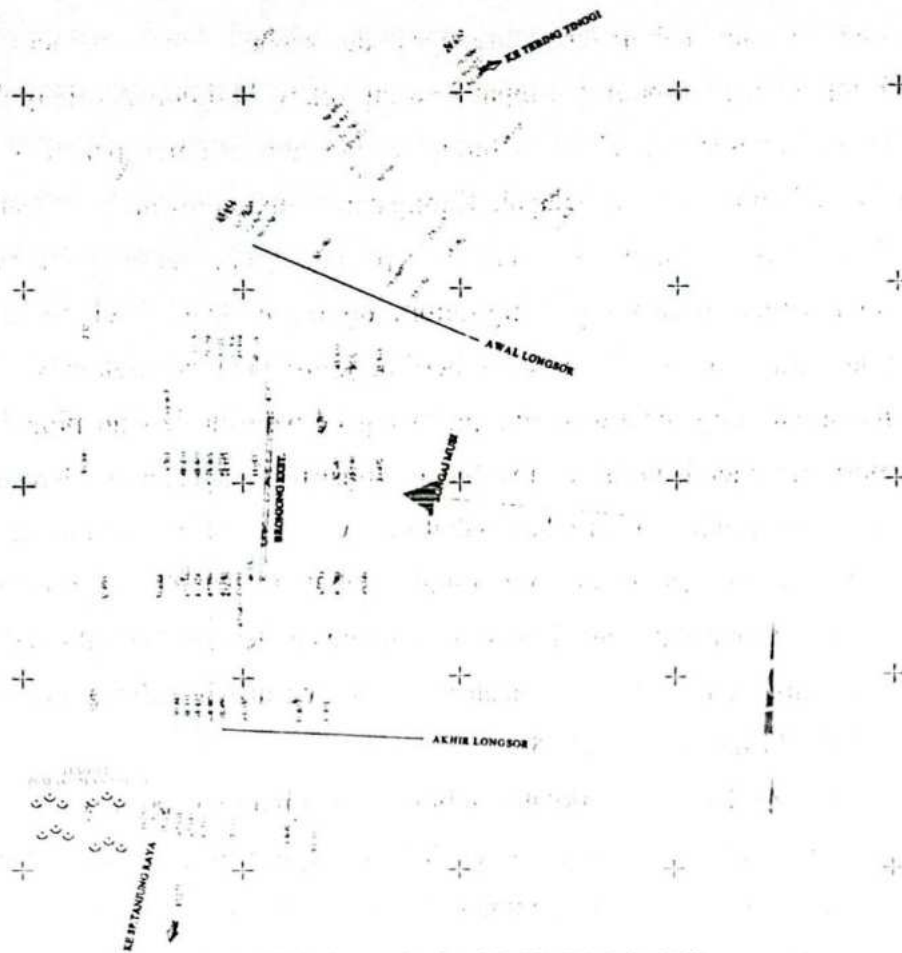
Tanah sebagai bagian konstruksi untuk kasus tertentu tidak dapat menopang struktur seperti bangunan, jembatan, baja, beban lalu-lintas dan bendungan. Sebagai contoh tanah granular yang kurang padat akan cenderung terjadi penurunan elastis yang cukup besar. Karena itu metode perbaikan tanah seperti pemadatan tanah untuk memperbesar kuat geser (M. Das, Principles of Foundation Engineering, 2010). Akan tetapi tahanan geser tanah adalah fenomena alam yang cukup sulit yang tak dapat digambarkan dengan beberapa aturan sederhana. Walaupun demikian, beberapa perilaku tanah dapat diprediksi dengan menggunakan prosedur uji sampel tanah (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996). Perkembangan teknologi informasi memberikan peluang kepada perencana untuk mendesain dengan pendekatan numerik. Secara fundamental, seorang Insinyur fokus kepada pemodelan dari kondisi aktual ke model matematik untuk mendapatkan solusi. Insinyur harus dapat melihat dan mengidentifikasi permasalahan pokok dan melakukan simplifikasi agar dapat dianalisa sesuai dengan kaedah teknik yang berlaku (Woc:d, 2004). Untuk saat ini metode elemen hingga dapat diandalkan sebagai salah satu cara untuk mendapatkan solusi yang dapat

dianggap mewakili dari permasalahan geoteknik.

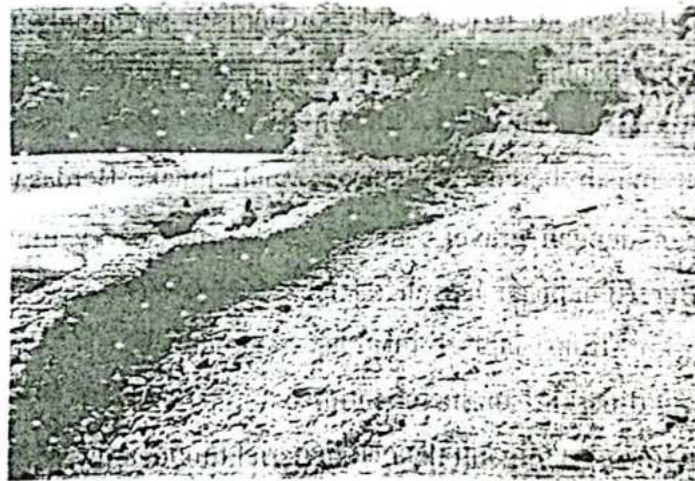
Empat lawang adalah kabupaten yang termuda sebagai hasil pemekaran dari kabupaten lahat. Ditinjau secara topografi Empat Lawang relatif berbukit dan bergelombang yang membentuk sebagian besar wilayahnya, sehingga pada umumnya merupakan perbukitan. Relief perbukitan ini terbentuk karena wilayah Kabupaten Empat Lawang termasuk dalam lajur pegunungan Bukit Barisan yang membentang di sepanjang Pulau Sumatera bagian Barat.

