

## **STUDI LONGSORAN STRUKTUR TANGGUL (STUDI KASUS: TANGGUL BANJIR KANAL BARAT, JAKARTA)**

### ***FAILURE STUDIES OF EMBANKMENT STRUCTURE (CASE STUDY :WEST CANAL EMBANKMENT, JAKARTA)***

**1)Ahmad Taufiq; 2)Diah Affandi**

1,2)Peneliti Puslitbang-SDA, Kementerian Pekerjaan Umum  
E-mail: ahmadrentcar@gmail.com

Diterima: 05 Maret 2014 ; Disetujui: 21 November 2014

#### **ABSTRACT**

*Tanggul Banjir Kanal Barat (BKB) yang terletak pada ruas Jembatan Guntur - Jembatan Halimun Jakarta telah mengalami longsor pada bagian tengah ruas tersebut sepanjang 70 m. Berdasarkan pengamatan lapangan kelongsoran tersebut disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut: tanah timbunan yang buruk (banyak plastik dan sampah) disertai nilai sondir yang kecil; diperkirakan dimensi dan kedalaman turap kurang memadai untuk menahan gaya lateral; desain turap sheet pile hanya sampai kedalaman 9 m atau dipancang tidak menembus pasir sehingga diperkirakan tidak mampu menahan gaya lateral; tidak berfungsinya drainase permukaan. Berdasarkan analisis desain penanggulangan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa; Alternatif B yaitu sheet pile 12 m di sisi jalan, dan sheet pile 14 m pada sisi kanal ditambah dengan ground anchor dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan merupakan alternatif desain terbaik, karena memberikan angka keamanan paling tinggi ( $FK = 1.40$ ). Namun, mengingat kemudahan dan ketersediaan dan kemampuan alat kontraktor yang sedang bekerja, maka alternatif C adalah alternatif yang terpilih dengan nilai  $FK$  yang 1,25 yang masih memenuhi persyaratan. Desain yang dipilih adalah perkuatan dengan sheet pile 12 m di sisi jalan, dan sheet pile 12 m pada sisi 3 m dari kanal ditambah dengan ground anchor dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan.*

**Kata kunci:** Longsor, tanggul, kanal, sheet pile, ground anchor

#### **ABSTRACT**

*A part of West Flood Canal (BKB) that located in the section of Guntur bridge-Halimun bridge, Jakarta has got landslides in central part along 70m. Based on field observations, the landslide was caused by several factors as follows: poor soil embankment (a lot of plastic and garbage) accompanied small DCPT value; depth of the sheet pile is inadequate to resist lateral forces, only 9 m depth; and bad surface drainage. Based on the analysis, the best design of counter measures can be concluded is alternative B. Its design is sheet pile with 12m in depth on side of the road, and sheet pile 14m in depth on the side of the canal coupled with ground anchor and soil embankment replaced by soil with required shear strength. The alternative B is the best design alternative, because it provides the highest of safety factor ( $FK=1.40$ ). However, given the easy and availability and capabilities of tools, so the selected design is alternative C with 1.25 in safety factor and still got the requirements. The selected design is retrofitting with sheet pile 12m at side of the road, and sheet pile 12m at 3m from the canal side coupled with a ground anchor and soil embankment replaced by soil with the required shear strength.*

**Keywords:** landslides, embankment, canal, sheet pile, ground anchor

#### **PENDAHULUAN**

Kelongsoran tanah merupakan salah satu yang paling sering terjadi pada bidang Geoteknik akibat meningkatnya tegangan geser suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Dengan kata lain, kekuatan geser

dari suatu massa tanah tidak mampu memikul beban kerja yang terjadi. Gangguan terhadap stabilitas lereng dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia maupun kondisi alam. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan. Evaluasi ini

bertujuan untuk memberikan alternatif penanggulangan pada kasus longsor pada tanggul kanal. Pada kasus ini Lokasi Tanggul Banjir Kanal Barat (BKB) pada ruas Jembatan Guntur - Jembatan Halimun merupakan daerah yang datar, dengan kemiringannya kira - kira kurang dari 50 dan miring relatif kearah utara. Daerah ini memiliki elevasi terendah + 5.00 m dpl dan tertinggi kira-kira + 11.00 m dpl.

Kanal barat mempunyai lebar 40 m dan merupakan saluran air (kanal) yang berfungsi untuk mengalirkan air supaya tidak terjadi banjir di DAS Sungai Ciliwung. Kanal ini merupakan buangan air sungai Ciliwung yang disodet di Manggarai kemudian dialirkan ke arah barat menuju ke Petamburan, kemudian ke utara yang bermuara di Pantai Muara Angke. Tanggul Banjir Kanal Barat dibangun sepanjang 17,5 km dengan desain awal berupa concrete sheetpile dengan kedalaman 9m dan 12m dilengkapi dengan angkur dan backpile. Backpile berfungsi sebagai peletakan angkur terletak 2-3 m dari sheetpile yang ada.



**Gambar 1** Lokasi Longsor Tanggul banjir kanal Barat, Kelurahan Gutur Kota Jakarta

Longsor pada Banjir Kanal Barat terletak pada ruas jalan antara Jembatan Guntur dengan Jembatan Halimun. Bagian tengah ruas tersebut sepanjang 70m mengalami longsor yang terjadi saat hujan cukup deras. (lihat pada Gambar 2 ,3 dan Gambar 4). Berdasarkan pengamatan lapangan hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

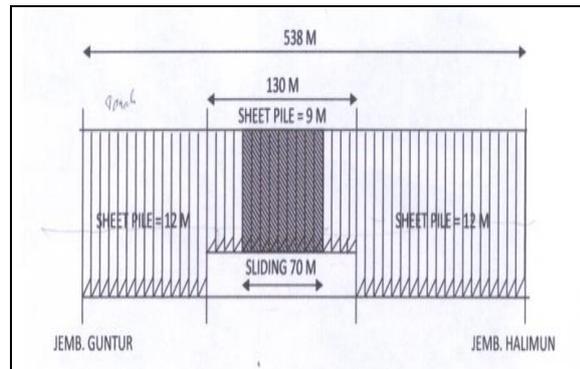
- 1 Tanah timbunan yang buruk (banyak plastik dan sampah) disertai nilai sondir yang kecil sehingga menyebabkan tekanan lateral besar.
- 2 Akibat tekanan lateral yang besar tersebut diperkirakan dimensi dan kedalaman turap

kurang memadai untuk menahan gaya lateral dan terjadi longsor

- 3 Desain turap *sheetpile* hanya sampai kedalaman 9 m atau dipancang tidak menembus pasir sehingga diperkirakan tidak mampu menahan gaya lateral
- 4 Tidak berfungsinya drainase permukaan, apalagi pada musim hujan ada genangan air dari jalan sehingga menambah beban dan gaya lateral



**Gambar 2** Potongan Memanjang Lokasi Longsor



**Gambar 3** Kondisi longsor tanggul Banjir Kanal Barat



**Gambar 4** Tanah timbunan yang mengalami longsor, terlihat sampah plastik

## KAJIAN PUSTAKA

### 1 Kajian Teknis/Fenomena Longsor

Berdasarkan buku petunjuk penyelidikan dan penanggulangan yang dikeluarkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, PU oktober 1986, ada beberapa faktor penyebab terjadinya longsor yaitu :

- a Faktor Penyebab dari peristiwa
- b Faktor penyebab ditinjau dari konsepsi faktor keamanan

#### 1) Faktor Penyebab dari peristiwa

Peristiwa yang dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah dibedakan menjadi gangguan luar dan gangguan dalam.

