

SOIL NAILING DAN ANCHOR SEBAGAI SOLUSI APLIKATIF PENAHAN TANAH UNTUK POTENSI LONGSOR DI STA 7+250 RUAS JALAN MANADO-TOMOHON

Hendra Riogilang

Dosen Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi

Christian Pontororing, Anda Mekel

Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Soil Nailing dan Anchor merupakan konstruksi yang masih terbilang jarang digunakan di Sulawesi Utara. Penelitian ini mengkaji akan kebutuhan konstruksi tersebut ditinjau dari segi kekuatan dan penggunaan lahan untuk konstruksi. Dengan mengambil sampel tanah dari salah satu titik longsor yang terjadi pada 15 Januari 2014 kala itu juga banjir bandang melanda Kota Manado, kemudian data tanah tersebut di masukkan ke dalam program Plaxis 2D yang dianalisis berdasarkan Finite Element Method dengan data profil potongan melintang kemiringan lereng sesuai kondisi lapangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa solusi ini dianggap tepat dan mampu menahan tanah dari kemungkinan longsor meski pada kondisi tanah jenuh air sepenuhnya.

Kata Kunci : Soil Nailing, Anchor, Plaxis 2D, Finite Element Method

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan konstruksi penahan tanah akhir-akhir ini dianggap perlu khususnya untuk daerah yang berpotensi longsor besar seperti di Sulawesi Utara. Khusus disepertaran kelurahan Tinoor, Kota Tomohon yang merupakan layanan penghubung kawasan berkembang dan pusat kegiatan wilayah antara Kota Manado dan Kota Tomohon, tepatnya di STA 7+250 merupakan salah satu titik longsor pada 15 Januari 2014, kala itu Banjir Bandang melanda Kota Manado.

Konstruksi yang dipilih adalah *Soil Nailing* dan *Anchor*. Tinjauan konstruksi ini adalah dari segi penggunaan lahan dan tentunya kekuatan atau keamanannya. Solusi ini dianggap tepat dan mampu menahan tanah dari kemungkinan longsor meski pada kondisi tanah jenuh air sepenuhnya atau curah hujan tinggi seperti pada 15 Januari 2014 lalu.

Perumusan Masalah

Dengan diperolehnya data parameter tanah dari uji laboratorium akan dibuat suatu model potongan melintang yang kemudian dipelajari untuk potensi kelongsoran yang terjadi dan ketika digunakan struktur penahan tanahnya yang dianalisa dengan metode elemen hingga pada program Plaxis.

Batasan masalah

Pembatasan masalah ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Kestabilan lereng ditentukan dengan hasil visual dari Output Program Plaxis
2. Data material khususnya untuk Soil Nailing dan Anchor menggunakan default yang ada dalam Program Plaxis
3. Kondisi air tanah pada Program Plaxis digunakan kondisi jenuh air sepenuhnya.
4. Metode yang digunakan adalah Finite Element Method (FEM) pada program komputasi Plaxis.
5. Beban yang dihitung hanya berupa berat sendiri tanah, dan material Soil Nailing dan Jangkar.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan desain konstruksi yang penggunaan lahannya kecil dan mampu menahan tanah serta aman dalam menanggulangi potensi longsor di STA 7+250 Jalan Raya Manado Tomohon.

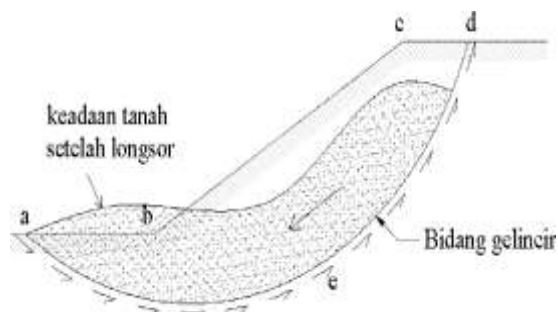
Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah bisa menjadi acuan untuk solusi penanganan potensi longsor yang aman dan tepat.

