

STUDI KASUS KERUSAKAN PELINDUNG TEBING SUNGAI *GEOCELL* DI KALI MUNGKUNG DESA PATIHAN KABUPATEN SRAGEN

CASE STUDY OF GEOCELL RIVERBANK PROTECTION DAMAGE IN MUNGKUNG RIVER VILLAGE PATIHAN DISTRICT SRAGEN

Unik Sri Mulatsih¹⁾, Galih Habsoro Sundoro²⁾

^{1,2)} Balai Sungai Puslitbang Sumber Daya Air
Jl. Solo-Kartasura KM7 PO BOX 159 Surakarta 57101 telp. (0271) 719429, Fax. (0271)716406
E-mail: uniksrumulatsih@yahoo.co.id

Diterima: 8 November 2011; Disetujui: 8 Agustus 2012

ABSTRAK

Kali Mungkung mengalami kerusakan tebing yang cukup kritis di beberapa ruas. Beberapa faktor penyebabnya adalah erosi pada lereng tebing dan penggerusan pada kaki tebing yang disebabkan oleh serangan arus utama dan arus sekunder/ arus memutar serta disebabkan oleh ketidakstabilan tanahnya. Untuk mengatasi kerusakan tebing sungai tersebut maka dibangun pelindung tebing sungai dengan geocell. Namun pada saat ini sebagian bangunan pelindung tebing sungai tersebut mengalami kerusakan seperti retak-retak dan bergeser disebabkan tebing sungai bergerak akibat tanah dasar lunak dan gaya seret aliran sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penyebab kerusakan bangunan pelindung tebing sungai serta perencanaan rehabilitasinya. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh tanah timbunan yang lunak dengan nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) yang rendah. Rehabilitasi bangunan dapat dilakukan dengan perbaikan timbunan yang memiliki nilai $c = 30 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 35^\circ$, $\gamma_{dry} = 10,33 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 15,97 \text{ kN/m}^3$. Untuk memperkuat tanah timbunan dapat dilakukan dengan pemancangan cerucuk bambu. Ancaman gerusan lokal di sekitar kaki tebing diatasi dengan krib tenggelam (bottom panel) dari susunan bronjong batu yang dipasang tiap jarak 7,50 m dan di sepanjang kaki tebing diperkuat dengan batu kosong.

Kata kunci: Geocell, gaya seret, gerusan lokal, krib tenggelam, tebing sungai

ABSTRACT

Mungkung river in some segment were experience quite critical riverbank damage. Riverbank damage was caused by erosion and local scouring at riverbank and instability soil. To overcome the riverbanks damage, a riverbank protection using geocell was built. Now some buildings were damaged like cracked because of riverbank movement. The purpose of this research is to evaluate the buildings damage and rehabilitation design. The research method is quantitative descriptive. The results of this research indicate that buildings damage caused by soft fill soil with a value of cohesion (c) and shear angle (ϕ) is low. Rehabilitation design with fill soil improvements that have value $c = 30 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 35^\circ$, $\gamma_{dry} = 10,33 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 15,97 \text{ kN/m}^3$. To strengthen the fill soil carried bamboo piling. Local scouring threat around bank footing overcome by bottom panel of the groyne that's made of bucket that planted with space every 7,50 m and along the bank foot is reinforced with a stone.

Keywords: Geocell, drag forces, local scouring, krib, riverbank

PENDAHULUAN

Kali Mungkung merupakan salah satu anak Sungai Bengawan Solo yang bermata air dari Gunung Lawu. Sungai ini mempunyai panjang = 31,21 km dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) = 184,70 km². Kali Mungkung mempunyai karakteristik sungai yang cukup dinamis. Morfologi

sungai cenderung bermeander dan berubah-ubah bentuknya. Sifat tanah pada tebingnya tidak stabil dan mudah terjadi gejala gerusan. Permasalahan yang terjadi di Kali Mungkung adalah banyaknya kerusakan tebing. Salah satunya adalah kerusakan tebing sungai di Desa Patihan Kelurahan Karangtengah Kabupaten Sragen. Beberapa faktor penyebabnya adalah erosi pada lereng tebing dan

penggerusan pada kaki tebing yang disebabkan oleh serangan arus utama dan arus sekunder/ arus memutar, sehingga tebing longsor kebawah.

Untuk mengatasi kerusakan tebing sungai tersebut, pada tahun 2006 dibangun pelindung tebing sungai dengan *geocell*. Selain sebagai pelindung tebing, *geocell* juga berfungsi untuk melindungi permukaan lereng agar tidak terjadi erosi tebing. *Geocell* terbuat dari bahan sintesis *polyethelene* yang berbentuk jaring sehingga bersifat lentur. Setiap lubang jaring disebut sel. Bagian yang letaknya di atas permukaan air diisi tanah dan rumput, sedangkan sel - sel yang letaknya di bawah permukaan air diisi dengan beton.

Pada tahun 2007 dilakukan pemantauan yang hasilnya menunjukkan bahwa setelah terjadi banjir besar, pelindung tebing sungai dengan *geocell* tersebut mengalami penurunan, menggelembung dan retak-retak pada lapis beton yang menyelimuti *geocell* (lihat Gambar 1).

Kerusakan pelindung tebing sungai di bagian hulu bangunan disebabkan oleh:

- 1 Adanya penggerusan akibat aliran air pada kaki tebing/ pondasi pelindung tebing sehingga pondasi tidak kuat menahan beban *geocell*. Akibatnya pelindung tebing menggelembung dan turun ke bawah (*sliding*);
- 2 Kemungkinan tanah urugan yang digunakan untuk meninggikan kondisi tanah, termasuk tanah lunak sehingga pada saat banjir, kondisi tanah menjadi jenuh dan tidak kuat menahan beban *geocell*;
- 3 Pemadatan tanah urugan dan pemasangan cerucuk bambu pada waktu pelaksanaan kurang sempurna dan memadai.

Dalam upaya pengamanan dan pemeliharaan tebing sungai perlu adanya evaluasi kerusakan dan rehabilitasi pelindung tebing sungai dengan *geocell* sehingga tebing sungai menjadi stabil.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah antara lain:

- 1 Bagaimana mengevaluasi terjadinya longsor yang mengakibatkan kerusakan pelindung tebing sungai, terutama pada tebing sungai yang menggunakan tanah timbunan;
- 2 Bagaimana solusi perancangan rehabilitasi bangunan dalam mengatasi kerusakan pelindung tebing sungai.

Karena keterbatasan dana dan sumber daya manusia, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- 1 Panjang daerah yang ditinjau lebih kurang 25 m diukur dari lokasi bangunan kearah hulu;
- 2 Dampak negative di bagian hilir tidak diteliti;
- 3 Perancangan desain dalam rangka rehabilitasi bangunan tidak mempertimbangkan aspek biaya dan nilai ekonomis bangunan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi penyebab longsor yang mengakibatkan kerusakan pelindung tebing sungai, terutama pada tebing sungai yang menggunakan tanah timbunan dan memberikan konsep desain dalam merehabilitasi bangunan pelindung tebing sungai dalam upaya peningkatan fungsi bangunan secara optimal.



Gambar 1 Kerusakan pelindung tebing sungai dengan *geocell*

KAJIAN PUSTAKA

1 Geocell

Geocell merupakan salah satu jenis bahan geosintetis yang terbuat dari HDPE (*High Density PolyEthylene*) dengan densitas 0,93 - 0,96 g/cm³. Melihat bentuk *geocell* dalam keadaan terpasang yang menyerupai sarang tawon, diperkirakan cukup efektif untuk bangunan pelindung tebing penahan erosi. Keunggulan dari *geocell* adalah antara lain:

- 1) Usia pakai yang lama untuk lereng yang stabil;
- 2) Mudah dibawa ke lokasi proyek;
- 3) Cepat dan sederhana pemasangannya;
- 4) Mudah dibongkar dan dapat digunakan kembali;
- 5) Tahan terhadap pengaruh biologi dan kimia dari tanah.