A. Gangguan luar berupa antara lain:

- a) Getaran yang ditimbulkan antara lain oleh : gempa bumi, peledakan, kereta api)
- b) Pembebanan tambahan, terutama disebabkan oleh aktivitas manusia, misalnya adanya bangunan atau timbunan diatas tebing.
- c) Hilangnya penahan lateral, dapat disebabkan antara lain oleh pengikisan (erosi sungai, pantai), aktivitas manusia (penggalian)
- d) Hilangnya tumbuhan penutup, dapat menyebabkan timbulnya alur pada beberapa daerah tertentu, erosi makin meningkat dan akhirnya terjadi gerakan tanah.

B. Gangguan dalam antara lain :

- a) Hilangnya rentangan permukaan, selaput air yang terdapat diantara butir-butir tanah memberikan tegangan tarik yang tidak kecil, sebaliknya jika air merupakan lapisan tebal, maka akibatnya berlawanan.
- b) Naiknya berat massa batuan, masuknya air kedalam tanah menyebabkan terisinya rongga antar butir sehingga massa batuan bertambah.
- c) Pelindian (leaching) bahan perekat, air mampu melarutkan bahan pengikat butir-butir yang membentuk batuan sedimen (misalnya perekat dalam batu pasir dilarutkan air sehingga ikatannya hilang.
- d) Naiknya muka air tanah, muka air dapat naik karena rembesan yang masuk pada pori antar butiran tanah, hal ini menyebabkan tekanan air pori naik sehingga kekuatan geser turun.
- e) Pengembangan tanah, rembesan air dapat menyebabkan tanah mengembang, terutama untuk tanah lempung tertentu;

jika lempung tersebut terdapat dibawah lapisan lain.

- f) Surut cepat, jika air dalam sungai atau waduk menurunterlalu cepat, maka muka air tanah tidak dapat mengikuti kecepatan menurunnya muka air .
- g) Pencairan sendiri (liquefaction), dapat terjadi pada beberapa jenis tanah yang jenuh air seperti pasir halus lepas bila terkena getaran (gempa bumi)

#### 2) Faktor penyebab ditinjau dari konsepsi faktor keamanan

A. Gangguan luar ,terjadi karena meningkatnya tegangan geser yang bekerja dalam tanah ( $\sigma_m$ ) sehingga  $FK < 1$ .

- a) Tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ) menurun, kondisi seperti ini terjadi bila kaki lereng tererosi oleh aliran air, akibat galian atau pembongkaran tembok penahan tanah.
- b) Tegangan vertikal meningkat, kondisi ini terjadi bila air hujan tertahan diatas lereng, timbunan, bangunan dan lain-lain.
- c) Tekanan horizontal meningkat; kondisi ini terjadi karena adanya pengisian air pada retakan
- d) Tegangan siklik, kondisi ini terutama akibat gaya gempa dan gaya vibrasi ledakan mesiu.
- e) Gerakan tektonik; dapat merubah keadaan geometri lereng (pelandaian lereng berarti menambah kemantapan.

B. Gangguan dalam, terdiri faktor-faktor:

- a) Sifat bawaan meliputi komposisi (kondisi material dapat menjadi lemah pada peningkatan kadar air, struktur geologi dan geometri lereng (berupa bidang diskontinuitas/ sesar, perlapisan, kekar)
- b) Reaksi kimia fisika berupa hidrasi dari mineral lempung seperti absorpsi air oleh mineral lempung sehingga kadar air meningkat yang dapat menurunkan nilai kohesi, penyusutan tanah lempung akibat pengeringan dapat menimbulkan retakan susut sehingga kohesi tanah menurun dan memberi kesempatan air masuk kedalam.
- c) Perubahan tekanan air pori dan berat isi antara lain berupa berat isi bertambah karena penjenhuan. daya apung pada kondisi jenuh (menurunkan tegangan efektif pada butir, sehingga kuat geser menurun), muka air naik karena air hujan, kolam waduk dan adanya perubahan sistim pembebanan (pada kondisi ini lapisan tanah lempung terkonsolidasi lebih dan terkonsolidasi

lebih dan terkonsolidasi sangat lebih lebih yang sebelumnya dibebani lapisan diatasnya kemudian lapisan atas tersebut digali (dibuang).

Penyelidikan yang diperlukan antara lain :

- a) penyelidikan Pendahuluan yang berupa pemetaan topografi, pemetaan geologi (pendugaan geofisika berupa geolistrik dan seismic), sumur dan parit uji.
- b) Penyelidikan terinci berupa pemetaan kerentanan, pemboran (tangan dan mesin), pengujian dilapangan (uji geser baling, SPT, sondir, permeabilitas, pressuremeter test, uji geser langsung dan logging).
- c) Pengujian geohidrologi (air permukaan dan air tanah)
- d) Instrumentasi (patok geser, strainmeter, inclinometer, deflektometer, pipa PVC dan unting-unting).

Kemungkinan penanggulangan

- a) Mengubah geometri lereng (pemotongan kepala, pelandaian tebing, penanggulangan, pemotongan habis, pengupasan lereng, penimbunan pada bagian kaki).
- b) Mengendalikan air permukaan (menanam tumbuhan, tata salir saluran permukaan, menutup rekaha, permukaan lereng).
- c) Mengendalikan air rembesan (sumur dalam, penyalir tegak, penyalir mendatar, sumur pelega, saluran pemotong, penyalir liput, elektro osmosis).
- d) Penambatan Tanah (bronjong, tembok penahan, sumuran, tiang, teknik penguatan tanah tanah, dinding penopang isian batu).
- e) Penambatan batuan (tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jangkar kabel/pengangkeran, jala kawat, tembok penahan batu, beton semprot, dinding tipis).
- f) Tindakan lain (penggunaan bahan ringan, penggantian material, stabilitas, bangunan silang dan relokasi).

Dari hasil skripsi Syarifudin Firmansyah dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, dengan judul Perencanaan Penanggulangan Longsoran Pada Proyek Jalan di Lokasi Bayah, Provinsi Banten Pada STA 2 +920 s.d STA 3 + 920, penanggulangan longsoran menggunakan metode penanggulangan (benching)/pemotongan geometri lereng (dengan alasan dapat menambah gaya penahan dan mengurangi gaya dorong dibandingkan dengan metode pelandaian biasa), serta pemasangan tembok penahan tanah di kaki lereng. Metode analisis yang dipakai

menggunakan program bantu slope/w dengan 2 metode yaitu Fellenius dan Bishop.

Penanggulangan lainnya terkait dengan permasalahan yang sama adalah Penanganan Longsoran Badan Jalan Dengan Penjangkaran hasil tulisan Gompul Dairi, BRE., Ir., M.Sc. dan Jalaluddin, ST., MT. Banda Aceh. Menurut penulis dewasa ini konstruksi penjangkaran tanah ini masih jauh dari sempurna di Indonesia, Dalam banyak hal perlu dipastikan apakah kekuatan leleh dari jangkar telah memenuhi syarat beban rencana, yang didapat dari percobaan pencabutan jangkar yang telah terpasang. Alasan pemilihan ground anchor sebagai penanggulangan longsoran dikarenakan hal-hal sebagai berikut :

type struktur konvensional, seperti menggali tebing bukit untuk memperlebar badan jalan tidak memungkinkan, (ii) tembok penahan tanah gravitasi (retaining wall) sudah yang kedua kali rubuh, (iii) tiang pancang atau sheet pile (baja atau beton) tidak memungkinkan.