LANDASAN TEORI

Stabilitas Lereng

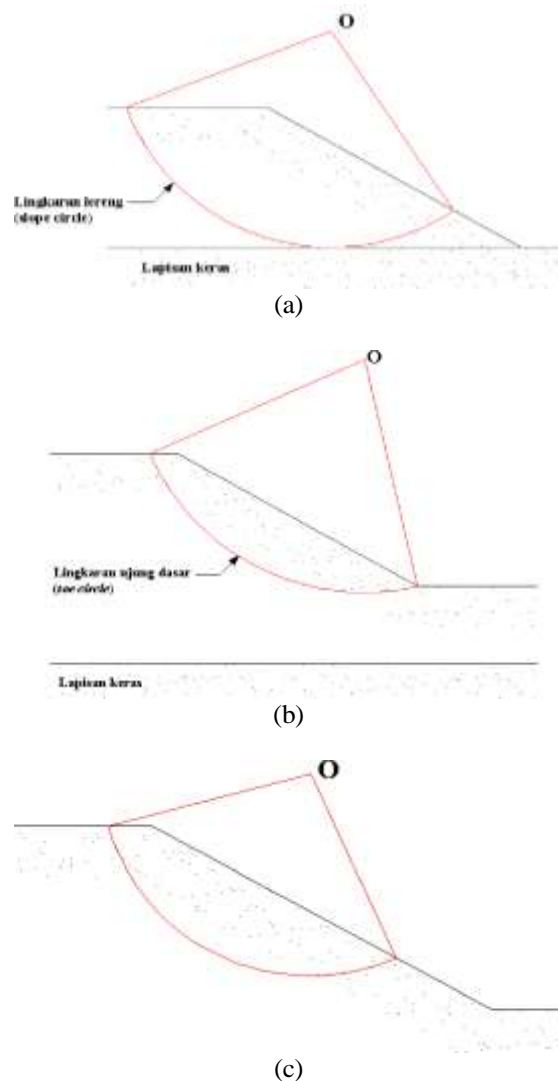
Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar berikut:



Gambar 1. Kelongsoran lereng
(Sumber: Das, 1995)

Bidang gelincir dapat terbentuk dimana saja di daerah-daerah yang lemah. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir memotong lereng pada dasar atau di atas ujung dasar dinamakan longsor lereng (*slope failure*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2a. Lengkung kelongsoran disebut sebagai lingkaran ujung dasar (*toe circle*), jika bidang gelincir tadi melalui ujung dasar maka disebut lingkaran lereng (*slope circle*). Pada kondisi tertentu terjadi kelongsoran dangkal (*shallow slope failure*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir berada agak jauh di bawah ujung dasar dinamakan longsor dasar (*base failure*) seperti pada Gambar 2c. Lengkung kelongsorannya dinamakan lingkaran titik tengah (*midpoint circle*) (Das, 2002).

Proses menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan longsor yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan dinamakan dengan Analisis Stabilitas Lereng (*Slope Stability Analysis*).



Gambar 2. Bentuk-bentuk keruntuhan lereng
(a) Kelongsoran lereng, (b) Kelongsoran lereng dangkal, (c) Longsor dasar
(Sumber: Das, 1995)

Program Plaxis

Plaxis adalah paket program finite elemen untuk analisa 2 dimensi dari deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Dengan program ini kita dapat mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng. *Plaxis* mulai dikembangkan sekitar tahun 1987 di *Technical University of Delft* atas inisiatif dari *Dutch Departement of Public Works and Water Management*.

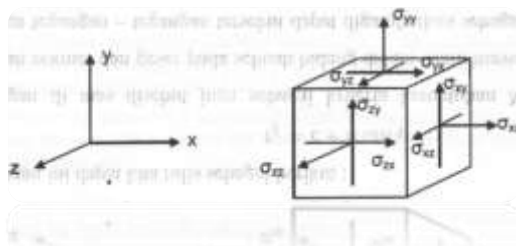
Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program *plaxis* dan model-model tanah didalamnya telah dikembangkan dengan seksama. Meskipun pengujian dan validasi telah banyak dilakukan, tetap tidak dapat

dijamin bahwa program *plaxis* telah bebas dari kesalahan. Simulasi permasalahan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga sendiri telah secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numerik yang tidak dapat dihindarkan. Akurasi dari keadaan sebenarnya yang diperkirakan sangat bergantung pada keahlian dari pengguna terhadap pemodelan permasalahan, pemahaman terhadap model-model tanah serta keterbatasannya, penentuan parameter-parameter model, dan kemampuan untuk melakukan interpretasi hasil komputasi.