Pada umumnya sarana transportasi yang umum digunakan adalah melalui jalur darat. Karena itu dibangun sarana infrastruktur jalan berikut konstruksi pelengkapannya. Adanya beberapa jalur transportasi yang melalui perbukitan yang berbatasan dengan pinggir sungai mengharuskan pemerintah daerah untuk menyediakan konstruksi yang aman dengan tujuan menghindari terjadinya kerusakan badan jalan akibat bahaya longsor. Permukaan tanah yang berdiri dengan sudut tertentu dari bidang horizontal disebut dengan "Unrestrained slope", lereng dapat terjadi secara natural atau dibuat oleh manusia dengan perilaku keruntuhan bervariasi tergantung jenis tanah, sebaran lapisan tanah dan besarnya sudut lereng (M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, 2008).

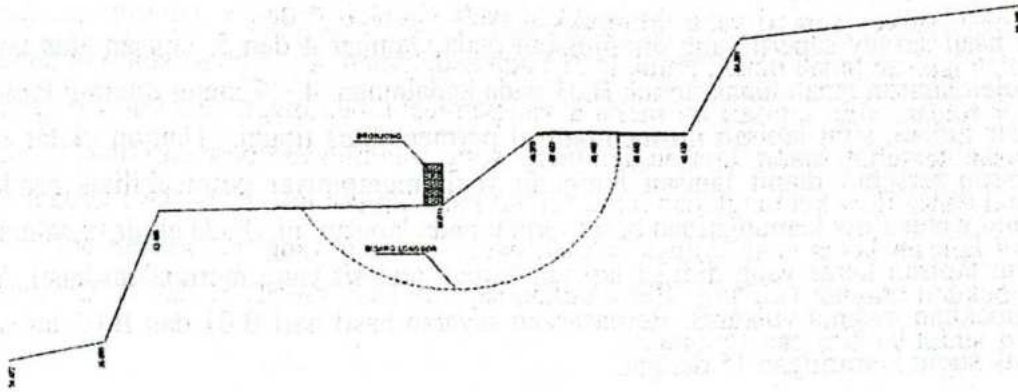
Untuk jalur STA P1 13+850, perkuatan tebing yang dibangun berupa bronjong dan box culvert. Gambar 1 menunjukkan topografi dari lokasi yang ditinjau. Akan tetapi, bidang kelongsoran terjadi walaupun konstruksi timbunan diberikan perkuatan bronjong (Gambar 2). Hal ini terjadi karena lapisan tanah lunak yang berada jauh dibawah tanah. Selain itu adanya faktor aliran air dalam tanah, dimana aliran tersebut terjadi pada lapisan tanah dengan permeabilitas tinggi. Lokasi ini terletak didaerah lapisan pegunungan diperkirakan adanya lapisan tanah keras atau bahkan batu yang bersifat nonporous. Perilaku kelongsoran adalah penurunan dan putaran membentuk busur (Gambar 3). Jadi kondisi lapisan permukaan tanah dan perkuatan tanah masih berada di lapisan tanah lunak. Berdasarkan informasi awal, dilakukan penimbunan dengan gravel , namun pada saat survey timbunan tersebut sudah terjadi penurunan. Berarti lapisan bawah adalah tanah lunak bercampur dengan timbunan gravel. Untuk alasan konstruksi lapisan ini tidak mempunyai daya ikat yang cukup. Apalagi kondisi dip-strike yang diperkirakan membentuk sudut kemiringan tertentu. Lapisan ini harus diremove (digali dan dibuang), diganti dengan material timbunan yang baru.