Hidayat, I. 2008. Dalam tulisannya berjudul *Studi Perencanaan Penanggulangan Kelongsoran Tebing Sungai Batang Tembesi Dengan Perkuatan Lereng dan Krib Tiang Pancang*. Alur sungai relatif tidak stabil, terutama pada tikungan-tikungan sungai, dan cenderung terjadi erosi tebing pada tikungan luar serta pengendapan pada tikungan dalam. Untuk menanggulangi masalah yang terjadi di ruas Sungai Batang Tembesi di daerah Ladang Panjang, direncanakan suatu penanggulangan longsoran tebing sungai sebelah kanan dengan perkuatan lereng sebagai pelindung tebing langsung dan pemasangan krib tiang pancang sebagai pelindung tebing tak langsung. Pada studi ini metode untuk menguji tingkat keamanan kelongsoran tebing digunakan software Pslope, langkah berikutnya adalah menghitung banjir rancangan dengan kala ulang 50 tahun, kemudian melakukan perhitungan hidraulika di daerah gerusan selanjutnya melakukan analisa gerusan. Dari hasil perhitungan hidrologi dan hidrolika serta analisa gerusan maka bisa direncanakan suatu perkuatan lereng dan krib tiang pancang. Hasil dari studi ini adalah suatu perencanaan revetment dan pemasangan krib tiang pancang pada belokan-belokan yang tergerus. Direncanakan untuk pelindung tebing ini terdiri atas pasangan batu dengan adukan beton dengan arah pasangan batu mendatar. Pasangan batu ini menggunakan ukuran batu dengan diameter 210-250 mm.

### **Konsep kemandapan lereng**

Salah satu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah/batuan adalah untuk analisa kemandapan lereng. Keruntuhan geser (*shear failure*) pada tanah/batuan terjadi

akibat gerak relatif antar butirnya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kekuatan geser terdiri atas:

- a Bagian yang bersifat kohesi, tergantung pada macam tanah/batuan dan ikatan butirnya.
- b Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif pada bidang geser. Kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam rumus :

$$S = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad 1)$$

Keterangan:

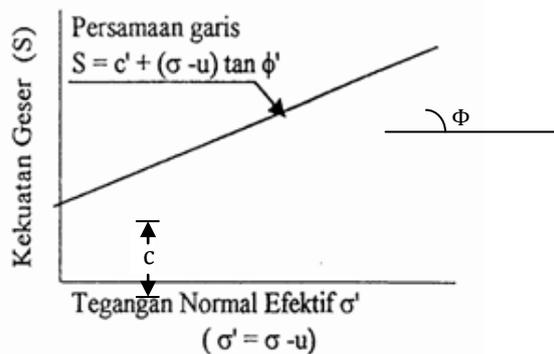
S, kekuatan geser

$\Sigma$ , tegangan total pada bidang geser

U, tegangan air pori

c', kohesi efektif

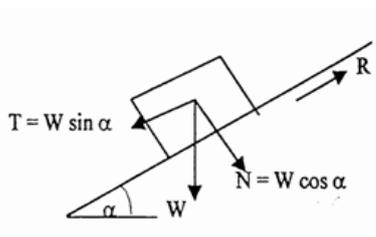
$\phi'$ , sudut geser dalam efektif



(Sumber : Das, B.M 1995, Mekanika Tanah dalam Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)

**Gambar 5** Kekuatan geser tanah

Analisis dasar kemandapan lereng didasarkan pada mekanisme gerak suatu benda yang terletak pada bidang seperti terlihat pada gambar 6 dibawah ini:



Keterangan:

W adalah berat benda

N adalah gaya normal

T adalah gaya tangensial

R adalah gaya geser

**Gambar 6** Keseimbangan benda pada bidang miring

Pada Gambar 6 terlihat bahwa gaya dorong longsor adalah T, sedangkan gaya yang menahan longsor adalah R yakni gaya geser yang terjadi antara berat benda W dengan bidang miring, sehingga dengan demikian dapat dikatakan :

Bila:

$R/T < 1$  Benda akan bergerak

$R/T = 1$  Benda dalam keadaan seimbang

$R/T > 1$  Benda akan diam

### Metoda Analisis

Cara analisis kemandapan lereng telah banyak dikenal. Secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu : (1) yang berdasarkan pengamatan visual, (2) cara komputasi, (3) menggunakan grafik. Ikhtisar ketiga kelompok tersebut dapat dilihat dalam tabel 1.

Analisa stabilitas lereng umumnya dapat dilakukan dengan dengan 2 metode diantaranya :

a Metode Kestimbangan Batas (Limit Equilibrium)

b Metode Deformasi

Metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium) dilakukan dengan menggunakan metoda yang disarankan oleh Bishop AW, yang dikerjakan dengan menggunakan program komputer *Plaxis*. Analisa stabilitas dalam program tersebut dikerjakan dengan menggunakan metoda keseimbangan batas dengan bidang longsoran berupa lingkaran.

Persamaan yang diturunkan dengan cara Bishop merupakan keseimbangan gaya-gaya yang diambil terhadap gaya horizontal dan vertikal.

Kekuatan geser tanah dinyatakan dengan suatu persamaan :

$$S = \bar{C} + \sigma \tan \phi$$

$$\bar{\sigma} = \sigma - \mu$$

Keterangan:

S, kekuatan geser

$\bar{C}$ , kohesi efektif

$\phi$ , sudut geser dalam efektif

$\bar{\sigma}, \sigma$ , tegangan total efektif, tegangan total

$\mu$ , tekanan pori

FK, faktor keamanan

$$S = \frac{s.l}{Fk} = \frac{1}{Fk} \left( (\bar{C})l + (\bar{P}) \tan \phi \right)$$

**Tabel 1** Cara Analisis kemantapan Lereng

No.	Analisis	Cara	Bidang Longsororan (*)	Tanah (**)	Batu (**)	Keterbatasan
1.	Berdasarkan pengamatan Visual	Membandingkan kestabilan lereng yang ada	L,P,B	o	o	1. Kurang teliti 2. Tergantung pengalaman seseorang 3. Disarankan untuk dipakai bila tidak ada resiko
2.	Menggunakan Komputasi	Fellenius Bishop Janbu	L L,P,B L,P,B	o o -	- o -	
3.	Menggunakan Grafik	- Cousin - Janbu  - Duncan - Hock & Bray	L L  P P,B	o o  o -	- o  o o	1. Material homogeny 2. Umumnya Struktur sederhana