2 Kestabilan lereng

Secara umum tanah yang longsor itu bergerak pada suatu bidang tertentu yang disebut bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Jika tebing sungai longsor maka hal itu berarti kekuatan geser tanah telah dilampaui. Dalam hal ini perlawanan geser pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut. Untuk menentukan kestabilan suatu lereng tebing sungai harus diketahui kekuatan geser tanah pada lereng tebing sungai tersebut. Kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dengan rumus :

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

keterangan:

S, kekuatan geser tanah (kN/m²),

σ , tegangan normal pada bidang geser (kN/m²),

c' , kohesi tanah (*consolidated undrain*) (kN/m²),

U, tekanan air pori (kN/m²)

ϕ' , sudut geser dalam tanah (*consolidated undrain*) (derajat).

Hal-hal yang menyebabkan ketidakstabilan tebing sungai antara lain:

- 1) Gerusan dasar sungai di bagian luar belokan juga gerusan pada kaki tebing terutama pada saat terjadi banjir;
- 2) *Rapid drawdown*, terutama untuk tebing sungai yang terbentuk dari tanah berbutir halus (banyak kandungan lempung-lanau). Tanah jenis ini berpermeabilitas rendah sehingga saat banjir surut, air yang terdapat dalam rongga pori tanah menimbulkan tambahan beban pada lereng;
- 3) Pada saat air sungai surut, air pori tanah bergerak kepermukaan dan mengangkut

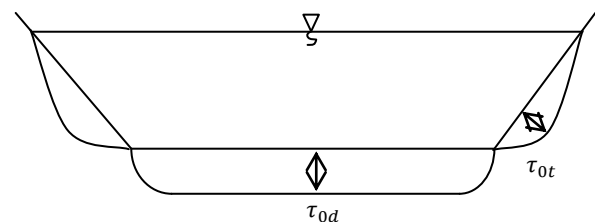
butiran halus tanah, sehingga tanah menjadi tidak padat (kuat geser turun, terutama pada tanah didekat permukaan tebing sungai). Kondisi ini berlangsung terus menerus (bertahun-tahun) sehingga terjadi erosi tebing sungai yang dapat menyebabkan gangguan stabilitas tanggul yang berada di atas tebing tersebut.

Erosi dan penggerusan tebing sungai maupun perubahan arah aliran biasanya terjadi di tempat-tempat dimana gaya tahan bahan tebing terhadap erosi lebih kecil dari pada gaya luar yang ditimbulkan oleh aliran air. Hal ini biasa terjadi pada sungai. Besarnya erosi pada tiap-tiap sungai berbeda menurut kondisi geologi dan komposisi material endapan dari sungai yang bersangkutan.

3 Gerusan lokal di tikungan sungai

Sungai didefinisikan sebagai suatu aliran terbuka dengan ukuran geometris yang berubah seiring dengan berjalannya waktu, tergantung pada debit, material dasar dan tebing, serta jumlah dan jenis sedimen yang diangkut oleh aliran. Gerusan selain terjadi pada dasar saluran juga terjadi pada tebing sungai. Pada tikungan dalam akan terjadi sedimentasi sedangkan pada tikungan luar terjadi penggerusan.

Gaya yang bekerja pada tebing sungai adalah gaya geser pada arah aliran air dan gaya akibat gravitasi. Distribusi tegangan geser pada penampang sungai ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2 Distribusi tegangan geser pada sungai

Dimana gaya seret yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau_{0d} = \rho_a \cdot g \cdot H \cdot i \quad 2)$$

$$\tau_{0t} = 0,76 \cdot \rho_a \cdot g \cdot H \cdot i \quad 3)$$

Keterangan :

τ_{0d} , tegangan geser pada dasar sungai (N/m²)

τ_{0t} , tegangan geser pada tebing sungai (N/m²)

ρ_a , rapat massa air (ton/m³)

g, percepatan gravitasi (m/s²)

H, kedalaman rata-rata sungai (m)

i, kemiringan dasar sungai

Stabilitas butiran pada aliran sungai dapat di analisa dengan membandingkan nilai tegangan geser yang terjadi (τ_0) dengan tegangan geser kritis (τ_{cr}) dengan ketentuan sebagai berikut :

- Jika $\tau_0 > \tau_{cr}$ maka butiran bergerak/ tidak stabil
- Jika $\tau_0 = \tau_{cr}$ maka butiran berada pada kondisi transisi/ seimbang
- Jika $\tau_0 < \tau_{cr}$ maka butiran diam/ stabil

4 Pemodelan stabilitas lereng dengan *plaxis*

1) Pemodelan geometri lereng

Stabilitas lereng (*slope stability*) merupakan salah satu parameter yang banyak dianalisis pada beberapa perangkat lunak analisis lereng dan struktur. Salah satu perangkat lunak yang sering digunakan sebagai alat untuk menghitung stabilitas lereng ini adalah *software Plaxis*.

Pada perangkat lunak analisis geoteknik *Plaxis versi 8*, model geometri lereng ini dapat disusun menggunakan model regangan bidang dengan 15 titik nodal dan memakai sistem analisis memperhitungkan faktor keamanan dengan menggunakan reduksi phi-c.

Pemodelan struktur lereng pada *Software Plaxis* ini selanjutnya harus memerhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- a Pada kondisi awal (*initial condition*) berat jenis air harus ditetapkan terlebih dahulu sebesar lebih kurang 10 kN/m³, sehingga tekanan air yang sepenuhnya terjadi adalah tekanan hidrostatik;
- b Kondisi batas harus ditetapkan, yaitu untuk kondisi batas vertikal sebelah kiri harus tertutup karena batas ini adalah garis simetri dimana aliran arah horizontal tidak boleh terjadi. Kondisi batas vertikal sebelah kanan juga harus tertutup karena tidak ada aliran tak terkekang keluar yang terjadi melalui batas tersebut, sedangkan kondisi batas dasar dan atas terbuka seperti apa adanya;
- c Tekanan air dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak (*software*);
- d Input selanjutnya yang juga dihitung secara otomatis pada *Plaxis* adalah nilai tegangan awal. Adapun besarnya tegangan awal dapat ditentukan dengan prosedur K_0 . Nilai K_0 yang disarankan untuk lapisan lempung dan lapisan gambut menggunakan persamaan yang diusulkan oleh *Jaky* yaitu : $K_0 = 1 - \sin \phi$.

2) Analisis angka keamanan (*safety factor*)

Pada rekayasa struktur, faktor keamanan umumnya didefinisikan sebagai rasio dari beban runtuh terhadap beban kerja. Dengan menerapkan standar dari *Coulomb*, faktor keamanan dapat diperoleh sebagai berikut :

$$SF = \frac{c - \sigma_n \cdot \tan \phi}{c_r - \sigma_n \cdot \tan \phi_r} \quad 4)$$

Keterangan:

c dan ϕ , masukan parameter kekuatan

σ_n , komponen tegangan normal actual.

c_r dan ϕ_r , parameter kekuatan tereduksi yang mempunyai nilai tepat untuk mempertahankan keseimbangan

Prinsip di atas adalah dasar dari metode Reduksi phi-c yang dapat digunakan dalam *Plaxis* untuk menghitung faktor keamanan global. Dengan pendekatan ini maka kohesi dan tangen dari sudut geser direduksi dengan proporsi yang sama :

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \sum Msf \quad 5)$$

Reduksi parameter kekuatan diatur oleh faktor pengali total $\sum Msf$. Parameter ini akan ditingkatkan secara bertahap hingga keruntuhan terjadi. Faktor keamanan kemudian didefinisikan sebagai nilai $\sum Msf$ saat keruntuhan terjadi, hanya jika saat keruntuhan terjadi suatu nilai yang kurang lebih konstan telah diperoleh untuk beberapa langkah pembebanan secara berturut-turut.

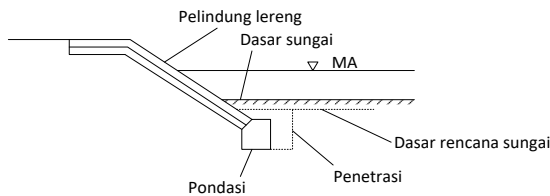
Langkah selanjutnya untuk mengevaluasi faktor keamanan adalah dengan menggambarkan suatu kurva dimana parameter $\sum Msf$ digambarkan terhadap perpindahan untuk suatu titik nodal tertentu.