Gambar 1. Lokasi STA P1 13+850



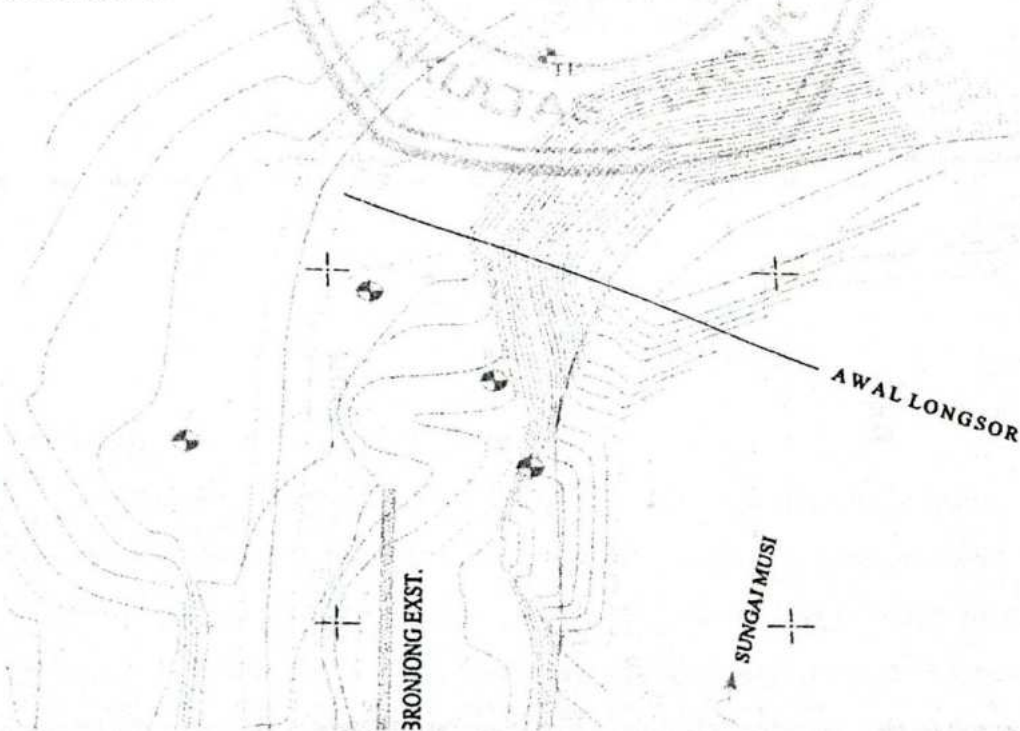
Gambar 2. Foto lokasi STA P1 13+850



Gambar 3. Potongan bidang longsor STA P1 13+850

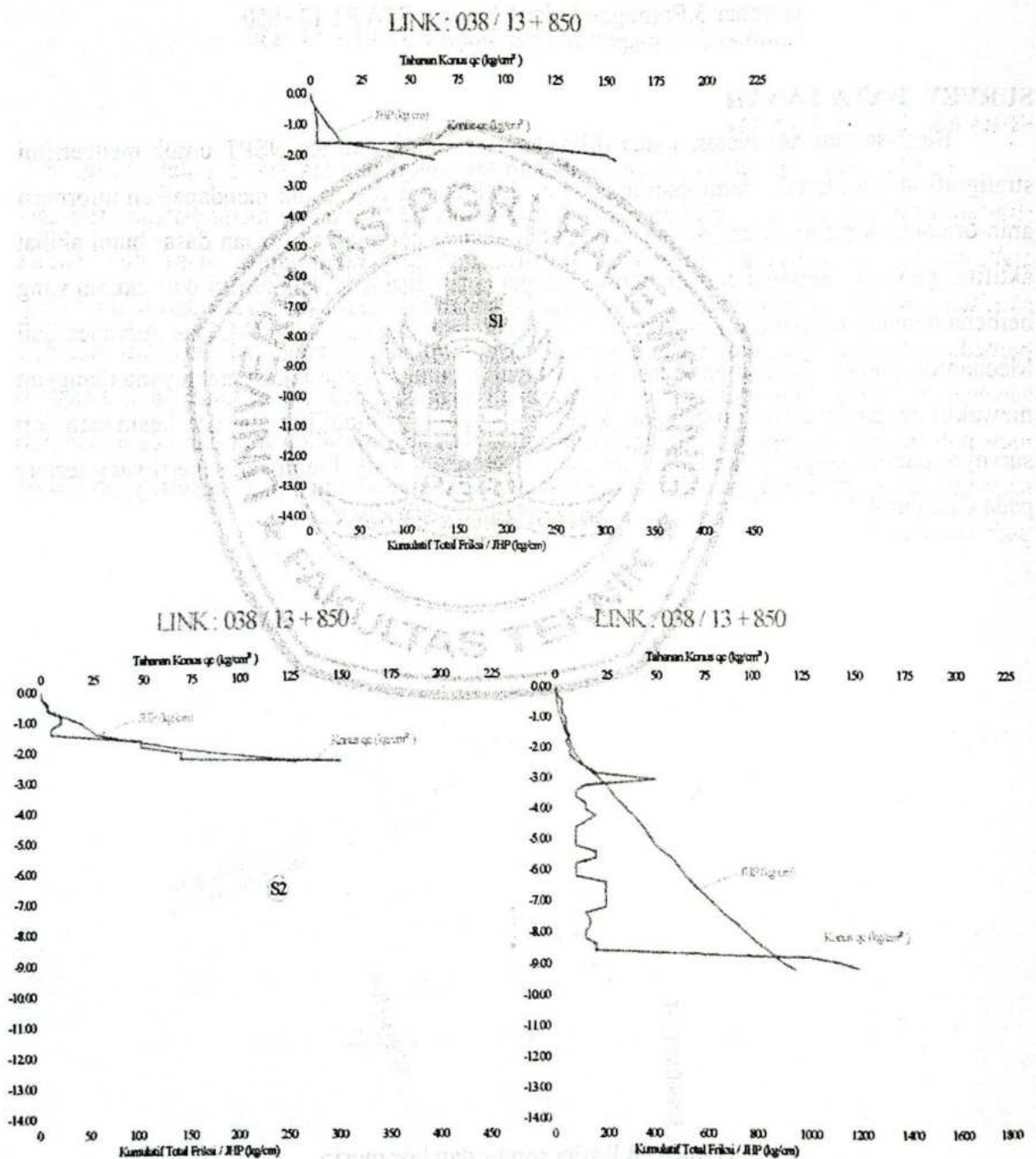
SURVEY DATA TANAH

Berdasarkan hal diatas, maka dilakukan tes sondir dan tes NSPT untuk mengetahui stratigrafi lapisan tanah. Pemilihan lokasi bor dilakukan 2 titik untuk mendapatkan informasi arah orientasi lapisan keras (dip-strike) akibat adanya pergerakan lapisan dasar bumi akibat aktifitas geologi. Sebagai catatan bahwa sampel tanah bisa jadi akan terdiri dari ukuran yang berbeda dengan mengandung partikel kerikil, pasir, lempung dan lanau (M. Das, Advance Soil Mechanics, 2008). Penentuan lokasi survey tanah dilakukan pada lokasi tanah yang dianggap mewakili dengan mempertimbangkan kemudahan dari segi mobilitas alat dan keamanan dari surveyor dalam pengambilan data. Lokasi penyelidikan tanah ditentukan seperti yang tertera pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi sondir dan bor mesin

Dari hasil survey seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5, lapisan atas tanah didominasi oleh lapisan tanah lunak, untuk B.01 pada kedalaman 4 ~ 7 meter ditemui lapisan lempung pasir tufaan, sifat lapisan ini mempunyai permeabilitas tinggi. Namun diatas dan dibawah lapisan tersebut diapit lapisan lempung yang mempunyai permeabilitas rendah. Artinya ground water flow kemungkinan besar terjadi pada lapisan ini. Pada akhir kedalaman NSPT ditemui lapisan keras yang diduga lapisan batuan andesit yang merupakan hasil dari aktivitas pembekuan magma vulkanis. Berdasarkan sayatan hasil dari B.01 dan B.02 lapisan ini membentuk sudut kemiringan 15 derajat.