Keterangan : (\*) L = Lingkaran  
P = Planar  
B = Baji

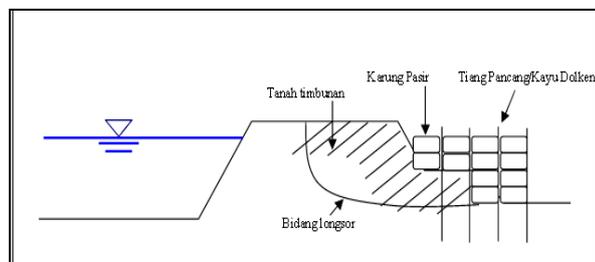
(\*\* ) o = digunakan  
- = tidak digunakan

sumber: pedoman penanggulangan longsor, Puslitbang Sumber Daya Air

**Alternatif Penanggulangan Longsor**

Ada beberapa metoda praktis yang biasa digunakan dilapangan dalam penanganan longsor, diantaranya

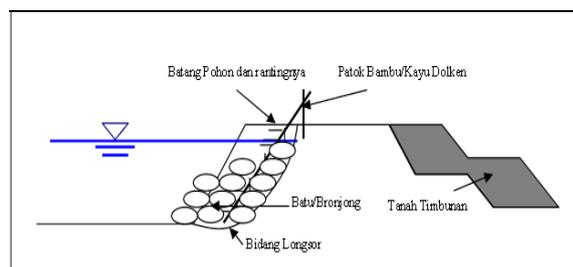
- 1) Apabila terjadi longsor pada lereng belakang tanggul, maka ditempat longsor setelah ditimbun dengan tanah yang dipadatkan, diberi beban imbingan berupa tumpukan karung pasir yang diperkuat dengan tiang pancang (Gambar 7).



**Gambar 7** Perkuatan longsor dengan dengan tumpukan pasir dan tiang pancang

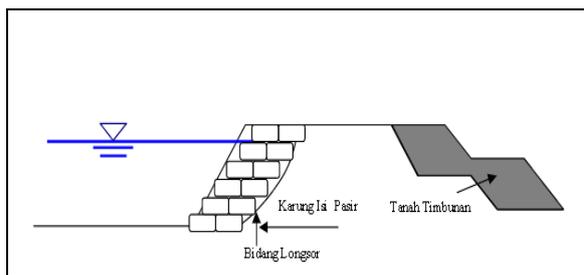
- 2) Apabila terjadi longsor pada lereng muka tanggul maka untuk mencegah gerusan, diberi batang pohon yang masih ada ranting dan

dahannya, dipangkalnya diperkuat dengan patok dan ujungnya diberi pemberat batu. Selain daripada itu di bagian belakang tanggul dipertebal dengan timbunan tanah dipadatkan (Gambar 8).



**Gambar 8** Perkuatan longsor dengan dengan pemasangan patok dan batu

- 3) Longsor pada lereng muka tanggul dapat pula ditanggulangi dengan membuat tanggul darurat yang dibuat dari tumpukan yang diisi pasir setinggi tanggul semula, dan dibagian belakang tanggul dipertebal dengan tumpukan tanah (Gambar 9).



**Gambar 9** Perkuatan longsoran dengan dengan pemasangan tumpukan pasir dan dipertebel dengan tumpukan tanah

## METODOLOGI

Metodologi kegiatan ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Melakukan survei dan analisa lapangan
- Melakukan kegiatan penyelidikan geoteknik, meliputi pengujian contoh tanah di laboratorium (pengambilan contoh tanah dan pengujian data laboratorium)

Pengambilan contoh tanah dibedakan menjadi dua:

### a. Pengambilan contoh terganggu

Pengambilan contoh terganggu pada umumnya diperlukan untuk mengetahui perkiraan litologi umum endapan tanah, identifikasi komponen tanah dan tujuan klasifikasi umum, ukuran butir, batas-batas *Atterberg* dan karakteristik pemadatan tanah.

Metode pengambilan contoh berbeda-beda mulai dari cara manual, dengan alat penunjang penggalian seperti cangkul, sekop, dan linggis. Contoh terambil perlu dimodifikasi sesuai dengan keadaan alami tanah sebelum pengujian dilakukan

### b. Pengambilan contoh tidak terganggu

Pengambilan contoh tidak terganggu dapat digunakan untuk menentukan kekuatan tanah insitu, kompresibilitas (penurunan), kadar air asli, berat volume, sifat kelulusan air, diskontinuitas, patahan dan retakan formasi tanah dasar. Pengambilan contoh tanah tak terganggu (*undisturbed*) dilakukan dengan menggunakan tabung sample yang kemudian ditutup dengan parafin. Hal ini dilakukan untuk mengurangi gangguan pada struktur tanah insitu dan kadar air tanahnya.

Untuk pengambilan contoh batuan dapat dilakukan dengan cara manual menggunakan alat penunjang seperti cangkul, sekop dan linggis. Pengambilan contoh batu berupa agregat untuk setiap titik pengambilan sampel minimal seberat 50 kg.

## Pengujian Contoh di Laboratorium

Pengujian di laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah dan batuan hasil pengambilan sampel di lapangan. Jenis pengujian yang dilaksanakan guna mengetahui sifat fisik dan sifat teknik tanah atau batuan. Standar pengujian mengacu ASTM yang mengalami perubahan dan disesuaikan dengan kondisi tanah di Indonesia (berdasarkan SNI - Standar Nasional Indonesia) adalah sebagai berikut:

### 1) Sifat Fisik Tanah

- Kadar air bertujuan untuk mengukur jumlah air yang ada dalam tanah sesuai dengan berat keringnya, untuk memperoleh karakteristik kuat geser, penurunan dan parameter lainnya secara korelasi empirik. Uji dapat dilakukan dengan standar SNI 03-1965-1990 Metode Pengujian Kadar Air Tanah atau ASTM D 4959 *Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by Direct Heating Method*.
- Berat isi, Pengukuran berat isi contoh tanah tidak terganggu di laboratorium, dilakukan secara sederhana dengan menimbang bagian contoh tanah dan membaginya dengan volume (SNI-03-3637-1994 Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus dengan Cetakan Benda Uji).
- Berat jenis
- Tujuan uji berat jenis adalah untuk mengukur berat jenis butiran tanah. Uji dapat dilakukan dengan mengacu SNI 03-1964-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Tanah / ASTM D 854 *Test Method for Specific Gravity of Soils*.
- Analisa saringan
- Uji analisa saringan dapat dilakukan dengan mengacu SNI 03-1975-1990 Metode Mempersiapkan Contoh Tanah dan Tanah Mengandung Agregat, SNI 03-3423-1994 Metode Pengujian Analisis Ukuran Butir Tanah dengan Alat Hidrometer, ASTM D 422 *Test Method for Particle Size Analysis of Soils* atau ASTM D 1140 *Test Method for Amount of Material in Soils Finer than the No. 200 (75  $\mu$ m)*.