Tegangan

Tegangan adalah sebuah gaya tarik/tekan yang mana dapat ditunjukkan oleh sebuah Matriks dalam koordinat Cartesius (sumbu x,y dan z). Dalam kondisi tegangan tarik adalah simetris dalam teori deformasi standar, tegangan ditulis dalam notasi vector, yang mana hanya meliputi enam komponen:

$$\sigma = (\sigma_{xx} \sigma_{yy} \sigma_{zz} \sigma_{xy} \sigma_{yz} \sigma_{zx})^T \quad (1)$$



Gambar 3. Sistem koordinat, contoh pada bidang kerja dan indikasi komponen tegangan positif (sumber: *Plaxis 2D*, 1998)

Berdasarkan prinsip Terzaghi, tegangan dalam tanah dibagi kedalam tegangan efektif, σ' dan tekanan pori σ_w

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

Regangan

Regangan adalah sebuah alat penarik/pengencang yang mana dapat ditunjukkan oleh sebuah Matriks dalam koordinat Cartesius (sumbu x, y dan z). Dibawah kondisi diatas, regangan sering kali ditulis dalam notasi vektor, yang mana hanya meliputi enam komponen:

$$\varepsilon = (\varepsilon_{xx} \varepsilon_{yy} \varepsilon_{zz} \varepsilon_{xy} \varepsilon_{yz} \varepsilon_{zx})^T \quad (3)$$

Ukuran isi regangan didefinisikan negatif untuk pemadatan dan positif untuk pemuaiian. Untuk jenis elastoplastis, sebagaimana digunakan dalam *Plaxis*, regangan dikomposisikan kedalam elastic dan komponen plastis.

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p \quad (4)$$

Tekanan Pori

Tekanan pori umumnya berasal dari air di dalam pori. Air setelah dipertimbangkan tidak untuk menopang tegangan geser. Sebagai hasil, tegangan geser adalah sama dengan jumlah tegangan geser. Komponen tegangan normal positif telah dipertimbangkan untuk melaksanakan tegangan tarik. Mengingat, air dianggap sebagai bahan isotropis, jadi semua tekanan pori dianggap sama. Karena itu, tekanan pori dapat dapat dihasilkan oleh sebuah nilai, p_w

$$\varepsilon = (\rho_w \rho_w \rho_w \ 000)^T \quad (5)$$

Model Mohr-Coulomb

Model yang sederhana namun handal ini didasarkan pada parameter-parameter tanah yang telah dikenal baik dalam praktek rekayasa teknik sipil. Model Mohr-Coulomb dapat digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis pada muka terowongan, beban batas pada pondasi dan lain-lain. Model ini juga dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan 'Reduksi phi-c'.

Jenis Kalkulasi

Parameter pertama yang akan mengatur kapan mendefinisikan tahap perhitungan adalah Jenis perhitungan. Hal ini dilakukan dalam kotak kombo di sisi kanan atas dari lembar tab Umum. Perbedaan dibuat antara empat jenis dasar perhitungan: perhitungan Plastis (*plastic*), analisis Konsolidasi (*consolidation*), beban gravitasi (*gravity loading*) dan prosedur Ko (*Ko procedure*). Dua jenis terakhir hanya tersedia untuk tahap awal.

• **Kalkulasi Plastis**

Sebuah perhitungan Plastis digunakan untuk melakukan analisis deformasi elastis plastis menurut teori deformasi kecil. Matriks kekakuan dalam perhitungan plastis didasarkan pada geometri pembentuk asli. Jenis perhitungan yang tepat dalam aplikasi geoteknik adalah yang paling praktis. Secara umum, perhitungan plastik tidak mengambil efek waktu ke dalam perhitungan kecuali bila model Tanah Lunak digunakan.