Gambar 5. Grafik data sondir

BOR LOG										
BOR CODE : B. 01		LOCATION : STA 13+850 (P.1) TEBING TINGGI- TJJ RAYA				START : 24 NOV 2010				
PROJECT : PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI MUSI						FINISH : 25 NOV 2010				
DEPTH : 11.55 METER						DRILLER : TIM GSP				
						CHECKED : DADI ANTORO				
DEPTH	THICKNESS	CWL	SYMBOL	DESCRIPTION	SAMPLE	STANDARD PENETRATION TEST (SPT)				
						N VALUE (BLOWS / FEET)				
						10	30	50	70	90
						20	40	60	80	
1.00	0.65			Lapisan Penutup / limunan						
2.00	3.20			Lempung Linauan warna kuning kecoklatan hingga kemerahan sifit lunak plastisitas rendah.						
3.00										
4.00										
5.00	3.75			Lempung Pasir Tufaan warna kuning kecoklatan sifit sangat lunak dan plastisitas rendah.						
6.00										
7.00										
8.00	2.25			Lempung tufaan warna abu-abu terang hingga keputihan sifit senyal dan plastis.						
9.00										
10.00										
11.00	2.15			Breksi vulkanik (lempung gravel dan pasir tufaan) warna abu-abutus hingga kehitaman sifit padat.						
12.00				Batuon Dasar (diluga batu batu andesit)						
END OF DRILLING										
■ : UNDISTURBED SAMPLE ☒ : STANDARD PENETRATION TEST										

BOR LOG										
BOR CODE : B. 02		LOCATION : STA 13+850 (P.1) TEBING TINGGI- TJJ RAYA				START : 27 NOV 2010				
PROJECT : PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI MUSI						FINISH : 28 NOV 2010				
DEPTH : 11.55 METER						DRILLER : TIM GSP				
						CHECKED : DADI ANTORO				
DEPTH	THK	CWL	SYMBOL	DESCRIPTION	SAMPLE	STANDARD PENETRATION TEST (SPT)				
						N VALUE (BLOWS / FEET)				
						10	30	50	70	90
						20	40	60	80	
0.40				Lapisan Penutup / limunan						
1.00	2.05			Lempung Pasir tufaan warna kuning kecoklatan sifit sangat lunak dan plastisitas rendah.						
2.00										
3.00										
4.00	1.60			Pasir breksi vulkanik (Pasir, gravel dan limau) warna kuning kecoklatan, sifit agak padat.						
5.00										
6.00										
7.00	2.70			Lempung pasir tufaan warna abu-abu terang hingga keputihan sifit sangat lunak, plastisitas rendah.						
8.00										
9.00										
10.00	1.90			Lempung tufaan warna abu-abu terang hingga keputihan sifit senyal hingga plastis.						
11.00					Breksi vulkanik (pasir, gravel, lempung tufaan) warna kuning kecoklatan - abu-abutus sifit padat.					
END OF DRILLING										
■ : UNDISTURBED SAMPLE ☒ : STANDARD PENETRATION TEST										

Gambar 6. Hasil data NSPT

ANALISA STABILITAS TEBING

Sebagian besar, masalah geoteknik yang melibatkan struktur tanah cukup sulit dikarenakan perilaku tanah yang dapat dikategorikan non-linear, tidak homogen, perilaku tanah yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Rao, 2011). Untuk masalah slope stability, perilaku dari pola keruntuhan lereng dapat dipelajari dengan tinjauan secara geoteknik. Rekayasa geoteknik adalah merupakan cabang dari Teknik Sipil dengan mengaplikasikan teknologi desain dan konstruksi struktur dengan melibatkan material geologi yang berada

dipermukaan lempeng bumi (Gunaratne, 2006). Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui kondisi insitu kondisi existing dari tebing yang ditinjau. Lokasi tebing yang dipilih adalah lokasi yang secara justifikasi teknis adalah lokasi yang paling kritis dan berpotensi terjadi longsor. Parameter yang diperlukan adalah nilai NSPT, sondir dan hasil uji lab. Metode yang digunakan adalah metode analisa elemen hingga. Dimana fase yang digunakan adalah :

- a. Kondisi awal tebing
- b. Muka air banjir ditambah beban hidup
- c. Rapid drawdown
- d. Analisa keamanan (phi – c reduction analysis)

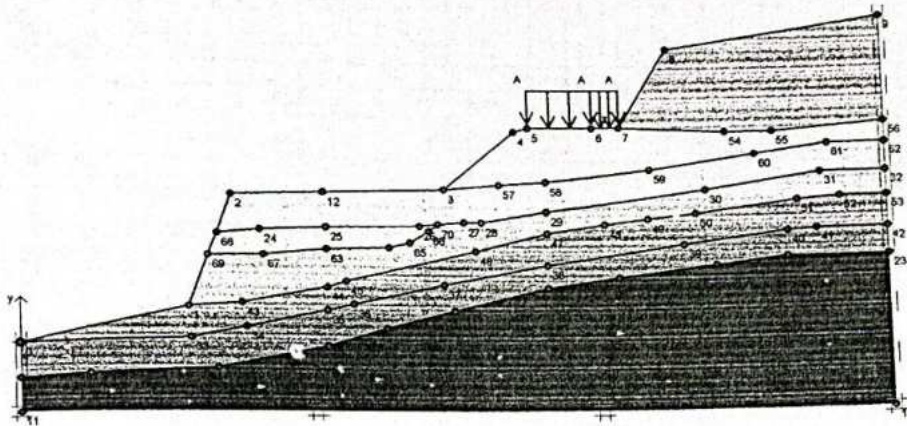
Parameter tanah dapat dilakukan dengan menggunakan korelasi dari NSPT, akan tetapi korelasi ini masih dipertanyakan apalagi menyangkut kepada jumlah sample yang ada (E. Bowles, 1997). Akan tetapi dengan bertambahnya kebutuhan infrastruktur, maka penambahan database hasil survey tanah memungkinkan untuk bertambah. Korelasi adalah cara singkat untuk mendapatkan parameter tanah dengan berdasarkan statistik tingkat lanjut. Tetapi tetap harus menjadi catatan bahwa perencana harus mempunyai pengetahuan mendalam terhadap masalah yang dihadapi apalagi tingkat kesulitan dari problem geoteknik cukup tinggi (Look, 2007).