### 2) Sifat Teknik Tanah

Sifat teknik tanah ditentukan dengan melakukan uji-uji yang terdiri atas uji kuat geser, analisis tegangan total dan efektif, triaksial, uji kuat geser langsung, Parameter-parameter yang diperoleh dari hasil uji tersebut digunakan untuk analisis dan desain pondasi dan timbunan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Kondisi dan Data Lapangan**

**1) Kondisi Geologi**

Kondisi geologi daerah Kelurahan Guntur dan sekitarnya banyak dipengaruhi proses geologi yang terjadi disekitarnya. Salah satu yang mempengaruhi adalah kondisi morfologi yang landai kearah utara dan adanya kegiatan gunungapi dibagian selatan serta terjadinya proses pasang surut pada masa lalu, sangat mempengaruhi terbentuk sedimen di daerah ini. Daerah ini terbentuk oleh endapan aluvial yang membawa material letusan gunungapi berasal dari G. Salak, G. Pangrango dan G. Dago, dicirikan oleh sedimen yang mengandung tuf. Dalam proses pengendapan pernah diselingi oleh endapan air pasang, dicirikan oleh adanya endapan yang mengandung material organik.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Jakarta – Pulau Seribu yang dikeluarkan oleh P3G tahun 1992, jenis batuan yang ada daerah ini terdiri dari (Gambar 10):

- a. Aluvium (Qa)
- b. Satuan batupasir tufan dan konglomerat/Kipas aluvium (Qav).

**2) Satuan batupasir tufaan dan konglomerat/kipas aluvium (Qav)**

Merupakan endapan yang dipengaruhi oleh kegiatan gunungapi pada masa Plestosen. Terdiri dari tuf halus berlapis, tuf konglomeratan berselang seling dengan tuf pasiran dan tuf batuapung. Tuf halus, kelabu muda, berlapis tipis, merupakan bagian bawah satuan ini, tebal yang tersingkap kira-kira 2m, sebagian lapisannya memperlihatkan perarian sejajar. Tuf konglomerat, putih kekuningan, kemas terbuka, pemilahan buruk, membundar tanggung-mebundar sempurna

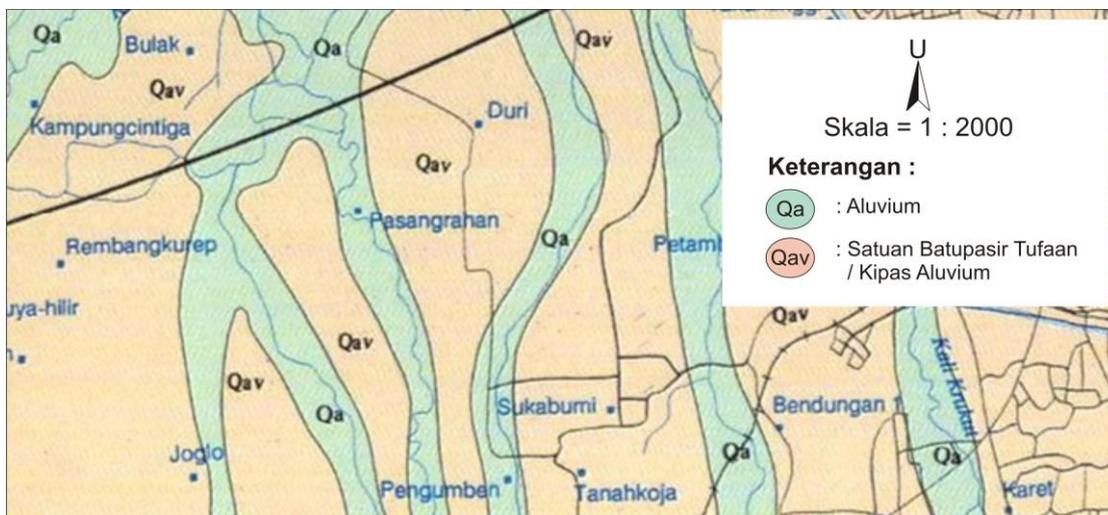
andesitan, berbutir 1 – 3cm, tersusun oleh andesit dan kuarsa, matrik tuf halus, tebal kira-kira 1,5m. Tuf pasiran, kelabu muda, pemilahan buruk, berbutir halus-kasar, membundar tanggung-membundar, bersusunan andesitan, berselang-seling dengan tuf konglomeratan. Tuf batuapung, kuning kecoklatan, kemerahan, mengandung konkresi besi 2–3cm dan fragmen batuapung, membundar tanggung sampai membundar, 3–5cm dan kerikil kuarsa yang bundar, menindih langsung tuf konglomeratan. Tebalnya kira-kira 3m. Satuan ini membentuk morfologi kipas dengan pola aliran “*dischotomic*”. Pengendapan diduga pada lingkungan darat, bahan pembentuknya berasal dari hasil letusan gunungapi muda, rempah – rempah letusan gunungapi dari Dataran Tinggi Bogor. Umur satuan ini diduga Pleitosen Akhir atau lebih muda, tebal seluruh satuan ini diduga mencapai 300m, satuan ini terlampar sangat luas dari Selatan ke Utara.

**Aluvium (Qa)** terdiri dari lempung, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah. Endapan ini meliputi endapan pantai sekarang, endapan sungai dan rawa.

**3) Kondisi Geologi Setempat**

Lokasi longsor yang berada di Kelurahan Guntur terdapat pada daerah dengan perbedaan elevasi antara yang tinggi + 15.00 m dpl dengan yang paling rendah kira-kira + 5.00 m dpl, melampar dari Selatan ke Utara. Jalan yang ada antara Jembatan Guntur dengan Jembatan Halimun terhampar pada satuan batupasir tufan konglomerat/kipas aluvium. Berdasarkan hasil pemboran inti di pinggir kanal, yaitu B.1, B.2 dan B.3 dapat diketahui bahwa lapisan tanah/ batuan disekitar tempat yang longsor terdiri dari:

- a) Tanah timbunan
- b) Tuf



**Gambar 10** Peta Geologi Regional (Sumber: Peta geologi Lembar Jakarta, P3G,1992)

**Satuan Tuf**, berwarna abu-abu, kadang-kadang kecoklatan juga kehitaman, adalah tuf halus berukuran butir lempung sampai pasir sangat kasar, merupakan hasil letusan gunungapi yang kemudian terbawa arus air pada saat itu. Tuf ini membentuk sebagian membentuk lapisan sisipan dalam Satuan Batupasir Tufan dan Konglomeratan. Lapisan tersebut diketahui dari hasil pemboran inti yang dilakukan di B.1, B.2, dan B.3. Tuf ini sebagian (bagian atas) telah mengalami pelapukan kuat, sebagian tersemen buruk hingga agak baik, bersifat mudah diurai dengan tangan sampai tidak dapat dihancurkan/ dipatahkan dengan tangan, dari hasil SPT diperoleh nilai N SPT berkisar antara 5 - > 60 tumbukan/ 30 cm, sedangkan hasil uji kelulusan airnya diperoleh nilai permeabilitas (k) bervariasi pada orde  $10^{-5}$  -  $10^{-3}$  cm/detik. Ketebalan lapisan ini mencapai hingga kira-kira 20.00 m, tersebar hampir disemua lubang bor. Dalam satuan tuf ini terdapat sisipan pasir, berwarna hitam kecoklatan, berbutir sedang sampai kasar kadang-kadang kasar sekali. Pasir ini sebagian bersifat urai, sebagian tersemen agak baik, bersifat urai hingga tidak dapat diremas dengan tangan.

Tanah timbunan, adalah tanah yang digunakan untuk menimbun jalan, terdiri dari lempung (tuf) warna abu-abu, kecoklatan hingga kemerahan, kelembabannya tinggi, plastisitasnya tinggi, lunak, bercampur kerikil dan sampah plastik cukup banyak. Hasil SPT diperoleh harga N SPT antara 2 - 6 tumbukan/30 cm dan hasil uji kelulusan airnya diperoleh harga permeabilitasnya (k) pada orde  $10^{-3}$  -  $10^{-2}$  cm/detik. Ketebalan tanah timbunan ini berkisar antara 2.50m hingga 3.00m.