3) Pondasi lereng

Beberapa tipe perkuatan lereng yang cocok untuk kondisi tebing sungai yang pernah dibangun dengan hasil yang cukup baik antara lain adalah sebagai berikut :

a. Tipe pondasi rendah

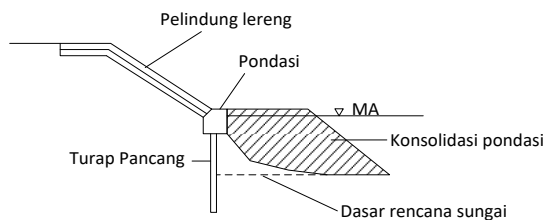
Tipe ini merupakan tipe yang paling umum dipergunakan dan dapat dianggap sebagai tipe yang standar karena pelaksanaannya mudah, terutama pada lokasi yang mudah dikeringkan hanya dengan kist dam yang sederhana atau dengan mengalihkan aliran sungai. Pada tipe ini tidak diperlukan adanya pelindung kaki atau pelindung pondasi, karena pondasinya telah diletakkan pada posisinya yang aman dan tidak akan terjangkau oleh gerusan arus sungai. Walaupun demikian pada sungai-sungai dengan arus yang deras atau pada bagian-bagian yang kemungkinan terjadi pukulan air, dapat dibuat konsolidasi pondasi ringan guna mencegah kerusakan-kerusakan akibat gerusan untuk masa-masa yang akan datang.



Gambar 3 Tipe pondasi rendah

b. Tipe pondasi tinggi

Tipe ini dipergunakan pada sungai-sungai yang sukar dikeringkan, sehingga pekerjaan penggalian dan pembuatan pondasi perkuatan lereng tidak dapat dikerjakan dalam keadaan kering. Dalam hal ini pelindung kaki berfungsi pula sebagai landasan pondasi dan konstruksi pondasinya terdiri dari turap pancang beton atau baja. Selain itu dilengkapi pula dengan konsolidasi pondasi di depan pelindung kaki yang berfungsi untuk memperkuat pelindung kaki tersebut dan melindungi permukaan dasar sungai di depan kaki perkuatan lereng.

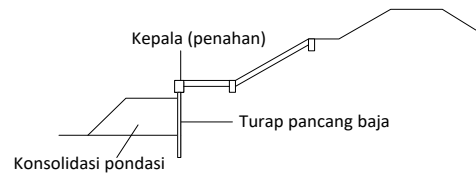


Gambar 4 Tipe pondasi tinggi

c. Tipe turap

Dibandingkan kedua tipe di atas, biaya untuk pembuatan tipe turap (*plank hurdle work type*) lebih tinggi, karenanya tipe ini hanya dipergunakan jika sulit dikerjakan dengan kedua tipe di atas. Tipe perkuatan tebing dengan turap pancang ini ada beberapa jenis, yaitu : Turap Pancang Baja (*Steel Sheet Pile*), Turap Kayu/Papan (*Wooden plank hurdle work*), Turap Beton (*Concrete plank hurdle work*), Turap Pancang Beton (*Concrete sheet pile*). Perkuatan lereng turap pancang baja dapat dilaksanakan dengan mudah pada sungai yang airnya cukup dalam dan sulit dikeringkan. Selain itu kekedapannya hampir sempurna, sehingga tidak ada kekhawatiran tersedotnya butiran tanah dari belakang turap tersebut. pada umumnya untuk perkuatan lereng tipe ini terdiri dari turap pancang baja yang berdiri sendiri. (*self standing type*). Untuk sungai-sungai yang airnya dalam dan tekanan tanah di belakang turap cukup besar, maka turap dilengkapi dengan angker yang kadang-

kadang lebih dari satu, sehingga sebagian dari tekanan tanah dapat ditampung oleh angker tersebut.



Gambar 5 Tipe perkuatan dengan turap

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini deskriptif analisis yaitu memaparkan masalah yang ada dan menganalisis dengan data dan informasi yang telah tersedia.

Tahapan evaluasi dan rehabilitasi pelindung tebing dengan *geocell* menggunakan *software plaxis* sebagai berikut:

1 Analisis longsor

Pada analisis longsor ini titik tinjau diambil pada daerah yang cukup parah mengalami longsor. Skenario yang dilakukan dalam perhitungan adalah analisis perhitungan sesaat setelah konstruksi, pada saat air normal, air banjir dan surut cepat (air tanah pada elevasi tanah tebing sedang kondisi air sungai surut). Pada analisis longsor ini sifat fisik tanah diuji laboratorium tanah berdasarkan hasil pengeboran. Hasil analisis longsor ini menunjukkan faktor keamanan berbagai kondisi tersebut diatas jika hasilnya $SF < 1,5$ berarti tebing sungai mengalami longsor tetapi bila $SF > 1,5$ tebing stabil maka perlu dilakukan analisis balik (*back analysis*).

2 Analisis balik (*back analysis*)

Skenario analisis balik ini dilakukan untuk menirukan kondisi sesuai dengan keadaan di lapangan. Perilaku yang ditirukan adalah sifat fisik tanah sebelum longsor (kondisi tanah asli) dengan mencari pola longsor seperti terjadi di lapangan. Analisis balik dilakukan dengan meninjau beberapa kondisi yaitu pada saat air kering, air normal, air banjir dan surut cepat. Metode yang dilakukan untuk analisis balik ini adalah dengan cara coba-coba mengubah parameter teknik tanah (nilai c dan ϕ), sehingga didapat angka keamanan $SF \approx 1$ dengan pola longsor menyerupai kondisi longsor di lapangan.

3 Analisis perancangan rehabilitasi

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan konsep pendekatan perbaikan sifat fisik tanah timbunan guna mendapatkan nilai stabilitas/keamanan di atas nilai persyaratan minimal ($SF > 1,5$), dengan penampang tebing sungai seperti desain awal. Tinjauan dilakukan terhadap nilai

keamanan dengan berbagai kondisi seperti yang dilakukan pada analisis sebelumnya baik stabilitas tanah maupun strukturnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan di lapangan, pada tebing sungai yang longsor tidak terjadi gerusan lokal. Dari uji laboratorium didapatkan parameter teknik tanah yang akan digunakan sebagai dasar analisis longsoran tebing sungai. Pengeboran untuk pengambilan sampel tersebut diambil di sekitar lokasi kerusakan bangunan pelindung tebing sungai yaitu pada profil 4 seperti terlihat dalam Gambar 6 dan Gambar 7.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan dan dilakukan uji laboratorium sebagai

dasar untuk mengevaluasi penyebab kerusakan bangunan maupun rehabilitasinya, dalam penelitian ini maka didapat hasil uji laboratorium sebagai berikut :

Data lapis 1 : kedalaman 0 – 2 m

$c = 15,93 \text{ kN/m}^2$

$\phi = 31,74^\circ$

$\gamma_d = 10,33 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_s = 15,97 \text{ kN/m}^3$

