

ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PERENCANAAN SOIL NAILING DENGAN SOFTWARE GEOSTUDIO 2007 (Studi Kasus Kampus Untirta Sindangsari)

Rama Indera K, Enden Mina, Sevenuary B

^{1), 2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln. Jendral Sudirman KM. 3 Kota Cilegon Banten

³⁾ Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln. Jendral Sudirman KM. 3 Kota Cilegon Banten

INTISARI

Proyek pembangunan kampus baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa terletak di Desa Sindangsari setelah tahap *cut and fill* terdapat lereng tingginya 8.00 meter dan jenis tanah berpasir yang rawan terjadi longsor. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis stabilitas lereng dan merencanakan *soil nailing* untuk perkuatan lereng. Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu, *software* Geostudio 2007 dan analisis stabilitas pada *soil nailing* untuk mencari nilai faktor keamanan. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu dan *software* GeoStudio 2007 diperoleh nilai faktor keamanan lebih kecil dari 1.50 yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor. Berdasarkan hasil analisis stabilitas pada *soil nailing* untuk stabilitas *eksternal* terhadap keruntuhan global lereng dan pergeseran diperoleh nilai faktor keamanan 1.808 dan 1.528, sedangkan hasil analisis stabilitas *internal* terhadap putus tulangan dan cabut tulangan diperoleh nilai faktor keamanan 1.466 dan 1.531. Hasil analisis dengan *software* GeoStudio 2007 diperoleh nilai faktor keamanan 1.915. Nilai faktor keamanan yang diperoleh mendekati atau lebih dari 1.50 maka desain *soil nailing* yang direncanakan dapat disimpulkan aman terhadap longsor.

Kata kunci : Analisis Stabilitas Lereng, *Soil Nailing*, *Software* GeoStudio 2007

ABSTRACT

The project of new campus of Sultan Ageng Tirtayasa University is located in Sindangsari Village after the cut and fill there are slopes sandy soil with a high 8.00 meter which in danger condition to landslides. The purpose of this study is to analyze the stability of slopes and design the soil nailing to reinforcement the slopes. The analysis of stability slopes used Fellenius, Bishop, Janbu method and Geostudio 2007 software. The soil nailing stability is checked using manual calculation and Geostudio 2007 software calculation. Based on the results of stability analysis slopes used Fellenius, Bishop, Janbu method and Geostudio 2007 software they show that safety factor are less than 1.50 which mean that the slope in danger to landslides. Based on the results of stability analysis soil nailing, the safety factors for external stability global failure surface and sliding are 1.808 and 1.528 respectively, while the safety factors for internal stability the nail tensile failure and nail pullout failure are 1.466 and 1.531 respectively, and the safety factor from Geostudio 2007 software is 1.915. The value of safety factors from all analysis show that they close to 1.50 or bigger than 1.50 which mean that the design of soil nailing safe to landslides.

Keywords: Analysis of Slope Stability, *Soil Nailing*, *Software* GeoStudio 2007

1. PENDAHULUAN

Desa Sindangsari yang akan dibangun kampus Untirta merupakan daerah perbukitan yang landai, karena akan ada pembangunan kampus baru Untirta maka dilakukan pekerjaan *cut and fill* untuk meratakan lokasi yang akan dibangun sesuai dengan gambar *master plan* kampus baru Untirta. Menurut gambar *master plan*, akan ada beberapa lereng yang tingginya mencapai 8.00 meter yang terletak disamping jalan masuk utama.

Berdasarkan hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*) dan uji di laboratorium didapat jenis tanah yang ada di Sindangsari adalah pasir, pasir batu dan pasir kwarsa yang rawan terjadi longsor karena tanah pasir memiliki gaya tarik-menarik antar partikel tanah yang lemah, dengan dimensi lereng yang cukup tinggi dan jenis tanah adalah pasir maka akan berpotensi besar terjadi bencana tanah longsor.