## 2 Penyelidikan Geoteknik

### 1) Penyelidikan lapangan

Berdasarkan hasil pengeboran dapat di ketahui bahwa susunan tanah/batuan ditempat ini tersusun dari atas kebawah adalah sebagai berikut:

- a) lapisan tanah timbunan terdapat pada bagian paling atas, merupakan campuran lempung hasil pelapukan tuf dengan sedikit kerikil dan sampah plastik agak banyak, yang mempunyai nilai N SPT 5 - 6 tumbukan/ 30 cm, dan permeabilitas pada orde  $10^{-3}$  -  $10^{-2}$  cm/detik, tebalnya antara 2.50 - 3.00m. Dibawah tanah timbunan adalah lapisan hasil pelapukan sangat kuat tuf hingga tersemen buruk - agak baik, mempunyai nilai N SPT antara 2 - 11 tumbukan/ 30cm, dengan permeabilitas antara orde  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  cm/detik, ketebalannya kira-kira 14.00 m.
- b) Lapisan tuf lapuk sangat kuat adalah tuf lapuk sedang berada dibawahnya, mempunyai nilai N SPT antara 11 hingga > 30 tumbukan/ 30

cm, sedang kelulusan airnya mempunyai harga pada kisaran orde  $10^{-4}$ cm/detik, ketebalannya kira-kira 9m.

### A Penampang Memanjang

Berdasarkan hasil pemboran diatas bahwa lapisan bagian atas kira-kira 3.00 m terdiri dari tanah timbunan bercampur sampah plastik dengan N SPT 6 tumbukan/30 cm dan nilai permeabilitas (k) pada orde  $10^{-3}$  cm/detik menunjukkan bahwa air mudah masuk kedalam tanah timbunan ini. Berdasarkan data di ruas Jembatan Guntur - Jembatan Halimun kedalam *concrete sheetpile* pada bagian yang longsor mencapai 9.00 m. Ini berarti dudukan *concrete sheetpile* masih menggantung di dalam lapisan tuf lapuk kuat berukuran butir lempung (walaupun secara fisual tampak butiran pasir kasar namun bila tuf ini diremas mudah berubah menjadi lempung), dengan nilai N SPT masih lunak, berkisar antara 5 - 6 tumbukan/30 cm penetrasi. Tiang pancang (*concrete sheetpile*) seharusnya lebih dalam.

### B Penampang Melintang

Pondasi melintang kanal dapat di cermati berdasarkan penampang melalui hasil lubang bor inti B.1 dan B.3. Pada lapisan paling atas adalah lapisan tanah timbunan, terdiri dari lempung abu - abu, coklat hinga merah, bercampur pasir dan kerikil, pada bagian kiri bercampur dengan sampah plastik cukup banyak, mempunyai nilai N SPT 2 - 8 tumbukan/ 30 cm, dari hasil uji permeabilitas diperoleh nilai permeabilitas (k) pada orde  $10^{-3}$  -  $10^{-2}$  cm/ detik.

Di bawah lapisan tanah timbunan terdiri dari tuf lapuk sangat kuat, tuf ini secara visual memperlihatkan tekstur butiran pasir halus - sedang, namun apabila diremas menggunakan jari tangan dapat dihancurkan menjadi lempung. Dari hasil SPT pada lapisan ini diperolae harga N antara 5 - 10 tumbukan/30 cm penetrasi. Sedang hasil uji kelulusan airnya diperoleh harga permeabilitas (k) diperoleh pada orde  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  cm/detik. Ketebalannya kira - kira mencapai 12.00m. Sedangkan lapisan di bawahnya adalah adalah tuf yang lapuk sedang, berwarna putih abu-abu putih kecoklatan - kemerahan, sebagian kehijauan. Tersemen buruk hingga sedang, dapat diremas menggunakan jari tangan hingga sulit dipatahkan dengan tangan. Hasil SPT diperoleh antara 17 - 60 tumbukan/ 30cm penetrasi, sedang hasil uji permeabilitasnya diperoleh pada kisaran orde  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  cm/detik.

Pondasi tebing kanan kanal pada saat ini relatif stabil. Tetapi bila ditinjau data teknisnya sebenarnya cukup mengkhawatirkan, karena walaupun tiang pancang mencapai kedalam



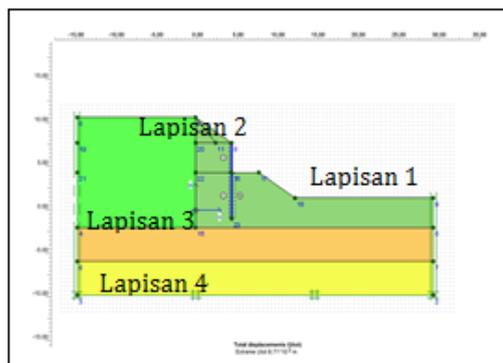
**A Evaluasi Data dan Analisa Penanggulangan**

Untuk memperoleh parameter tanah yang terjadi saat terjadi kelongsoran, dilakukan analisis balik (*back analysis*). Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui pola kelongsoran yang terjadi di lapangan guna memperoleh analisa penanggulangan yang memadai. Analisa balik dilakukan dengan cara mencari pola kelongsoran yang menghasilkan faktor keamanan (FK) ≤ 1.

Geometri yang digunakan pada analisis balik berdasarkan data geometri sebelum terjadi kelongsoran sedangkan data lainnya berdasarkan pada data pemboran untuk kemudian dimodelkan. Sesuai dengan data desain dan geometri sebelum terjadi kelongsoran bahwa desain awal berupa *sheet pile* dengan panjang 9 m pada tepi sungai yang diikat dengan *backpile* sedalam 12 m dengan perlapisan hasil pemboran sebagai berikut:

**Tabel 2** Profil perlapisan

Kedalaman	Lapisan	Ketebalan
0 – 14 m	Lempung	14 m
14 m – 18 m	Tuff	4 m
..> 18 m	Pasir tukaan	



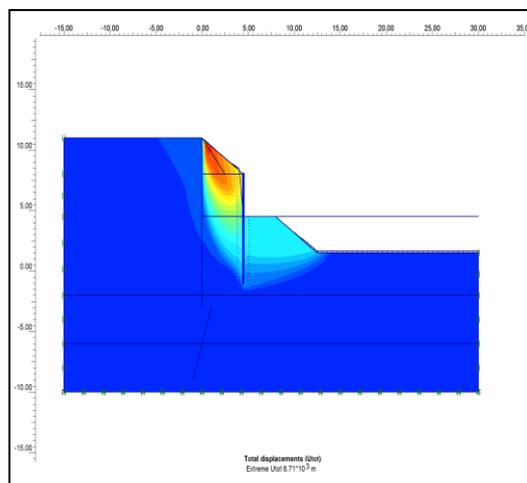
**Gambar 13** Skematisasi pada *Back Analysis*

Analisis balik dilakukan sampai dengan mendapatkan FK = 1 dan didapatkan bentuk keruntuhan lereng seperti/mirip yang terjadi di lapangan. Model hasil analisis balik telah dilakukan dengan bentuk keruntuhan seperti dilapangan

**Tabel 3** Data Parameter Teknik

Lapisan	Jenis Tanah	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)	Lokasi	Ket.
1	Lempung 1	16	22	27	Bawah jalan	<i>Back analysis</i>
2	Lempung 2	16	10	12	Tanggul	Hasil Lab
3	Tuff	17	10	25		Korelasi data SPT dan sondir
4	Pasir	18	10	35		Korelasi data SPT dan sondir

yaitu bidang kritis pada bagian atas dengan angka keamanan, FK = 0.98 seperti terlihat pada Gambar 14.