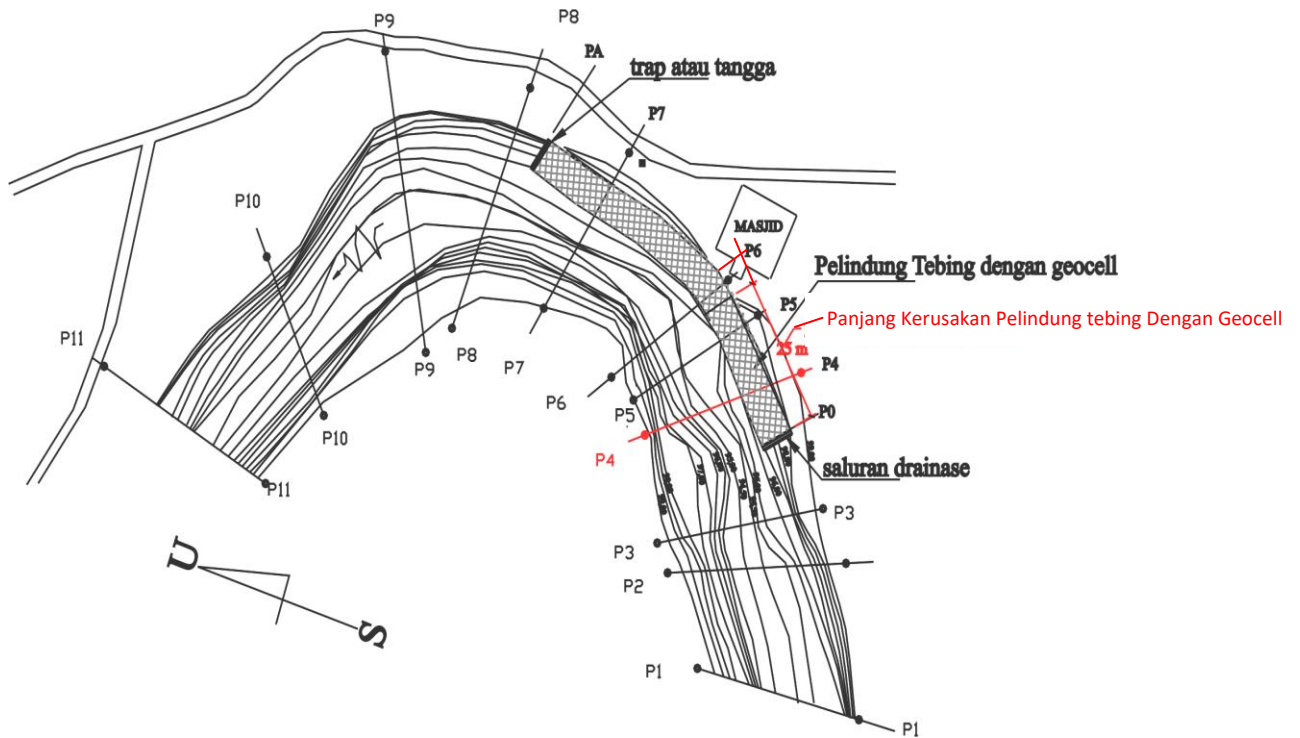
Data lapis 2 : kedalaman > 2 m

$c = 24,71 \text{ kN/m}^2$

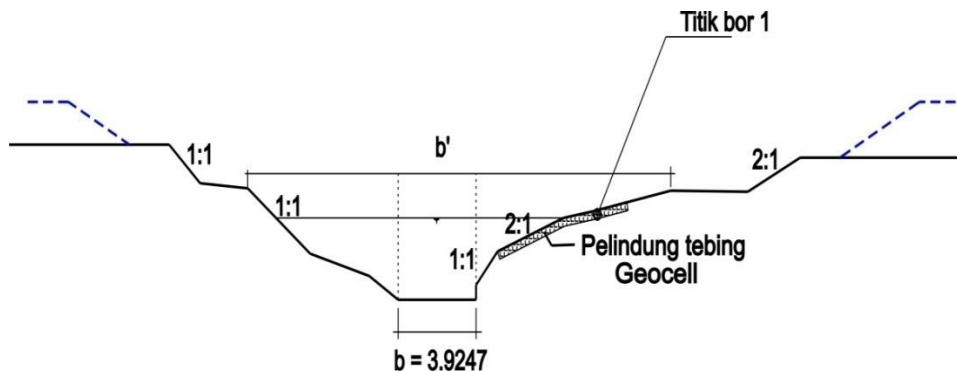
$\phi = 27,13^\circ$

$\gamma_d = 10,03 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_s = 15,34 \text{ kN/m}^3$



Gambar 6 Situasi sungai daerah tinjauan



Gambar 7 Lokasi pengambilan sampel tanah di profil 4

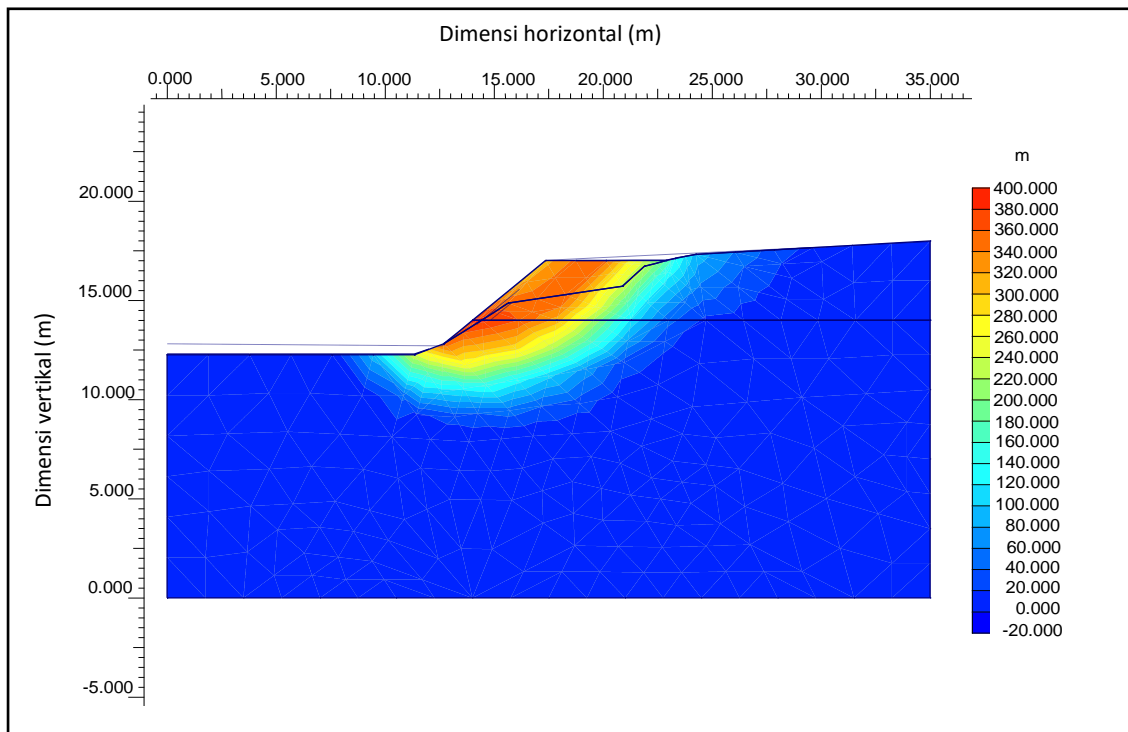
1 Analisis longsoran (sliding)

Analisis longsor dengan *software plaxis* mengambil titik tinjau di profil 5, karena daerah ini yang mengalami longsor tebing cukup parah. Skenario analisis perhitungan dalam kondisi pada saat air kering, air normal, air banjir dan surut cepat (air tanah pada elevasi tanah tebing sedang kondisi air sungai surut). Pada analisis longsor ini sifat fisik tanah yang akan digunakan diambil dari hasil uji laboratorium tersebut di atas. Hasil analisis longsor ditunjukkan pada Tabel 1.