Untuk mencegah bencana tanah longsor maka perlu dilakukan upaya perkuatan pada lereng. Saat ini telah banyak alternatif perkuatan lereng, salah satu diantaranya yaitu dengan *soil nailing*. *Soil nailing* adalah merupakan metode perbaikan tanah asli (*in-situ*) dengan cara melakukan pemakuan batang-batang seperti cerucuk, baja, bambu, dan *minipile*. *Soil nailing* dapat digunakan untuk banyak jenis tanah, dan kondisi. Pada beberapa kondisi tanah yang menguntungkan, akan membuat metode *soil nailing* menjadi lebih efektif dari segi biaya dibandingkan dengan teknik lain.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara menganalisa stabilitas lereng dilokasi Sindangsari dengan menggunakan hitungan manual (*metode Fellenius, metode Bishop dan metode Janbu*) dan *software* GeoStudio 2007 untuk mengetahui nilai faktor keamanan sebelum ada perkuatan.
2. Bagaimana cara mendesain perkuatan lereng dengan *soil nailing* sesuai karakteristik lereng tersebut.
3. Bagaimana cara menganalisa kestabilan perkuatan *soil nailing* pada stabilitas *eksternal* (terhadap keruntuhan global lereng dan penggeseran) dan *internal* (terhadap putus tulangan dan cabut tulangan).

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai faktor keamanan kestabilan lereng dengan hitungan manual (*metode Fellenius, metode Bishop dan metode Janbu*) dan *software* GeoStudio 2007 sebelum ada perkuatan.
2. Merencanakan perkuatan lereng dengan *soilnailing* dengan peraturan yang telah ditentukan oleh *Guide to Soil Nail Design and Contruction*.
3. Mengetahui kestabilan perkuatan *soil nailing* pada stabilitas *eksternal* (terhadap keruntuhan global lereng dan penggeseran) dan *internal* (terhadap putus tulangan dan cabut tulangan).

Manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Manfaat teoritis, diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya menganalisis kestabilan dan perkuatan lereng berdasarkan data lapangan dengan menggunakan hitungan manual (*metode Fellenius, metode Bishop dan metode Janbu*) dan *software* Geo Studio 2007.
2. Manfaat praktis, sebagai tambahan informasi untuk praktisi maupun akademisi dalam mempelajari kestabilan dan perkuatan lereng.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Thyac Korah Turangan A. E., Alva N. Sarajar, (2014). Bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan metode Janbu pada Kawasan Citraland Manado. Hasil analisis lereng menunjukkan bahwa kondisi lereng di kawasan Citraland tidak stabil, sehingga digunakan *soil nail* untuk memperkuat lereng.

Octovian Cherianto Parluhutan Rajagukguk, Turangan A.E, Sartje Monintja, (2014). Bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan metode Bishob pada Kawasan Citraland Manado sta.1000 m. Hasil dari analisis kestabilan lereng menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan kritis, maka diadakan perbaikan lereng dengan menggunakan *end anchored*.

Violetta Gabriella Margaretha Pangemanan, (2014). Bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan metode Fellenius pada Kawasan Citraland Manado. Dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa keadaan lereng tersebut tidak stabil. Kemudian dilakukan perbaikan dengan *soil nail*.

Tatag Yufitra Rus, Widodo Suyadi, As'ad Munawir, (2014). Bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dan memakai perkuatan *soil nailing* dengan bantuan perangkat lunak SLOPE/W pada sungai Parit Raya.

A. Analisis Stabilitas Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang *horizontal* lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya lereng

bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain yaitu galian dan timbunan untuk membuat jalan raya dan jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal serta tanggul terbuka.

Analisa kestabilan lereng ditujukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu, dengan diketahuinya nilai faktor keamanan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng yang telah dibentuk mempunyai risiko longsor atau cukup stabil.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya menggerakkan :

$$F = \frac{\tau}{\tau_d}$$

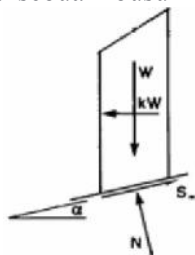
Keterangan :

- τ = tegangan yang dikerahkan oleh tanah
- τ_d = tegangan yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor
- F = factor keamanan

Penjelasan yang lebih detail dari beberapa metode analisis stabilitas lereng sebagai berikut :

1. *Metode Fellenius*

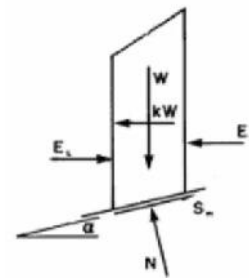
Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, serta bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran.