Dalam kasus ini tanah dimodelkan sebagai elemen segitiga dan perlayer tanah dimodelkan berdasarkan kedalaman nilai NSPT dan perubahan lapisan tanah. Secara detail parameter yang digunakan adalah seperti tabel di bawah ini :

Tabel 1. Properti Tanah hasil Korelasi dan Laboratorium

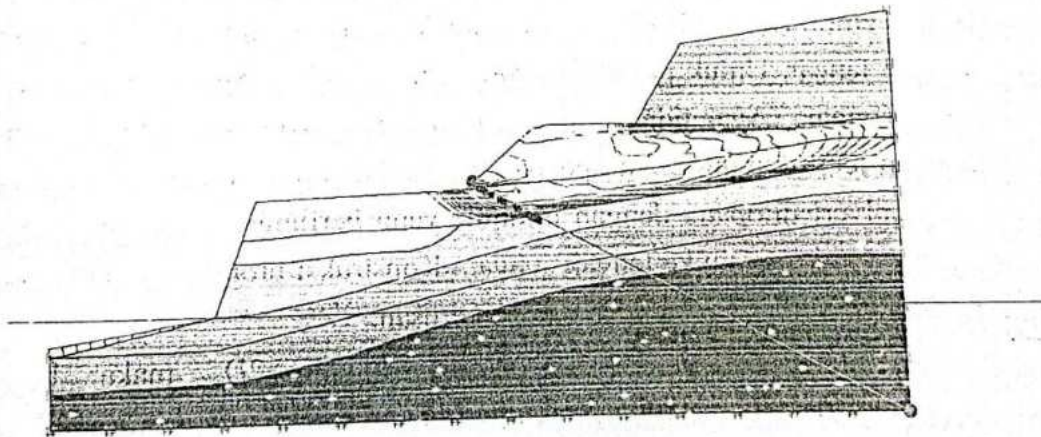
		Very soft Clay	Soft Clay	Medium Clay	Very stiff Clay	Very stiff Clay	Very stiff Sand		
Parameter		Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Sand	Andesit	Unit
N-SPT (rata-rata)	asli	2	4	8	16	30	30	50	
Konsistensi		Very soft cohesive	Soft cohesive	Medium cohesive	Very stiff cohesive	Very stiff cohesive	Very stiff Non cohesive	Hard Nonporous	
Plastisitas	IP	High plastic	High plastic	High plastic	High plastic	High plastic	Non plastic	High plastic	
Model material	Model	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	
Jenis perilaku material	Jenis								
Berat isi tnh. di atas m.a.t	γ_{bulk}	14	14	15	17	17	17	22	kN/m ³
Berat isi tnh. di bawah m.a.t	γ_{sat}	16	16	17	19	19	19	22	kN/m ³
Permeabilitas horisontal	k_x	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03		m/s
Permeabilitas vertikal	k_y	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03		m/s
Modulus Young	E_{1st}	3625	3625	7765	17250	17250	44850	1.73E+05	kN/m ²
Angka Poisson	ν	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.375	0.35	
Kohesi	c_{1st}	13.05	26.15	52.3	117.65	196.1	0	400	kN/m ²
Sudut geser	ϕ	10	10	10	10	10	38	45	°
Sudut dilatasi	ψ	0	0	0	0	0	0	0	°

Berdasarkan informasi data tanah, maka dapat digambarkan pemodelan dari kondisi eksisting lereng seperti pada Gambar 7.

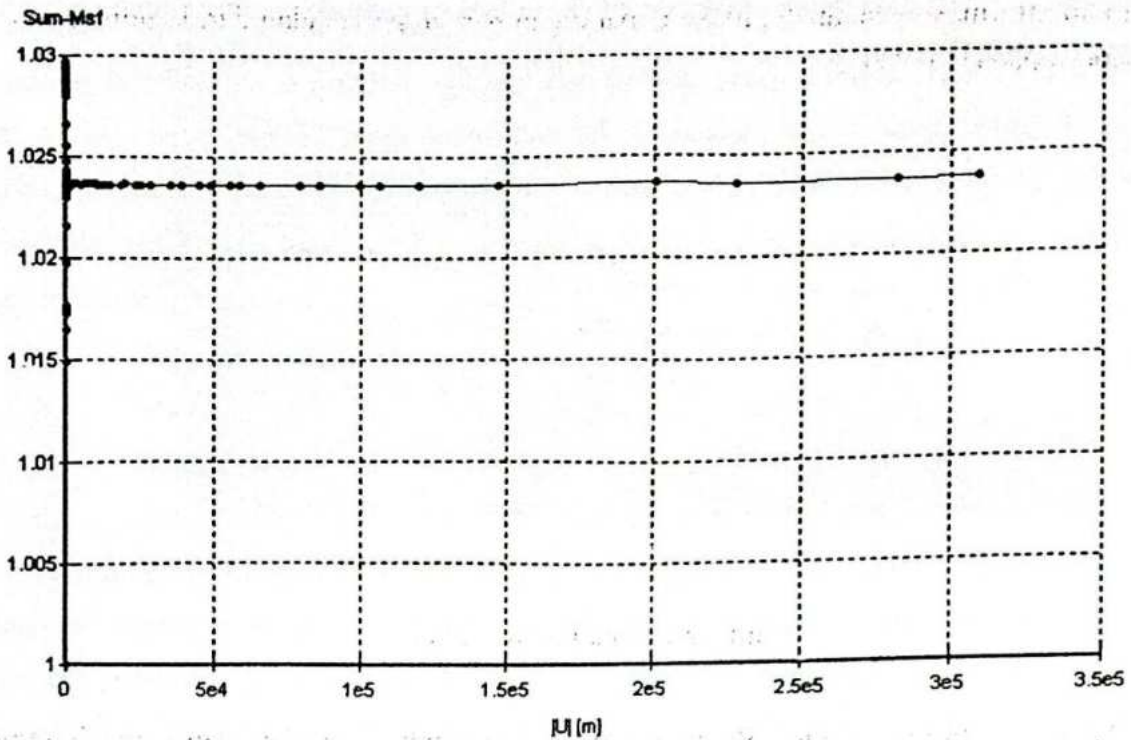


Gambar 7. Kondisi awal lereng

Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan mereduksi nilai phi dan c tanah sampai nilai defleksi konvergen. Dari hasil analisa, potensi longsor terjadi pada lapisan permukaan tanah dengan pola kelongsoran seperti pada Gambar 8. Nilai safety factor dihasilkan dari metode elemen hingga dengan analisa phi-c reduction, nilai safety factor 1.02 seperti yang terlihat pada Gambar 9 kurang dari 1.3. Karena itu perlu dilakukan perkuatan tebing.