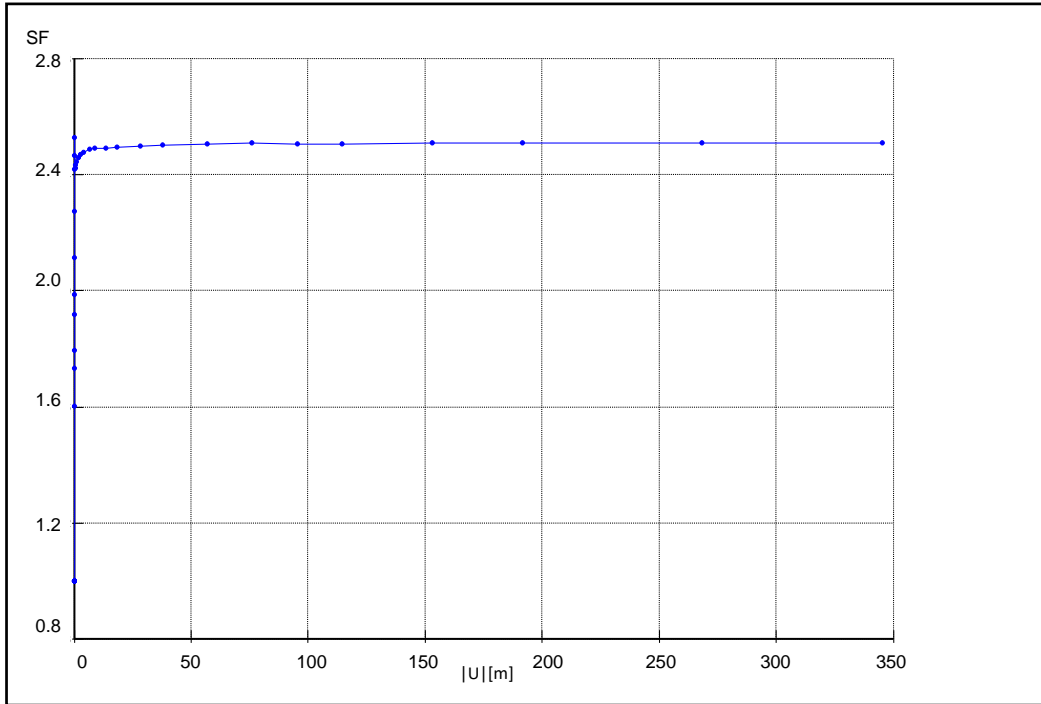
Secara umum kondisi awal tebing sungai dalam keadaan stabil dengan nilai stabilitas terendah mencapai, $SF = 2,50$, yaitu dalam kondisi surut cepat (pola kelongsoran dan angka keamanan ditunjukkan dalam Gambar 8 dan Gambar 9). Hal ini bisa dimengerti karena pengambilan contoh material tanah dilakukan setelah terjadi kelongsoran dan kondisi tanah sudah stabil, sehingga kondisi ini sangat berbeda dengan kondisi tanah sebelum longsor. Untuk mendapatkan gambaran kondisi sifat fisik tanah sebelum terjadi longsor, maka dilakukan analisis balik (*back analysis*).

Tabel 1 Hasil rekapitulasi faktor keamanan

Kondisi	Faktor Keamanan (SF)
Kondisi sesaat setelah konstruksi (sungai kering)	3,79
Kondisi muka air normal	4,58
Kondisi muka air banjir	6,69
Kondisi surut cepat	2,50



Gambar 8 Pola longsor pada kondisi surut cepat



Gambar 9 Angka keamanan kondisi surut cepat

2 Analisis balik (back analysis)

Analisis balik ini dilakukan untuk menirukan kondisi sedapat mungkin sesuai dengan keadaan di lapangan. Perilaku yang coba ditirukan /dicari adalah parameter tanah sebelum longsor (kondisi tanah asli) dengan mencari pola longsor seperti yang telah terjadi. Sama seperti pada analisis sebelumnya, pada analisis balik ini data penampang sungai yang digunakan sebagai acuan adalah Profil 5 yang mengalami longsor paling kritis di lapangan.

Untuk analisis balik dibuat skematisasi berdasarkan kondisi lapangan dan hasil analisis balik pola longoran. Metode yang dilakukan untuk analisis ini adalah dengan cara coba-coba mengubah parameter teknik tanah (c dan φ), sehingga didapatkan besar angka keamanan mendekati satu, SF ≈ 1 dengan pola kelongsoran yang menyerupai kondisi longsor di lokasi pelindung tebing sungai.

Dari hasil analisis didapatkan sifat fisik tanah yang menghasilkan perilaku longoran seperti hasil pengukuran adalah sebagai berikut:

Lapis 1 : kedalaman 0 – 2 m

- c, 8 kN/m²
- φ, 10°
- γ_d, 10,33 kN/m³
- γ_s, 15,97 kN/m³

Lapis 2 : kedalaman > 2 m

- c, 10 kN/m²
- φ, 10°
- γ_d, 10,03 kN/m³
- γ_s, 15,34 kN/m³

Lapisan geocell (dicor beton) :
 γ_d, 24 kN/m³

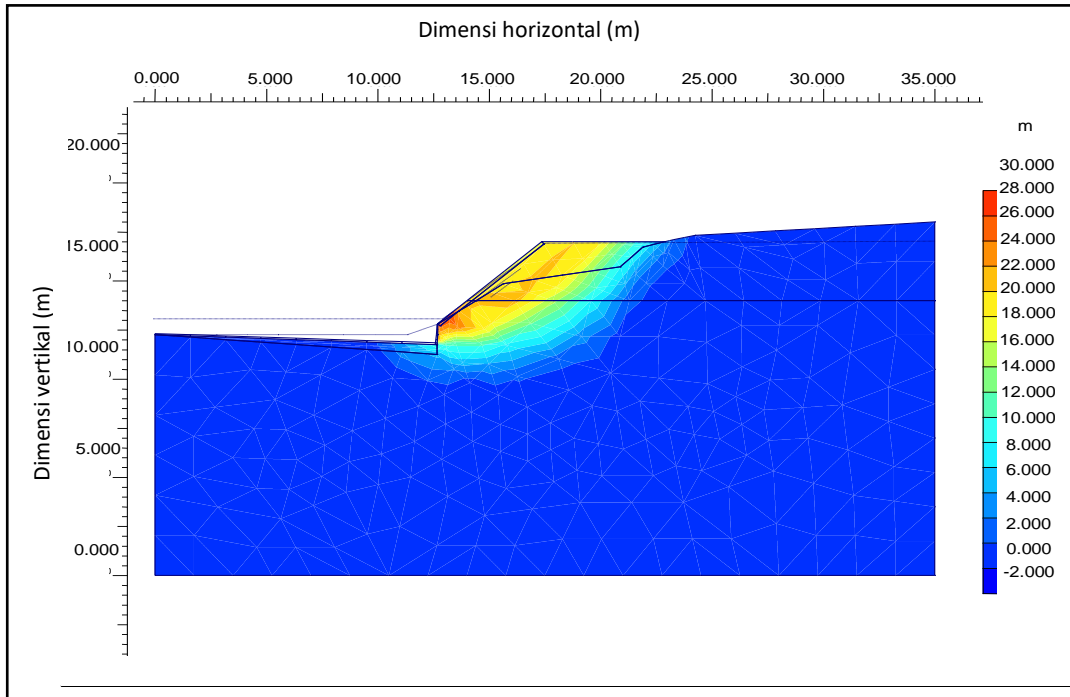
Besar angka keamanan hasil analisis balik, SF = 0,998 (pola longoran dan angka keamanan ditunjukkan dalam Gambar 10 dan Gambar 11).

3 Analisis penanggulangan dan rehabilitasi

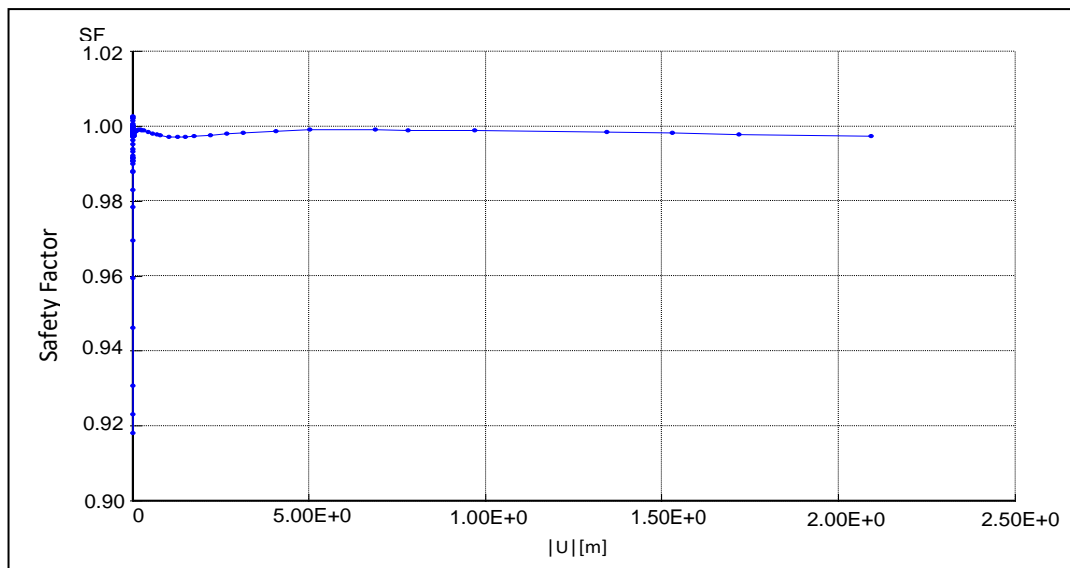
Direncanakan ada dua alternatif penanggulangan kerusakan pelindung tebing sungai dengan geocell.