Gambar 1. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan
Sumber : Saifuddin Arief, 2008

2. *Metode Bishop*

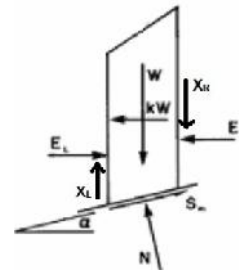
Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($x=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran.



Gambar 2. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan
Sumber : Saifuddin Arief, 2008

3. *Metode Janbu*

Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah *vertikal* untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah *horizontal* untuk semua irisan.



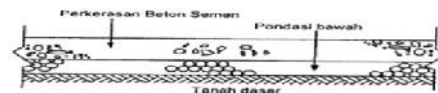
Gambar 3. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan
Sumber : Saifuddin Arief, 2008

B. **Pembebanan pada Lereng**

Dalam analisis stabilitas lereng kita harus memperhitungkan beban-beban yang diterima oleh lereng, beban-beban yang bekerja pada lereng sebagai berikut :

1. **Beban struktur perkerasan beton**

Berat isi (γ) bahan-bahan yang digunakan untuk perkerasan beton semen berdasarkan peraturan pembebanan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Perkerasan Beton Semen
Sumber : Saifuddin Arief, 2008

- Beton bertulang = 24 kN/m³
- Beton biasa = 22 kN/m³

2. **Beban kendaraan truk 3as**

Pada penelitian ini diasumsikan pada saat dua buah kendaraan berpapasan dan sejajar. Beban as kendaraan yang digunakan dalam

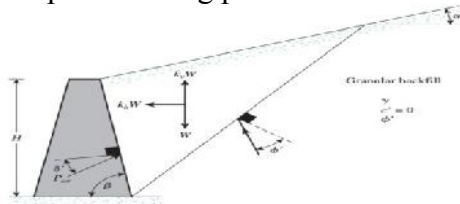
penelitian ini yaitu MST sumbu *triple* (3 as) sebesar 200 kN sehingga beban untuk masing-masing roda kendaraan sebesar 100 kN. Dimensi kendaraan truk 3 as dan kedudukannya ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 5. MST Kendaraan Truk 3 as
Sumber : Bina Marga, 1984

3. Beban akibat gempa

Beban gempa diperhitungkan karna adanya penambahan nilai tegangan lateral pada saat terjadinya gempa. Dengan menggunakan teori tekanan aktif coulomb dapat ditambahkan beban gempa yang terjadi pada dinding penahan tanah :



Gambar 6. Tekanan Tanah Akibat Beban Gempa
Sumber : Braja M Das, 1991

Keterangan :

K_h = koefisien *horizontal* percepatan gempa.

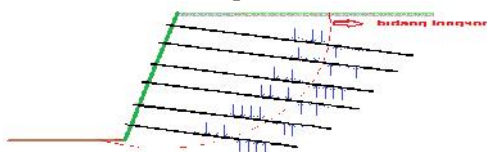
K_v = koefisien *vertikal* percepatan gempa.

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\phi' + \beta - \theta')}{\cos \theta' \sin^2 \beta \sin(\beta - \theta' - \delta') \left[1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \theta' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta' - \theta') \sin(\alpha + \beta)} \right]^2}$$

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{ae}$$

C. Perkuatan dengan Soil Nailing

Soil nailing adalah metode perbaikan tanah asli (*in-situ*) dengan cara melakukan pemakuan batang-batang seperti cerucuk, baja, bambu, dan *mini pile*.



Gambar 7. Soil Nailing Terhadap Bidang Longsor
Sumber : Hafiz Fauzi ISTN, 2011

Kelebihan dan kekurangan soil nailing

Kelebihan *soil nailing* :

1. Volume baja untuk *nail bars* dalam *soil nailing* lebih sedikit dibandingkan dengan *ground anchors*, karena umumnya batangan baja dalam *soil nailing* lebih pendek. Material yang dibutuhkan juga relatif lebih sedikit, jika dibandingkan dengan *ground anchors*.
2. Luas area yang dibutuhkan dalam masa konstruksi lebih kecil dibandingkan dengan teknik lain, sehingga cocok untuk pekerjaan yang memiliki areal konstruksi terbatas.