Mengingat beban cepat dari air tanah dipenuhi banyak jenis, perhitungan Plastik dapat digunakan untuk kasus pembatasan perilaku sepenuhnya dikeringkan menggunakan pilihan pengeringan dalam set data material. Di sisi lain, melakukan analisis sepenuhnya bisa dikeringkan menilai penyelesaian dalam jangka panjang. Ini akan memberikan prediksi yang cukup akurat tentang situasi akhir, meskipun sejarah

pembebanan yang tepat tidak diikuti dan proses konsolidasi yang tidak ditangani secara eksplisit.

- Analisis Konsolidasi

Sebuah analisis Konsolidasi biasanya dilakukan bila diperlukan untuk menganalisis perkembangan dan kemampuan untuk mengurangi tekanan pori berlebih dalam tanah liat-jenis jenuh sebagai fungsi waktu. PLAXIS 3D memungkinkan untuk benar analisis konsolidasi plastis yang elastis. Secara umum, konsolidasi analisis tanpa beban tambahan dilakukan setelah perhitungan plastis ditiriskan. Hal ini juga memungkinkan untuk menerapkan beban selama analisis konsolidasi. Namun, perawatan harus dilakukan ketika Situasi kegagalan ini mendekat, karena proses iterasi tidak mungkin saling bertemu dalam situasi seperti ini.

- Beban Gravitasi

Beban Gravitasi adalah jenis perhitungan Plastis, di mana tegangan awal yang dihasilkan berdasarkan berat volumetrik tanah. Semua pilihan yang tersedia untuk perhitungan Plastik yang tersedia. Dalam analisis memuat Gravitasi proporsi relatif berat dinaikkan dari 0 ke 1. Dalam semua fase setelah fase awal, berat tanah penuh tetap diaktifkan. Beban gravitasi hanya tersedia untuk tahap perhitungan awal.

- Prosedur K0

Prosedur K0 hanya tersedia untuk tahap perhitungan awal. Ini adalah metode perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan tegangan awal untuk model, dengan memper-timbangkan berat sendiri tanah.

SOIL NAILING

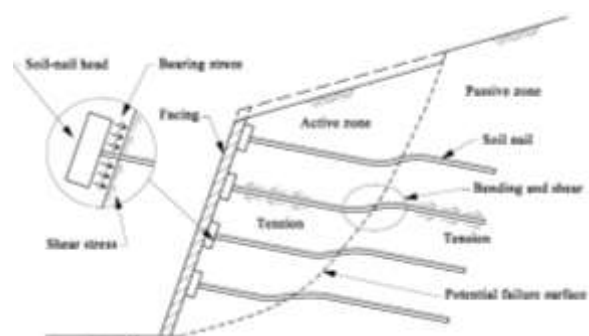
Dalam konteks ini, sistem tanah-dipaku (*Soil Nailing*) dianggap sebagai dinding penahan tanah-dipaku jika menghadap sistem adalah sub-vertikal, dan dirancang untuk tampil sebagai anggota struktural yang memberikan tindakan retensi ke tanah oleh berat sendiri, kekuatan atau kekakuan lentur.

Teknik *soil nailing* meningkatkan stabilitas lereng, dinding penahan dan penggalian terutama melalui mobilisasi ketegangan di paku tanah. Pasukan tarik dikembangkan di paku tanah terutama melalui interaksi gesekan antara paku tanah dan tanah serta reaksi yang diberikan oleh kepala tanah-dipaku / menghadap (Gambar 4). Gaya tarik pada paku tanah memperkuat tanah dengan langsung mendukung beberapa beban geser diterapkan dan dengan meningkatkan

tekanan yang normal dalam tanah pada permukaan potensi kegagalan, sehingga memungkinkan tahanan geser yang lebih tinggi untuk dimobilisasi. Kepala tanah-dipaku dan menghadap memberikan efek kekangan dengan membatasi deformasi tanah dekat dengan normal ke permukaan lereng. Akibatnya, tegangan efektif rata-rata dan tahanan geser dari tanah di belakang kepala tanah-dipaku akan meningkat. Itu juga membantu untuk mencegah kegagalan lokal di dekat permukaan lereng, dan untuk mempromosikan tindakan yang tidak terpisahkan dari massa tanah diperkuat melalui redistribusi kekuatan antara kuku tanah. Perlawanan terhadap kegagalan penarikan paku tanah disediakan oleh bagian paku tanah yang tertanam ke dalam tanah di belakang permukaan potensi kegagalan.