1) Alternatif I

Konsep pendekatan dalam analisis penanggulangan longoran tebing sungai dengan geocell ini adalah dengan melakukan perbaikan pada parameter teknik tanah di sekitar lokasi longoran. Guna mendapatkan nilai stabilitas/ keamanan di atas nilai persyaratan minimal (SF > 1,5) dengan penampang tebing sungai seperti desain awal dengan berbagai kondisi muka air yang dapat terjadi di lokasi. Perbaikan tanah dimulai dengan menggali dari ujung kaki tebing sungai yang telah longsor selebar 5 m ke arah tebing dan diteruskan ke atas dengan kemiringan 1:1 sampai elevasi atas tebing sungai.



Gambar 10 Pola longsoran hasil analisis balik



Gambar 11 Angka keamanan analisis balik SF = 0,998 (tidak aman < 1,00)

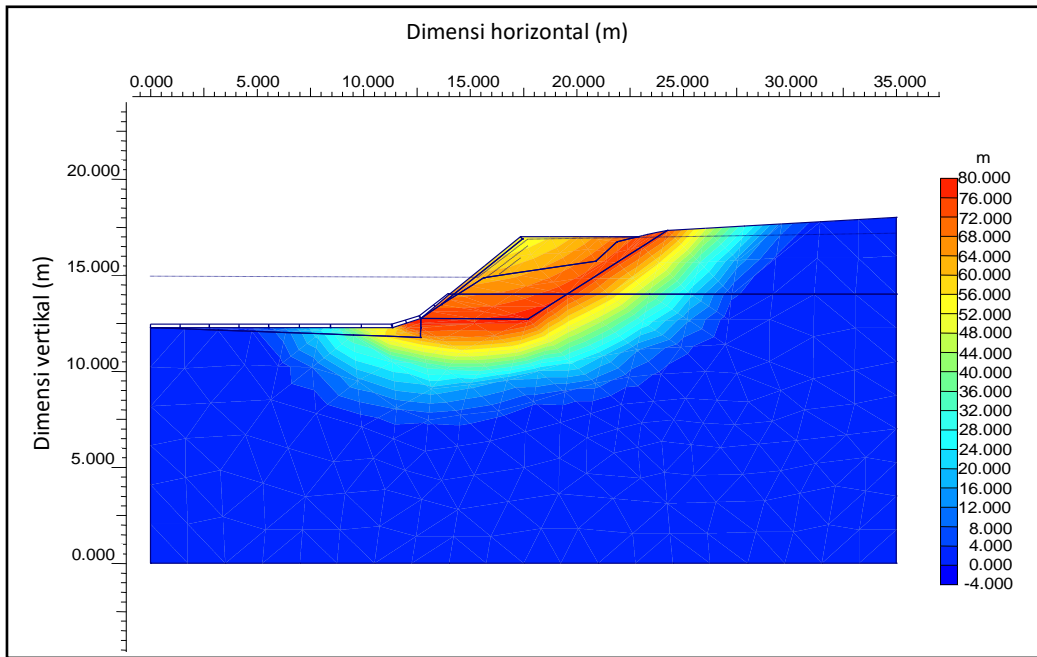
Untuk mendapatkan stabilitas cukup ($SF > 1,5$) diperlukan perbaikan tanah pada tanah timbunan sehingga didapatkan parameter tanah timbunan sebagai berikut:

- c, 30 kN/m²
- ϕ , 35°
- γ_d , 10,33 kN/m³
- γ_s , 15,97 kN/m³

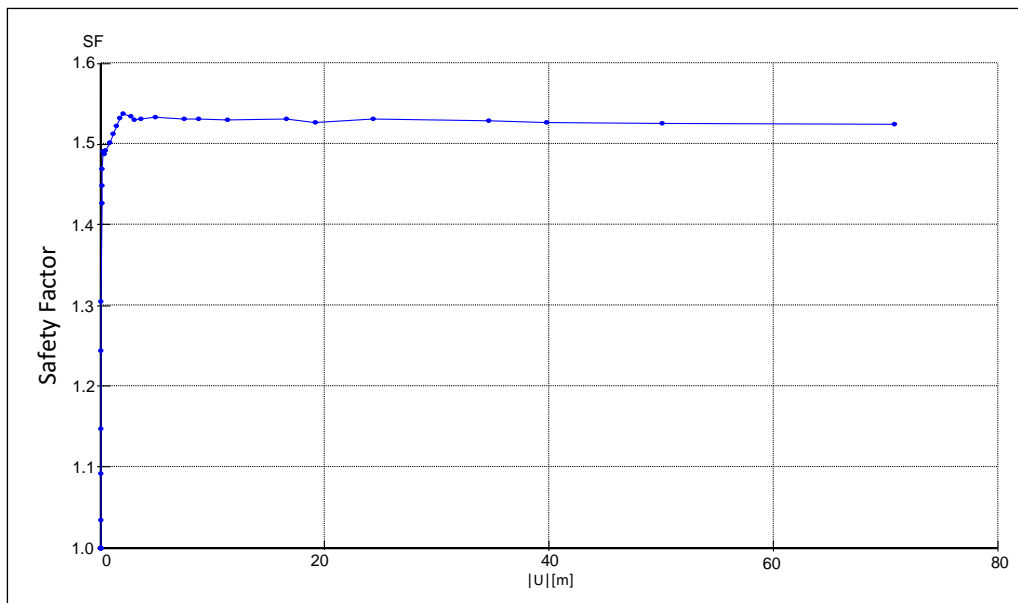
Dari hasil analisis tersebut didapatkan besar angka keamanan, SF untuk berbagai kondisi muka air sebagai berikut:

- Untuk kondisi air kecil, SF = 1,66
- Kondisi muka air normal, SF = 2,04
- Kondisi muka air banjir, SF = 2,72
- Kondisi muka air surut cepat, SF = 1,52

Dari evaluasi kondisi awal, secara umum tebing sungai dalam keadaan stabil dengan nilai stabilitas terendah mencapai, SF = 1,52 (pola longsoran dan angka keamanan lihat Gambar 12 dan Gambar 13).



Gambar 12 Pola longsoran kondisi surut cepat

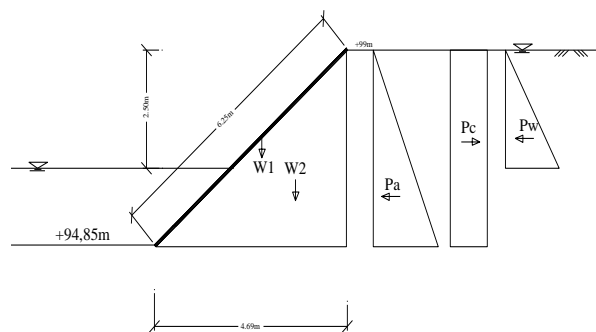


Gambar 13 Angka keamanan kondisi surut cepat SF = 1.52 (aman SF > 1,00)

2) Stabilitas struktur

Skematisasi dalam analisis stabilitas struktur yang didasarkan gaya aktif pasif tanah seperti terlihat pada Gambar 14 berikut.