**Gambar 14** Pemodelan hasil *Back Analysis*, dengan FK = 0.98

Dari hasil analisis balik diperoleh parameter yang akan digunakan dalam analisa penanggulangan. Hasil penyelidikan laboratorium serta hubungan antara jenis tanah dan nilai SPT serta sondir juga merupakan bahan pertimbangan dalam menentukan parameter yang akan digunakan pada analisa penanggulangan.

Adapun parameter tanah yang akan digunakan sebagai parameter teknik adalah seperti tercantum pada tabel 3 di bawah ini.

**B Analisis Penanggulangan**

Setelah mendapatkan parameter yang sesuai baik dari data laboratorium dan hasil analisis balik, maka dilakukan analisis penanggulangan yang sesuai. Dengan merujuk hasil diskusi teknis bersama antara BBWS Cilicis, Kontraktor Pelaksana dan Konsultan Pengawas, pada tanggal 5 Oktober 2010 di Pusat Litbang SDA dengan terutama mempertimbangkan faktor pengawasan (*quality control*), maka tipikal desain yang terpilih adalah perkuatan *sheet pile* dan dengan *ground* ankur.

**Tabel 4** Data Parameter Teknik Tanah Timbunan

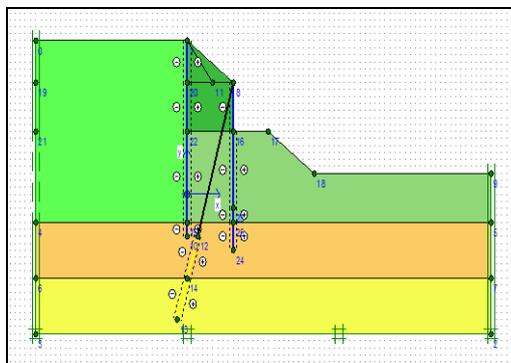
Lapisan	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)
Tanah Timbunan	16	22	27

Pada tahap analisis ini telah dilakukan 3 alternatif penanggulangan, yaitu sebagai berikut:

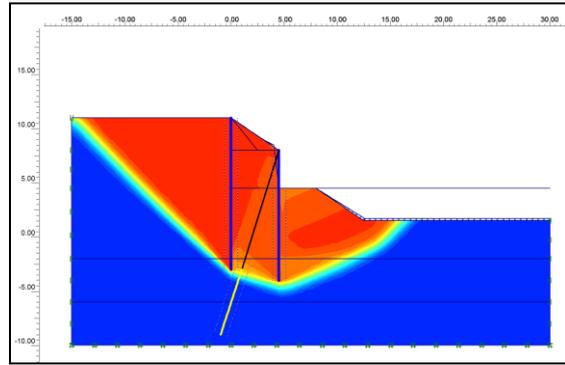
- 1 **Alternatif A.** *Sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 12 m pada sisi kanal ditambah dengan *ground anchor* dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan.
- 2 **Alternatif B.** *Sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 14 m pada sisi kanal ditambah dengan *ground anchor* dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan.
- 3 **Alternatif C.** *Sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 12 m pada sisi 3 m dari kanal ditambah dengan *ground anchor* dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan.

**a. Analisis Alternatif A**

Dalam alternatif A, desain penanggulangan adalah dengan *sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 12 m pada sisi sungai dengan *ground anchor*, serta tanah timbunan disisi depan *sheetpile* jalan diganti dengan tanah timbunan yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan yaitu kuat geser dengan parameter yang nilainya sama dengan lempung 1 ( $\gamma=16$  kN/m<sup>3</sup>,  $C=22$  kN/m<sup>2</sup>,  $\phi=27^\circ$ ). Faktor keamanan alternatif ini pada kondisi surut mendadak (*Rapid Drawdown*) adalah 1,30. Pola keruntuhan yang dihasilkan dari hasil analisis merupakan nilai stabilitas secara keseluruhan seperti terlihat pada Gambar 15.



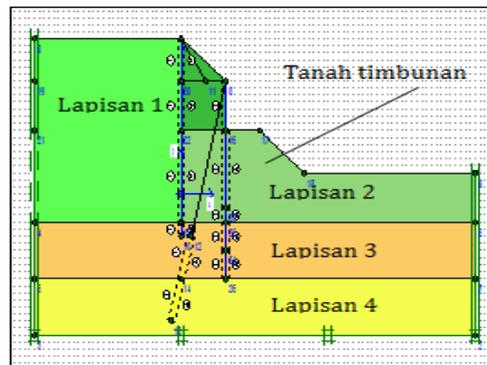
**Gambar 15** Tipikal Desain Alternatif A



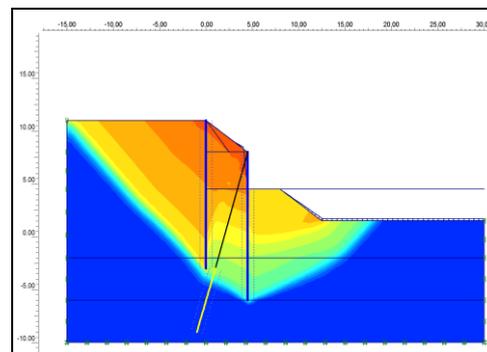
**Gambar 16** Hasil Analisis Tipikal Desain Alternatif A, FK = 1.30

**b. Analisis Alternatif B**

Dalam alternatif B, desain penanggulangan adalah dengan *sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 14 m pada sisi sungai dengan *ground anchor*, serta tanah timbunan disisi depan *sheetpile* jalan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan yaitu kuat geser dengan parameter yang nilainya sama dengan lempung 1 ( $\gamma=16$  kN/m<sup>3</sup>,  $C=22$  kN/m<sup>2</sup>,  $\phi=27^\circ$ ). Faktor keamanan alternatif ini pada kondisi surut mendadak (*Rapid Drawdown*) adalah 1.40. Pola keruntuhan yang dihasilkan dari hasil analisis merupakan nilai stabilitas secara keseluruhan seperti terlihat pada Gambar 16.