Stabilitas internal sistem *soil nailing* biasanya dinilai menggunakan model dua zona, yaitu zona aktif dan zona pasif (atau zona tahan), yang dipisahkan oleh permukaan potensi kegagalan (Gambar 4). Zona aktif adalah daerah di depan permukaan potensi kegagalan, di mana ia memiliki kecenderungan untuk melepaskan diri dari sistem tanah-dipaku. Zona pasif adalah wilayah di balik permukaan potensi kegagalan, di mana ia tetap lebih atau kurang utuh. *Soil nail* bertindak untuk mengikat zona aktif ke zona pasif.

Interaksi *soil nailing* adalah kompleks, dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor ini meliputi sifat mekanik *soil nailing* (yaitu, kekuatan tarik, kekuatan geser dan kapasitas lentur), kecenderungan dan orientasi *soil nailing*, kekuatan geser tanah, kekakuan relatif *soil nailing* dan tanah, gesekan antara *soil nailing* dan tanah, ukuran tanah kepala-paku dan sifat menghadap lereng.



Gambar 4. *Two-zone Model of a Soil-nailed System* (Sumber: Ochiai, 2001)

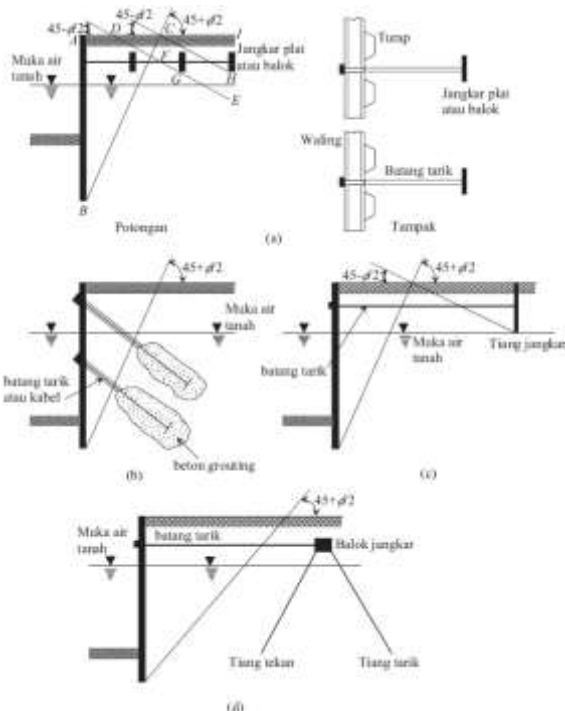
EARTH ANCHOR

Jangkar tanah (*earth anchor*) adalah sebuah alat yang dirancang untuk mendukung struktur dan digunakan dalam aplikasi geoteknik dan konstruksi. Jangkar yang digunakan pada turap secara umum dapat di bagi sebagai berikut:

1. Plat dan balok (balok berat) jangkar
2. Batang penguat di belakang turap
3. Tiang jangkar vertikal
4. Balok jangkar yang didukung oleh tiang-tiang miring (tekan dan tarik)

Plat dan balok jangkar biasanya terbuat dari beton jadi [Gambar 5(a)]. Jangkar dihubungkan ke turap dengan menggunakan batang penguat (tie rods). Sebuah waling (wale) ditempatkan pada bagian depan atau belakang turap untuk memudahkan penempatan batang penguat pada dinding turap. Untuk mencegah batang penguat berkarat, biasanya batang ini dilapisi dengan cat atau bahan-bahan dari aspal.

Pada waktu pemasangan batang-batang penguat di belakang turap, batang atau kabel ditempatkan di dalam lubang-lubang yang dibor terlebih dahulu [Gambar 5(b)], lalu digruting dengan beton (kabel biasanya berkekuatan tinggi, tendon baja prategang). Gambar 5(c) dan 5(d) menunjukkan tiang jangkar vertikal dan balok jangkar dengan tiang-tiang miring.