Gambar 8. Analisa faktor keamanan lereng



Gambar 8. Analisa faktor keamanan lereng

DESAIN PERKUATAN LERENG DENGAN BOX CULVERT, MINIPILE DAN BRONJONG

Untuk perkuatan tanah dan untuk menunjang kuat geser tanah dalam arah lateral, diasumsikan perkuatan yang digunakan adalah konstruksi box culvert ditunjang dengan minipile ukuran 30x30 cm². Konstruksi box dipilih untuk menjamin aliran air dalam dan luar tanah mengalir dengan lancar. Untuk proteksi gerusan, digunakan konstruksi bronjong yang diletakkan di pinggir sungai. Agar tidak terjadi gerusan atau cave, konstruksi box culvert diletakkan dikedalaman lebih kurang 2.7 m, posisi ini letakkan di atas lapisan lempung pasir tufa. Konstruksi box culvert ditopang dengan minipile yang berfungsi menahan pergerakan konstruksi dalam arah lateral menuju ke tengah sungai. Konstruksi bronjong yang diletakkan pada dasar tebing berfungsi sebagai proteksi terhadap gerusan.

Mengingat analisa dilakukan menggunakan Plaxis 2D, maka beberapa penyederhanaan harus dilakukan dengan mempertimbangkan perilaku mekanika dari pemodelan yang akan dibuat. Seperti yang tertera pada Gambar 9 dan 10, konversi tiang pancang dan box culvert dihitung untuk mendapatkan properti 2 dimensi yang ekuivalen.

Konversi tiang pancang segi empat

Tiang pancang segi empat

f_c	=		=	35 mPa
E_1	=	$4700 f_c^{0.5}$	=	27805574.98 kN/m ²
b_1	=		=	0.3 m
h_1	=		=	0.3 m
A_1	=	$b_1 \cdot h_1$	=	0.09 m ²
I_1	=	$1/12 b_1 h_1^3$	=	0.000675 m ⁴
$E A_1$	=	$E_1 A_1$	=	2,502,501.75 kN
$E I_1$	=	$E_1 I_1$	=	18,768.76 kN/m ²

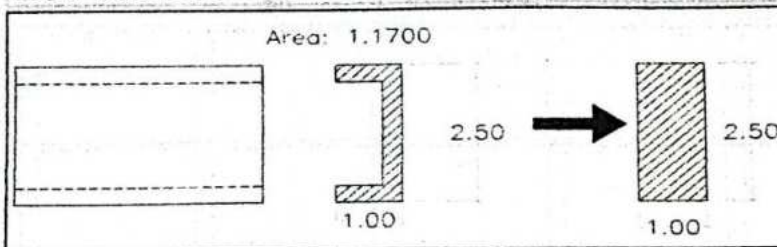
Tiang pancang plane strain

b_2	=		=	0.3 m
h_2	=		=	1 m
A_2	=	$b_2 \cdot h_2$	=	0.3 m ²
I_2	=	$1/12 b_2 h_2^3$	=	0.025 m ⁴
E_2	=	$E_1 I_1 / I_2$	=	750750.5245 kN/m ²
$E A_{ps}$	=	$E_2 A_2$	=	225225.16 kN
$E I_{ps}$	=	$E_2 I_2$	=	18768.76 kN/m ²

A	EA	EI	Ls	EA	EI	W
m ²	kN / m	kN / m ²		kN / m	kN / m ²	
0.09	225225.16	18768.76	1.00	225000.00	18000.00	2.21
0.09	225225.16	18768.76	2.00	112000.00	9000.00	2.21
0.09	225225.16	18768.76	3.00	75000.00	6000.00	2.21

Gambar 9. Konversi mini pile

Box culvert



Untuk box culvert luas penampang per 1 meter

A_1	γ_1	W_1
m ²	kN/m ³	kN/m
1.17	24.52	28.685

Konversi dalam arah planestrain

$$\gamma_2 = W_1 / A_2$$

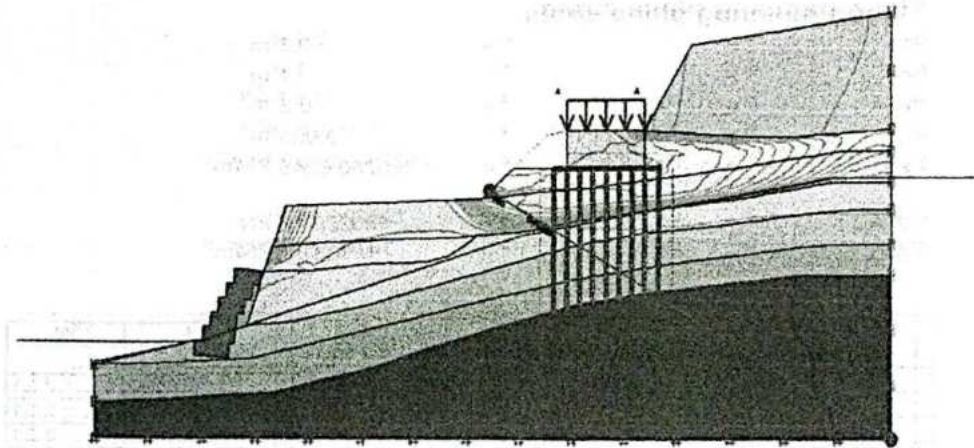
B	H	A_2	γ_2
m	m	m ²	kN/m ³
1	2.5	2.5	11.5