- W1 : Berat sendiri *geocell* (kN/m')
- W2 : Berat sendiri tebing sungai (kN/m')
- Pa : Tekanan tanah aktif (kN/m')
- Pc : Tekanan tanah pasif (kN/m')
- Pw : Tekanan air tanah (kN/m')



Gambar 14 Skema analisis stabilitas struktur

Tekanan Tanah Aktif :
 Tekanan Kohesi Tanah :
 $F_a = 7,29 \text{ kN/m}^2$
 $F_c = 31,25 \text{ kN/m}^2$
 $P_a = 16,40 \text{ kN/m}'$
 $P_c = 140,62 \text{ kN/m}'$
 $M_{pa} = 24,59 \text{ kN.m/m}'$
 $M_{Pc} = 316,39 \text{ kN.m/m}'$

Tekanan Air Tanah :
 $F_w = 25,00 \text{ kN/m}^2$
 $P_w = 31,25 \text{ kN/m}'$
 $M_{Pw} = 104,17 \text{ kN.m/m}'$

Berat Sendiri Struktur :
 $W_1 = 12,50 \text{ kN/m}'$
 $MW_1 = 39,06 \text{ kN.m/m}'$
 $W_2 = 53,73 \text{ kN/m}'$
 $MW_2 = 120,89 \text{ kN.m/m}'$
 $W_T = 66,23 \text{ kN/m}'$
 $MW_T = 159,96 \text{ kN.m/m}'$

Resume Gaya dan Momen Aktif :
 $PA_{Tot} = 47,65 \text{ kN/m}'$
 $MA_{Tot} = 128,76 \text{ kN.m/m}'$

Resume Gaya dan Momen Tanah :
 $PT_{Tot} = 169,20 \text{ kN/m}'$
 $MT_{Tot} = 476,35 \text{ kN.m/m}'$

Angka Keamanan / Stabilitas :
 $SF_{Geser} = 3,55$
 $SF_{Guling} = 3,70$

Diperoleh $SF_{geser} = 3,55$ dan $SF_{guling} = 3,70$. Dari evaluasi kondisi awal tebing sungai secara umum dalam keadaan stabil dengan nilai stabilitas terendah mencapai, $SF = 3,55$.

3) Alternatif 2

Untuk menghitung stabilitas cerucuk bambu terhadap guling, digunakan data debit maksimum dengan periode ulang seperti diperlihatkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Debit maksimum kala ulang Kali Mungking

Kala Ulang (tahun)	Debit (m^3/det)
2	86,51
5	150,68
10	207,87
25	300,32

Dalam perancangan desain trucuk bambu diambil titik tinjau pada daerah dimana pelindung tebing mengalami longsor yang cukup parah yaitu pada Profil 5. Desain trucuk bambu dengan menggunakan debit 5 tahunan (Q_{5th}) = 150,68 m^3/s . Dengan rumus Manning didapat rating curve hubungan antara debit dengan tinggi muka air pada profil 5 (lihat Gambar 15).

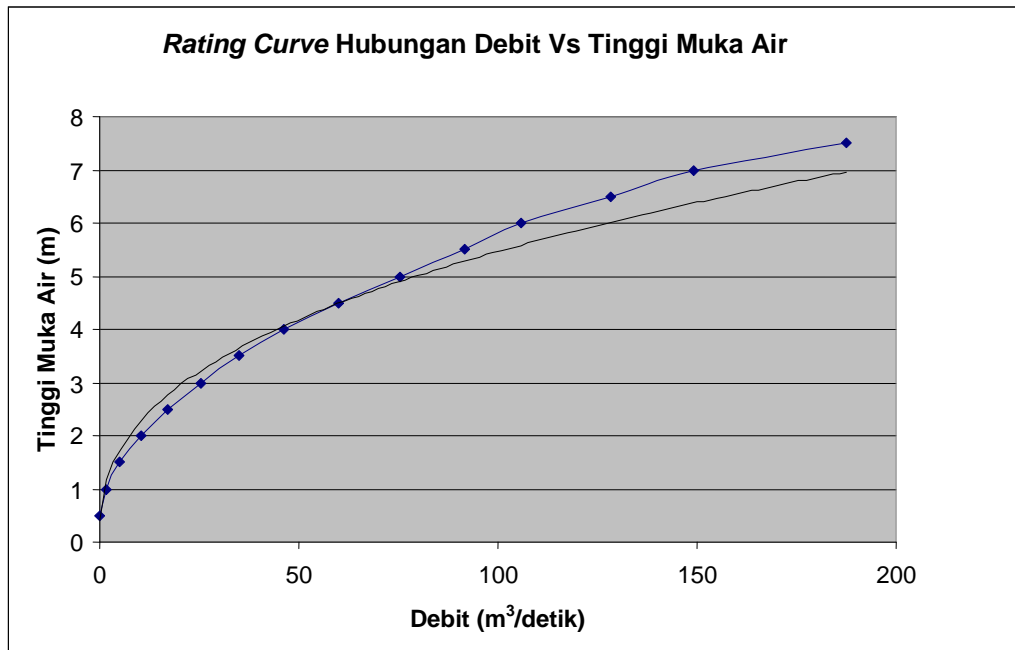
Dari rating curve di atas dapat disimpulkan bahwa debit 5 tahunan (Q_{5th}) = 150,68 m^3 berada pada TMA (Tinggi Muka Air) + 7,20 meter.

Perhitungan stabilitas trucuk bambu dilakukan untuk 3 kondisi air sungai, yaitu : saat air banjir, saat air normal, dan saat air kering. Adapun data-data yang digunakan dalam perhitungan yaitu :

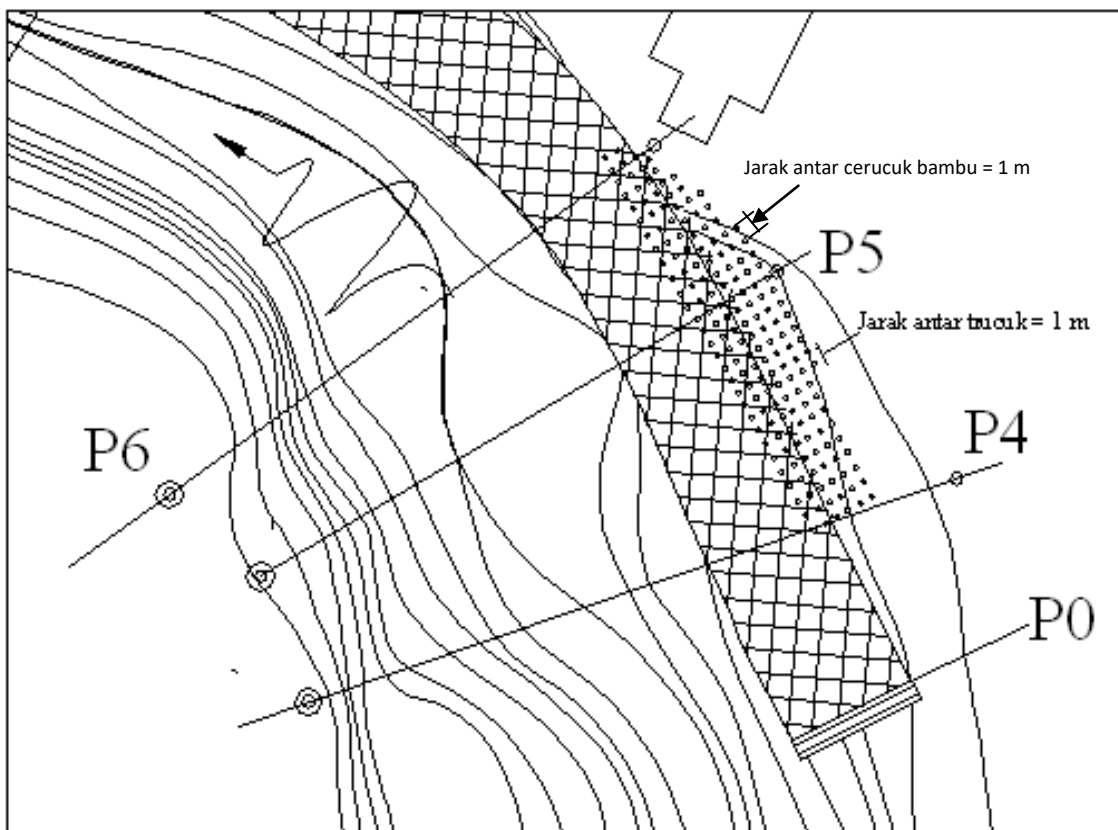
$c = 10 \text{ kN/m}^2$
 $\phi = 35^\circ$
 $\gamma_d = 1,083 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_s = 1,597 \text{ T/m}^3$
 $k_a = \text{tg}^2(45^\circ - 1/2 \Phi) = 0,271$
 $k_p = 1/k_a = 1/0,271 = 3,69$