Kekurangan *soil nailing* :

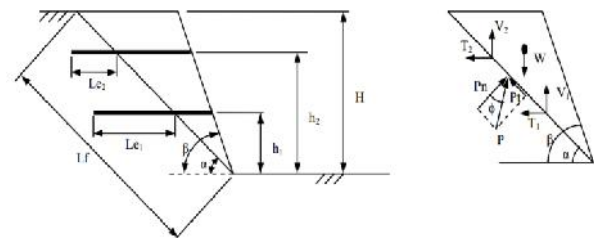
1. Metode *soil nailing* tidak cocok untuk daerah dengan muka air tanah tinggi.
2. Pelaksanaan konstruksi *soil nailing* relatif lebih sulit, sehingga membutuhkan kontraktor yang ahli, dan berpengalaman.

D. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing.

Suatu perkuatan dinding penahan tanah harus dirancang agar aman/stabil terhadap pengaruh-pengaruh gaya dalam dan gaya luar. Analisis terbagi menjadi dua yaitu stabilitas luar (*external stability*) dan stabilitas dalam (*internal stability*).

Analisis stabilitas eksternal soil nailing

1. Faktor aman terhadap keruntuhan lereng global (*global stability failure*). Perkuatan lereng harus aman terhadap keruntuhan, pada perhitungan manual, mengadopsi metode Baji (*wedge*) dengan bidang longsor planar yaitu :



Gambar 8. Gaya yang Bekerja pada Metode Baji
Sumber : Ellias et al. 1994

Menghitung faktor keamanan
 Nilai faktor keamanan dapat dihitung dengan persamaan yang dibawah ini :

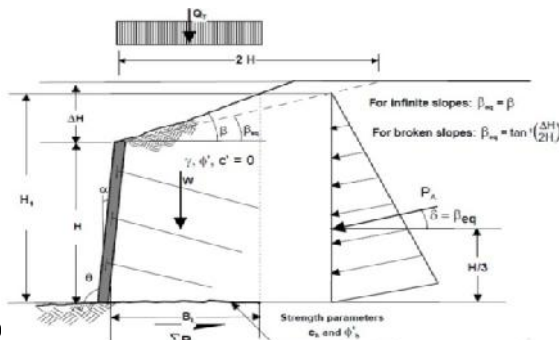
$$FS = \frac{cL_f + W \cos \alpha \tan \phi + \sum T_i \sin(\alpha + i) - \sum V_i \cos(\alpha + i) \tan \phi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha + i) - \sum V_i \sin(\alpha + i) + P_{ah}}$$

Keterangan :

- W = berat dari massa tanah yang longsor
- FS = factor keamanan
- c = kohesi tanah
- L_e = panjang *nail* bar di belakang bidang longsor
- L_f = panjang bidang longsor
- ∑T_i = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik
- ∑V_i = jumlah daya dukung gaya geser
- α = sudut kemiringan bidang longsor terhadap garis *horizontal*
- i = Sudut kemiringan tulangan *nail*
- φ = sudut geser *internal*

2. Faktor aman terhadap penggeseran termasuk beban gempa (*sliding stability failure*)

Tekanan tanah aktif diperhitungkan dari gaya *horizontal* yang timbul akibat beban tanah, beban perkerasan beton, beban kendaraan dan beban gempa.



Sumber : Soil Nailing For Stabilization Of Steep Slopes Near Railway Track, 2010

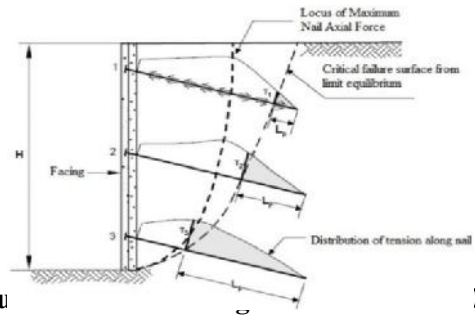
$$FS = \frac{cbB_1 + (W + P_a \sin \beta_{eq}) \tan \phi}{P_a \cos \beta_{eq}}$$

Keterangan :

- FS = faktor aman
- P_a = tekanan tanah dan beban
- C_b = kohesi tanah
- B₁ = lebar dasar efektif
- W = berat irisan tanah
- Q = beban diatas lereng
- φ = sudut gesek dalam tanah
- H = tinggi dinding tanah
- γ = berat isi tanah
- β_{eq} = sudut kemiringan pada tanah urugan diatas lereng