Gambar 5. Berbagai jenis *anchor* untuk turap: (a) plat atau balok jangkar; (b) batang tarik atau kabel (Murthy, 2007)

METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berasal dari dua sumber yaitu:

1. Data Primer, merupakan data yang diperoleh dari pengukuran lapangan dan pemeriksaan tanah di laboratorium.
2. Data Sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur atau buku-buku referensi yang digunakan sebagai bahan acuan dalam penelitian ini.

Metode Pengumpulan Data

Untuk keperluan penulisan ini, penulis mengadakan penelitian melalui metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Penelitian Laboratorium (*Laboratorium Research*) yaitu penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dengan cara membuat sampel dan pemodelan dam timbunan tanah
2. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*) yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan cara membaca buku-buku literatur geoteknik ataupun yang berhubungan dengan bendungan ataupun yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas.

Metode dan Teknis Analisis

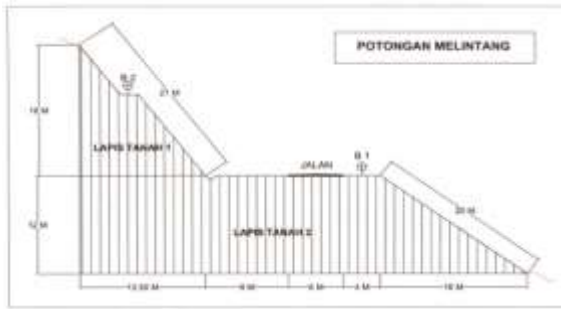
Metode analisis yang digunakan bersifat deskriptif dan kuantitatif dengan memberikan penelitian terhadap obyek yang akan diteliti, dalam hal ini dilakukan pemodelan. Adapun pendekatan model yang dilakukan adalah suatu kondisi rencana dilapangan, yang dibuat dalam skala kecil dengan menyamakan kondisi geometri, parameter tanah dan pembatasan daerah tinjauan.

Teknik analisis yang digunakan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

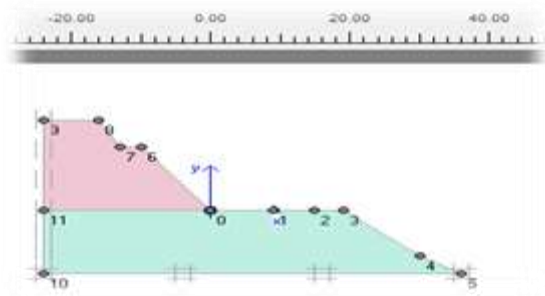
1. Mengidentifikasi parameter-parameter tanah pada sampel tanah yang di uji di laboratorium
2. Membuat pemodelan pada program *plaxis*
3. Analisis hasil pemodelan
4. Buat desain pada program *plaxis*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun Dimensi yang digunakan adalah kondisi nyata yang mana telah diskalakan pada pemodelan (skala 1:100), yakni:

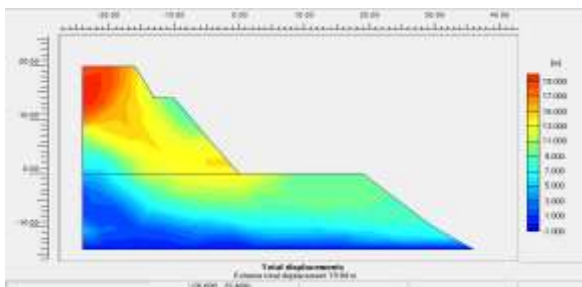


Gambar 6. Potongan Melintang Lokasi Tinjauan (Sumber: Hasil Penelitian)

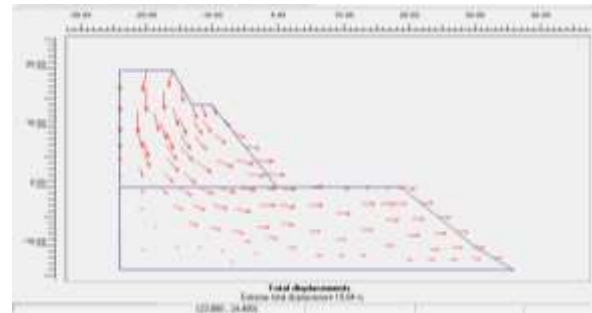


Gambar 7. Perspektif Desain dalam 2D (Sumber: Hasil Penelitian)