Syarat aman = momen pasif/momen aktif > 1,5

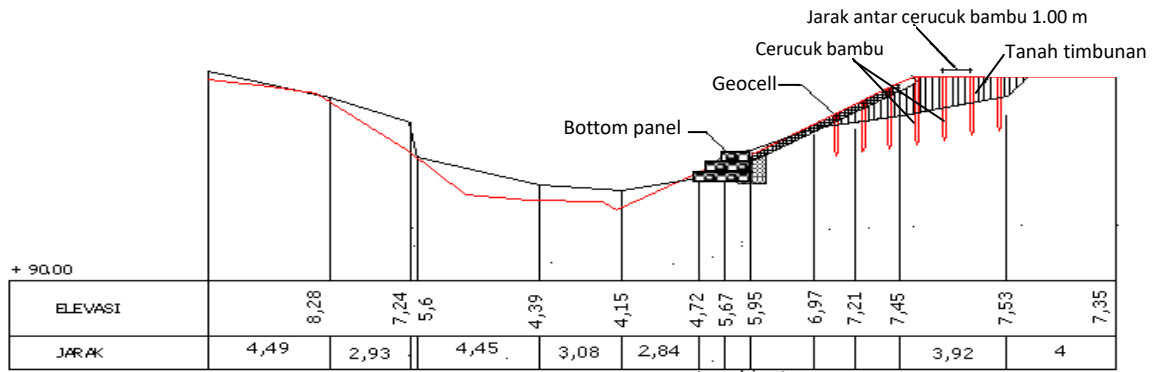
Dari hasil *trial and error* didapat kedalaman cerucuk yang optimal untuk kondisi debit banjir adalah 1,45 m; kondisi debit normal adalah 1,30 m; dan kondisi debit minimal adalah 1,46 m. Untuk itu kedalaman cerucuk bambu yang aman untuk berbagai kondisi diambil sedalam 1,5 m dengan pemasangan cerucuk bambu diambil pada jarak tiap 1,00 m. Perancangan penanggulangannya seperti ditunjukkan dalam Gambar 16 sampai Gambar 19.



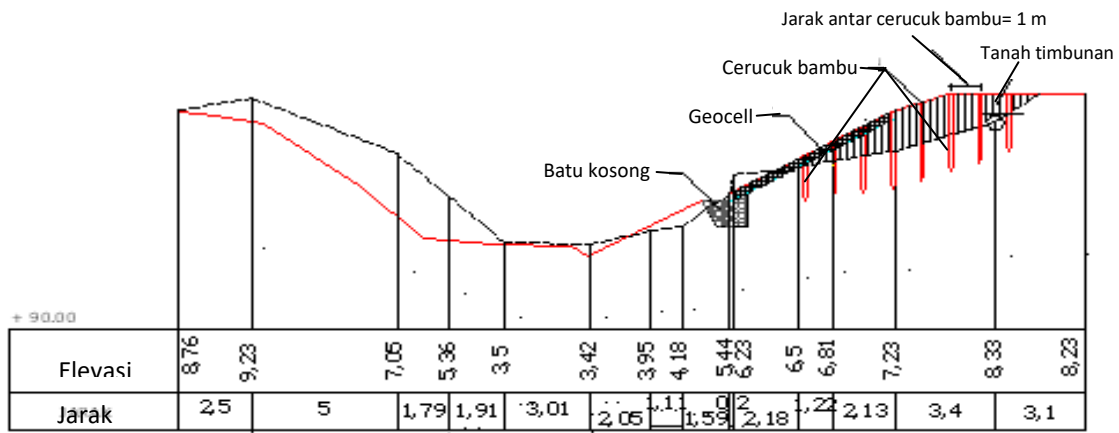
Gambar 15 Rating curve hubungan debit dengan tinggi muka air



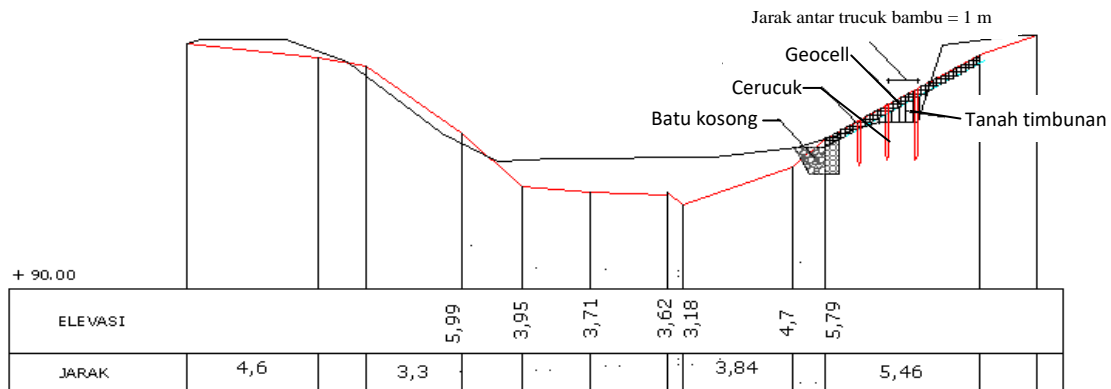
Gambar 16 Denah penempatan cerucuk bambu



Gambar 17 Penampang melintang desain di P4



Gambar 18 Penampang melintang desain di P5



Gambar 19 Penampang melintang desain di P6

4 Pemilihan alternatif perancangan desain rehabilitasi

Dalam pemilihan alternatif yang paling efektif dari aspek teknik tanpa mempertimbangkan aspek biaya dan aspek ekonomis adalah alternatif II. Pertimbangan ini diambil karena tanah di bawah tanah timbunan kondisinya sudah stabil setelah terjadi penurunan. Parameter teknik tanah

minimum yang diizinkan untuk tanah timbunan adalah $C = 30 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 35^\circ$, $\gamma_d = 10,33 \text{ kN/m}^3$, dan $\gamma_s = 15,97 \text{ kN/m}^3$. Untuk melindungi gerusan pada kaki tebing dipasang krib tenggelam (*bottom panel*) tiap jarak 7,50 m dan di sepanjang kaki tebing diperkuat dengan batu kosong dengan kedalaman 1,00 m.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

Evaluasi penyebab longsor yang mengakibatkan kerusakan bangunan telah dilakukan dengan analisis balik (*back analysis*). Hasil analisis menunjukkan sifat fisik tanah timbunan sebelum longsor. Perilaku yang memacu terjadinya longsor adalah rendahnya nilai kohesi (c) dan sudut geser (φ) tanah timbunan sebagai pembentuk lereng baru untuk pelindung tebing sungai. Penggunaan *geocell* disyaratkan pada tanah yang stabil (memenuhi syarat dengan sifat fisik tanah yangizinkan yaitu $c = 30 \text{ kN/m}^2$, $\varphi = 35^\circ$, $\gamma_d = 10,33 \text{ kN/m}^3$, dan $\gamma_s = 15,97 \text{ kN/m}^3$).

Rehabilitasi perancangan desain pelindung tebing sungai dengan *geocell* yang paling efektif adalah dengan pemancangan cerucuk bambu pada tanah timbunan dengan kedalaman 1.50 m dengan jarak 1,00 m. Sedangkan untuk mengatasi gerusan pada kaki tebing dipasang krib tenggelam (*bottom panel*) tiap jarak 7.50 m dan disepanjang kaki tebing diperkuat dengan batu kosong.

DAFTAR PUSTAKA

- Ibnu Hidayat, dkk. 2008. Studi perencanaan Penanggulangan Kelongsoran Tebing Sungai Batang Tembesi dengan Perkuatan Lereng dan Krib Tiang Pancang. *Jurnal Sondir Institut Teknologi Nasional Malang*.
- Kiyotoka Mori, L. 2003. *Taulu, Hidrologi untuk Pengairan*, Paradnya Paramita, Jakarta.
- Senf Daniel F, *Geoweb Cellular Confinement System Material Specification*. Presto Products Company.
<http://www.prestogeo.com/GWMS-13-May-03>
- PT. Sarana Dian Persada Consulting Service. *Laporan Akhir Pekerjaan Review Design Wilayah Jawa Tengah*. PT. Sarana Dian Persada Consulting Service
- Rahardjanto, dkk. 2003. *Penelitian Dumpstone dan Broken Rocks sebagai pelindung Tebing Sungai*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung.
- Syaifuddin, dkk. 2006. *Penelitian Efektifitas Pelindung Tebing Sungai dengan Geocell*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Bandung.