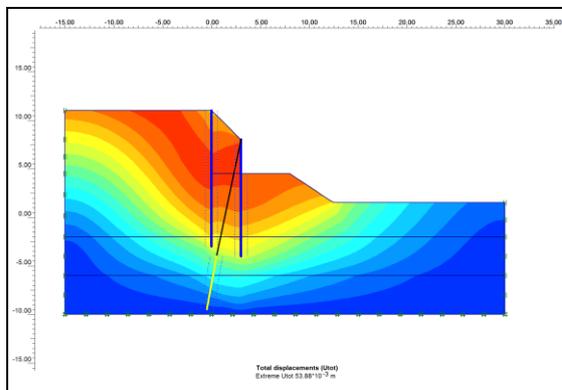
**Gambar 17** Tipikal Desain Alternatif B



**Gambar 18** Hasil Analisis Tipikal Desain Alternatif B, FK = 1,40

### c. Analisis Alternatif C

Dalam alternatif C, desain penanggulangan adalah dengan *sheetpile* 12 m disisi jalan, *sheetpile* 12 m dengan jarak 3 m dari sisi sungai dengan *ground anchor*, serta tanah timbunan disisi depan *sheetpile* jalan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan yaitu kuat geser dengan parameter yang nilainya sama dengan lempung 1 ( $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ ,  $C=22 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=27^\circ$ ). Pemilihan *sheetpile* 12 m dengan jarak 3 m dari sisi sungai ini dengan mempertimbangkan kemampuan alat lapangan dan kemudahan pelaksanaan. Faktor keamanan alternatif ini pada kondisi surut mendadak (*Rapid Drawdown*) adalah 1,25. Pola keruntuhan yang dihasilkan dari hasil analisis merupakan nilai stabilitas secara keseluruhan seperti terlihat pada Gambar 20.



**Gambar 22** Hasil Analisis Tipikal Desain Alternatif C,  $FK = 1.25$

## 3 Spesifikasi Teknis

### 1) Sheetpile

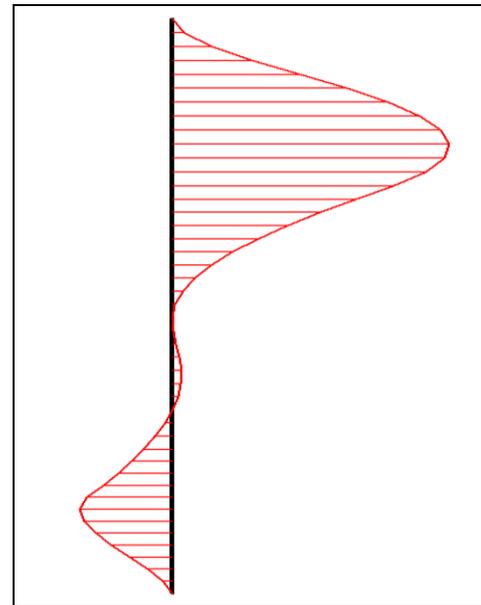
Dalam penentuan spesifikasi teknis *sheetpile* yang diperlukan pada desain perkuatan *sheetpile* pada sisi sungai adalah diagram bending momen yang bekerja pada struktur *sheetpile* tersebut. Dari hasil analisis seperti pada Gambar 23 dibawah, didapatkan spesifikasi teknis atau kemampuan *sheetpile* terhadap *bending moment* minimal adalah sebesar  $41.46 \text{ kN m/m}$ .

### 2) Ground anchor

Desain pemasangan *ground anchor*, adalah dengan spasi 6m maka dengan kemampuan gaya tarik minimal 10 kN. Desain *bond length* yaitu angkur yang dilakukan grout adalah harus terjepit sampai menembus lapisan pasir. Panjang *bond length* mulai dari lapisan tuff sampai lapisan pasir minimal adalah 8m dan panjang *unbond length* adalah 10,5m sehingga total panjang minimal 18,5m.

Sudut pemasangan *ground anchor* didesain agar menghindari atau tidak memotong *sheet pile* pada sisi jalan yaitu sekitar  $73^\circ$ . Angkur yang

didesain adalah angkur baja diameter 20 mm dengan nilai  $f_y = 400 \text{ Mpa}$ .



**Gambar 23** Hasil analisis spesifikasi *sheetpile* terhadap *bending moment* =  $41.46 \text{ kN m/m}$

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penyelidikan terdahulu didapat beberapa metode dalam penanggulangan longsoran diantaranya dengan menggunakan *ground anchor* dan, penangaan.

Analisis desain penanggulangan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa; Alternatif B yaitu *Sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 14 m pada sisi kanal ditambah dengan *ground anchor* dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan merupakan alternatif desain terbaik, karena memberikan angka keamanan paling tinggi ( $FK$  surut mendadak = 1.40). Namun, mengingat kemudahan dan ketersediaan dan kemampuan alat kontraktor yagn sedang bekerja, maka alternatif C adalah alternative yagn terpilih dengan nilai  $FK$  yang 1,25 yagn masih memenuhi persyaratan

Desain yang dipilih adalah perkuatan dengan *Sheetpile* 12 m disisi jalan, dan *sheetpile* 12 m pada sisi 3 m dari kanal ditambah dengan *ground anchor* dan tanah timbunan diganti dengan tanah yang memenuhi kuat geser yang disyaratkan.

Dalam desain penanggulangan tersebut disyaratkan hal-hal sebagai berikut: 1) Tanah timbunan memenuhi kuat geser yang disyaratkan yaitu; 2) Spesifikasi teknis atau kemampuan *sheetpile* terhadap *bending moment* minimal adalah sebesar  $41.46 \text{ kN m/m}$ ; 3) Desain pemasangan *ground anchor*, adalah dengan spasi 6 m dengan

kemampuan gaya tarik minimal 10 kN; 4) Desain *bond length* yaitu ankur yang dilakukan grout adalah harus terjepit sampai menembus lapisan pasir (lapisan 4). Panjang *bond length* adalah mulai dari lapisan tuff sampai lapisan pasir minimal adalah 8 m dan panjang *unbond length* adalah 10.5 m sehingga total panjang minimal 18.5 m; 5) Sudut pemasangan *ground anchor* didesain agar menghindari atau tidak memotong *sheet pile* pada sisi jalan yaitu sekitar  $73^{\circ}$ ; 6) Angkur yang didesain adalah ankur baja dengan diameter 20 mm dengan nilai  $f_y = 400$  Mpa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, PU. *Petunjuk Penyelidikan dan penanggulangan Gerakan Tanah*. Oktober 1986.
- Das, B. M 1995. *Mekanika Tanah dalam Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik*, Jilid 2. Jakarta : Erlangga
- Direktorat Bina Teknik. *Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran*. 2010.
- Gompul Dairi, BRE., Ir., M.Sc. dan Jalaluddin, ST., MT. *Penanganan Longsoran Badan Jalan Dengan Penjangkaran di Banda Aceh*.
- Hidayat, I. *Makalah Studi Perencanaan Penanggulangan Kelongsoran Tebing Sungai Batang Tembesi Dengan Perkuatan Lereng dan Krib Tiang Pancang*. 2008
- SNI 03-1964-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis Tanah / ASTM D 854 Test Method for Specific Gravity of Soils*.
- SNI 03-1965-1990. *Metode Pengujian Kadar air*.
- SNI 03-3637-1994. *Metode pengujian Berat isi tanah asli*
- SNI 03-1964-1990. *Metode Berat Jenis*
- SNI 03-1966-1990; SNI 03-1967-1990, *Metode pengujian Batas –batas atterberg*
- SNI 03-3423-1994, *Gradasi (ayakan dan hydrometer)*
- SNI 03-2455-1991, *Triaxial CUBP*
- P3G. 1992. *Peta Geologi Lembar Jakarta – Pulau Seribu*
- Syarifudin Firmansyah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, *Perencanaan Penanggulangan Longsoran Pada Proyek Jalan di Lokasi Bayah*. Provinsi Banten Pada STA 2 +920 s.d STA 3 + 920.