Pelat beton

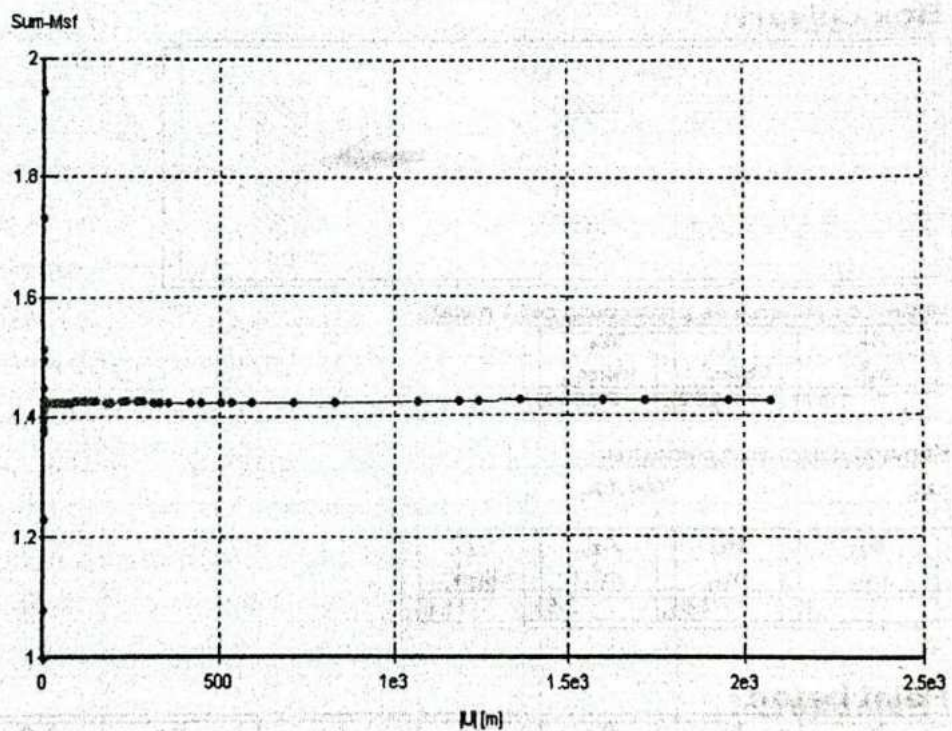
b	h	A	I	f_c	E	EA	EI
m	m	m ²	m ⁴	mPa	kN/m ²	kN / m	kN / m ²
1	0.3	0.3	0.025	25.00	23500000.00	7050000	587500

Gambar 10. Konversi box culvert

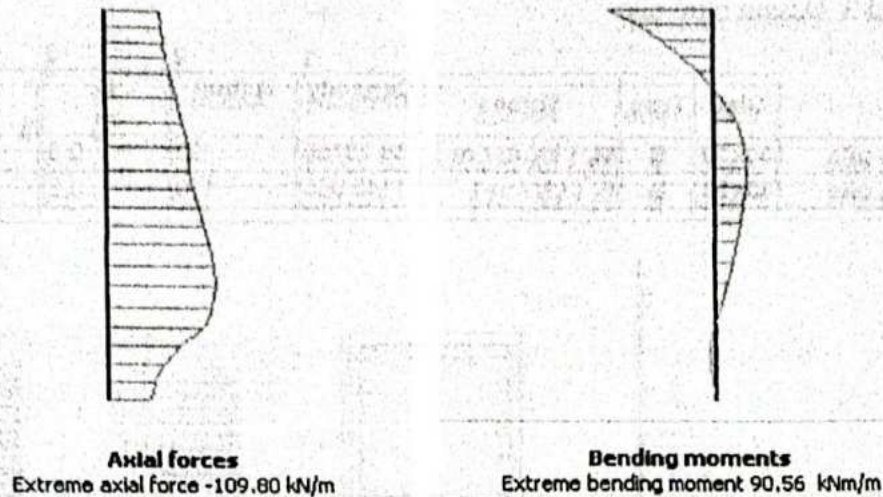
Setelah seluruh data input telah diberikan, maka analisa dapat dilakukan dengan prosedur yang sama, analisa phi-c reduction (Gambar 11) menunjukkan potensi longsor yang terjadi pada pinggiran tebing yang ditandai dengan garis kontur yang lebih rapat. Besarnya safety factor (Gambar 12) 1.44 lebih besar dari 1.3 menunjukkan tebing aman terhadap bahaya longsor. Akan tetapi perlu ditinjau besarnya gaya dalam yang diterima oleh mini pile apakah melebihi kapasitas lentur yang dapat ditampung oleh pondasi. Pada Gambar 13 gaya aksial dan momen lentur pada mini pile terjadi akibat adanya potensi pergeseran pada tebing.



Gambar 11. Perkuatan lereng menggunakan box culvet, bronjong dan minipile



Gambar 12. Grafik faktor keamanan perkuatan dengan box cuvert, mini pile dan bronjong