Parameter tanah yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1. Output Plaxis adalah seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Penurunan total (shading view) (Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 9. Penurunan total dengan Soil Nailing (Sumber: Hasil Penelitian)

Hasil program yang ditunjukkan (Gambar 8 dan Gambar 9) secara keseluruhan mengalami penurunan yang signifikan, namun pada daerah lereng yang berwarna kuning merah adalah daerah dengan penurunan yang besar. Maka dianggap perlu untuk adanya perkuatan tanah baik dilereng bagian atas jalan maupun lereng bagian bawah jalan. Berikut ini dengan data yang sama dan dengan memasukkan sistem *soil nailing* pada lereng samping atas jalan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:



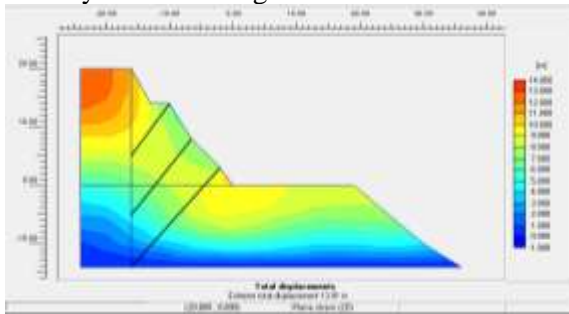
Gambar 10. Potongan Melintang Lokasi Tinjauan dengan Sistem Nailing (Sumber: Hasil Penelitian)

Tabel 1. Parameter yang digunakan dalam input program Plaxis

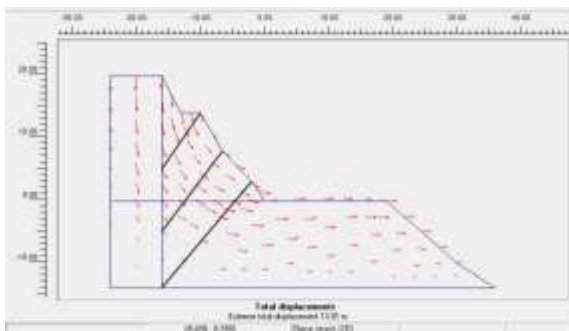
Parameter	Nama	Tanah Dasar	Tubuh Bendung	Satuan
<i>Material model</i>	<i>Model</i>	MC	MC	-
<i>Type of behavior</i>	<i>Type</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	-
Berat volume tanah kering	γ_d	14.80	14.80	kN/m ³
Berat volume tanah	γ	15.17	17.47	kN/m ³
Permeabilitas horizontal	k_x	6.03×10^{-3}	0.00	m/day
Permeabilitas vertical	k_y	6.03×10^{-3}	0.00	m/day
Modulus Elastisitas	E	172	24193.5	kN/m ²
Angka Poisson	ν	0.35	0.3	-
Kohesi	c	7.65	30.00	kN/m ²
Sudut geser dalam	ϕ	20.55	25.09	°

Sumber : Hasil Penelitian

Hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Penurunan Total dengan sistem *soil nailing* (shading view) (Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 12. Penurunan Total dengan sistem *soil nailing* (arrow view) (Sumber: Hasil Penelitian)

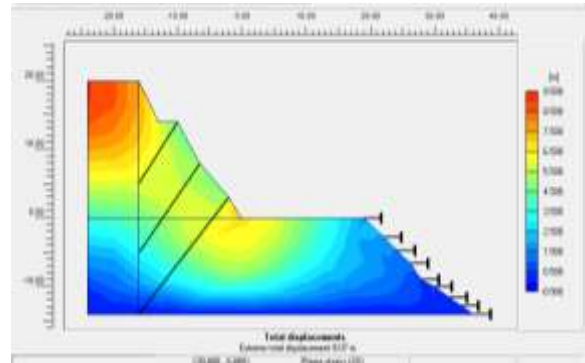
Gambar 11 & 12 menunjukkan bahwa berkurangnya penurunan yang terjadi pada lereng yang diberi sistem *soil nailing* yang menjadi sedikit berwarna biru, sementara arah penurunannya untuk tanah dipuncak lereng adalah kebawah sehingga hanya akan bergeser ke arah jalan ketika lereng bergeser, namun arah penurunan masih secara keseluruhan yakni dari titik puncak lereng sampai pada dasar lereng bagian bawah.