Gambar 13. Gaya aksial dan momen lentur pada mini pile

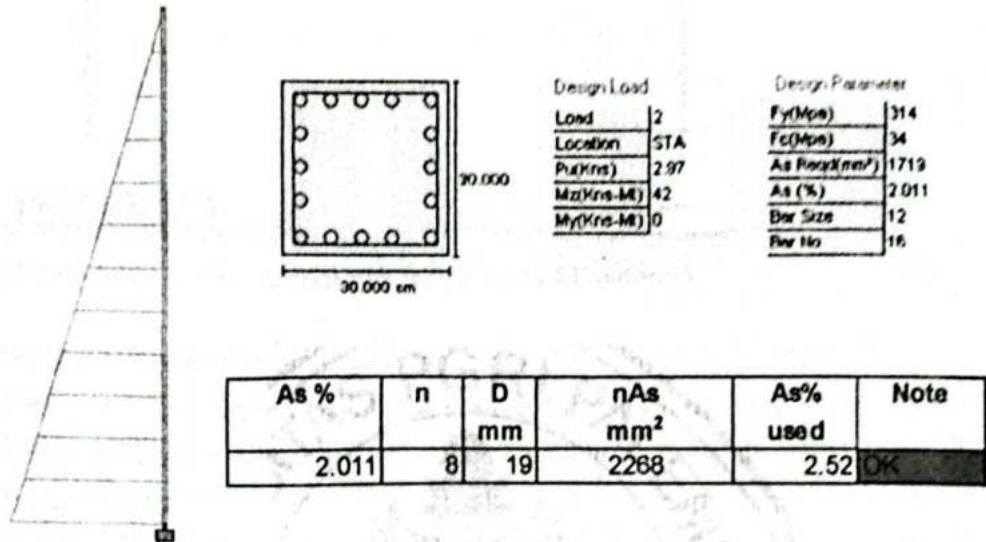
Gaya dalam pada mini pile kemudian dibandingkan terhadap kapasitas mini pile sesuai dengan tabel dari produsen (Tabel 2). Pada tabel 3, besarnya rasio desain menunjukkan angka > 1 , dan dapat disimpulkan kondisi kritis pondasi ditentukan oleh besarnya momen lentur yang akan diterima oleh mini pile. Tulangan yang diperlukan ditentukan dengan metode diagram interaksi kolom (Gambar 14). Berdasarkan analisa dapat disimpulkan mini pile ukuran 30x30 tipe B aman dan cukup ekonomis digunakan.

Tabel 2. Kapasitas mini pile

Dimension (D) (cm)	Class	Unit Weight (kg/m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)	Length of Pile (L) (m)
			Cracking (Ton.m)	Nominal (Ton.m)		
25 x 25	A	156	2.24	3.84	81.40	6 - 12
	B		2.50	4.81	79.62	6 - 14
	C		2.76	5.77	77.92	6 - 16
30 x 30	A	225	3.62	5.77	118.59	6 - 12
	B		3.95	6.92	116.76	6 - 14
	C		4.33	8.30	114.66	6 - 16
	D		4.88	10.38	111.60	6 - 18
35 x 35	A	306	5.22	7.30	163.98	6 - 12
	B		5.91	9.69	160.68	6 - 14
	C		6.58	12.11	157.45	6 - 16
	D		7.24	14.53	154.32	6 - 18
40 x 40	A	400	7.84	11.07	213.96	6 - 14
	B		8.64	13.83	210.60	6 - 16
	C		9.43	16.61	207.32	6 - 18
	D		11.65	24.91	198.01	6 - 20
45 x 45	A	506	11.11	15.57	270.98	6 - 14
	B		12.02	18.68	267.61	6 - 16
	C		12.90	21.80	264.30	6 - 18
	D		14.63	28.02	257.88	6 - 20
50 x 50	A	625	15.07	20.76	335.12	6 - 14
	B		16.08	24.21	331.72	6 - 16
	C		17.08	27.68	328.38	6 - 18
	D		18.06	31.13	325.09	6 - 20

Tabel 3. Desain mini pile

	Size	Type	Foroes	Capaolty	Actual	B m	Ratio $\phi . 1 / (2 \times 3)$	Note
Mini pile	30x30	B	M_x (kN m / m)	38.73765	92	0.3	1.12	OK
Mini pile	30x30	B	F_x (kN / m)	1145.065	110	0.3	27.76	OK



Gambar 14. Desain tulangan mini pile

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dianalisa di atas, dapat disimpulkan konstruksi akan aman jika kondisi aktual baik berupa kondisi tanah yang ada dan beban yang akan terjadi adalah sesuai dengan pemodelan. Mengingat dalam penentuan tanah yang dilakukan hanya dalam beberapa lokasi saja (yang apabila dibandingkan dengan lokasi pekerjaan yang cukup luas) dan juga sifat unpredictable dari tanah. Maka beberapa hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Dalam pelaksanaan konstruksi sebaiknya dilakukan pada saat muka air terendah. Karena jika dilakukan pada muka air tertinggi ,pada saat kondisi tersebut daya ikat tanah berkurang karena kondisi saturated. Sebaliknya tekanan lateral meningkat karena adanya tekanan phreatic dari air tanah.
2. Hal-hal yang harus diperhatikan untuk waktu mendatang, untuk mencegah terjadinya gerusan pada bibir sungai, dan mengingat topografi dan alignment dari aliran sungai, untuk kedepan diusulkan penambahan konstruksi break water. Dengan bertujuan mengalihkan aliran arus sungai ke arah endapan aluvial. Adanya endapan aluvial di depan bibir sungai akan terjadi pendangkalan akibat penumpukan sedimen, harus

dilakukan penggalian aluvial. Pada sisi utara dari lokasi perkuatan, terjadi potensi penggerusan dan kelongsoran akibat dari aliran sungai. Hal ini perlu diantisipasi dengan melakukan proteksi dan perkuatan lereng sebelum kelongsoran terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- E. Bowles, J. (1997). *Foundation analysis and design*. Singapore: McGraw-Hill.
- Gunaratne, M. (2006). *The foundation engineering handbook*. Tampa: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Netherlands: Taylor & Francis Group.
- M. Das, B. (2008). *Advance Soil Mechanics*. New york: Taylor & Francais.
- M. Das, B. (2010). *Principles of Foundation Engineering*. 200 First Stamford Place, Suite 400: Cengage Learning.
- M. Das, B. (2008). *Principles of Geotechnical Engineering*. Toronto: Thomson.
- Rao, N. S. (2011). *Foundation design theory and practice*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. Newyork: John Wiley & Sons.
- Wood, D. M. (2004). *Geotechnical modelling*. Abbots Leigh: Applied geotechnic Volume 1.