Maka dianggap perlu adanya perkuatan tanah pada lereng bagian bawah jalan yang memungkinkan karena lereng dibagian bawah jalan adalah jurang yang curam dengan kontur tanah tidak beraturan.

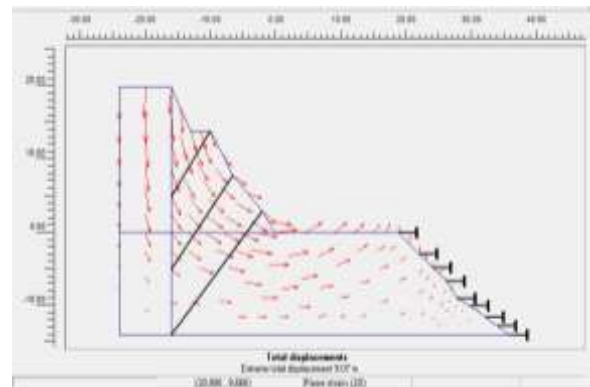


Gambar 13. Potongan Melintang Lokasi Tinjauan dengan sistem *soil nailing* dan *anchor* (Sumber: Hasil Penelitian)

Dengan menggunakan konstruksi *anchor*, yaitu pelat jangkar atau balok jangkar tanpa menghilangkan konstruksi *soil nailing* yang sudah ada, kemudian dikalkulasi menghasilkan:



Gambar 14. Penurunan Total dengan sistem *soil nailing* dan *anchor* (shading view) (Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 15. Penurunan Total dengan sistem *soil nailing* dan *anchor* (arrow view) (Sumber: Hasil Penelitian)

Gambar 14 & 15 menunjukkan hasil akhir bahwa arah penurunan sudah tidak secara keseluruhan, lereng bagian bawah lereng mengalami pengurangan penurunan dan arahnya tidak lagi keluar. Tetapi secara keseluruhan jika kondisi jenuh air sepenuhnya terjadi di lokasi tinjauan maka penurunan pun tidak dapat dihindari, namun dengan melihat bahwa orientasi penurunan besar terjadi di lereng bagian atas disebabkan oleh kondisi jenuh air sepenuhnya sehingga air didalam tanah yang tidak mengalir memberikan pengaruh besar terhadap bergesernya tanah pada lereng, sementara itu arahnya menunjukkan ada arah keatas pada bagian jalan namun pada penelitian ini berat jalan dan beban yang diterima jalan tidak diperhitungkan sehingga memungkinkan kondisi tersebut terjadi.

PENUTUP

Soil Nailing adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai ukuran perbaikan untuk mengobati lereng tanah alami tidak stabil atau yang memungkinkan aman dari keruntuhan lereng. Untuk kondisi tertentu, *soil nailing* menawarkan alternatif dari sudut pandang kelayakan teknis, biaya konstruksi, dan durasi konstruksi.

Namun dari hasil yang ada menyarankan agar menggunakan sistem *soil nailing* yang jumlahnya lebih banyak, dan juga harus disertakan sistem drainase. Solusi penggunaan *soil nailing* kombinasi dengan *anchor* menjadi solusi aplikatif praktis dan ekonomis untuk ruas jalan Manado-Tomohon. Hal ini juga memenuhi persyaratan teknologi tepat dan ramah lingkungan untuk ruang yang terbatas dan khususnya ketika lalu lintas perlu menampung dengan jalan yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

Das Braja M, Endah Noor, Mochtar Indrasurya B, 1995. *Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Geoteknik*, Jilid 1, 2, Erlangga, Jakarta.

Plaxis 2D Version, 1998, *Manual Book*, A.A. Balkema, P.O. Box 1675, 3000 BR Rotterdam, Netherlands.

Ochiai et al. (eds), 2001. *Landmarks in Earth Reinforcement*, Swets & Zeitlinger.

Murthy V. N. S., 2007. *Advanced Foundations Engineering-Geotechnical Engineering Series*, CBS publishers and distributors,

<http://www.deepexcavation.com/en/soil-nail-wall>

http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_nailing