Analisis stabilitas *internal soil nailing*

1. Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan



Su Of Steep Slopes Near Railway Track, 2010

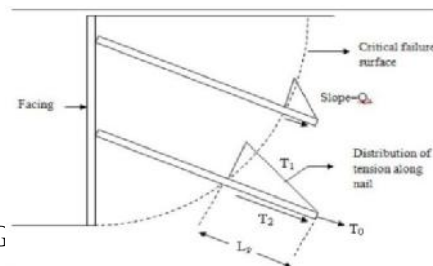
$$SF = \frac{(0.25 \times \pi \times d^2 \times f_y)}{1000 (\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h) + P_{ah}}$$

$$\sigma_h = k_a \cdot \gamma \cdot Z$$

Keterangan :

- S_v = jarak tulangan arah *vertikal* (m)
- S_h = jarak tulangan arah *horizontal* (m)
- f_y = dukung tarik baja (MPa)
- d = diameter tulangan (mm)
- σ_h = tekanan *horizontal* tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m²)
- γ = berat isi tanah (kN/m³)
- Z = kedalaman yang ditinjau (m)
- K_a = koefisien tekanan aktif lateral
- P_a = tekanan akibat beban

2. Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan



Sumber : Soil Nailing For Stabilization Of Steep Slopes Near Railway Tracks”

$$SF = \frac{\pi \cdot q_u \cdot D_{dh} \cdot L_e}{(\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h) + P_{ah}}$$

Keterangan

- S_v = jarak tulangan arah *vertikal* (m)
- q_u = *ultimate bond strength* (kN/m²)
- σ_h = tekanan *horizontal* tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m²)

P_{ah} = tekanan akibat beban
 L_p = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m)
 φ = sudut gesek *internal* ($^{\circ}$)
 D_{dh} = diameter lubang bor (m)

Sudut geser (φ) = 29°
 Data Lereng :
 Sudut lereng = 80°
 Tinggi lereng = 8.00 m

3. METODOLOGI PENELITIAN

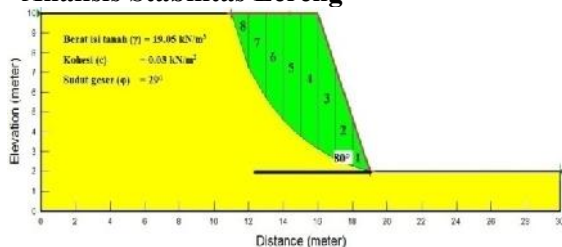
Metodologi penelitian dapat dilihat pada langkah - langkah dibawah ini :

- Langkah 1 : Mulai Penelitian
- Langkah 2 : Studi Pustaka
- Pada langkah ini meliputi pencarian referensi mengenai analisis stabilitas dan perkuatan lereng.
- Langkah 3 : *Input Data*
- Data *Primer* : Data investigasi tanah
- Data *Sekunder* : Data pendukung lainnya
- Langkah 4 : Menganalisa stabilitas lereng dengan hitungan manual (*metode Fallenius, Bishop, Janbu*) dan *software GeoStudio 2007*
- Langkah 5 : Didapat nilai faktor keamanan dari hitungan manual dan *software GeoStudio 2007*
- Langkah 6 : Mendesain perkuatan *soil nailing* sebagai perkuatan lereng
- Langkah 7 : Cek nilai faktor keamanan *soil nailing* (jika aman melanjutkan ke langkah 8, jika tidak kembali ke langkah 6)
- Langkah 8 : Kesimpulan dan saran
- Langkah 9 : Penelitian selesai

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah dengan *metode Fellenius, metode Bishop* dan *metode Janbu*, dan untuk perkuatan lereng menggunakan perkuatan *soil nailing*. Adapun untuk analisis komputerisasi menggunakan *software GeoStudio 2007*.

Analisis Stabilitas Lereng



Gambar12. Perencanaan Soil Nailing
 Sumber : Analisa Penulis, 2015

Data *properties* tanah :
 Berat isi tanah (γ) = 19.05 kN/m^3
 Kohesi (c) = 0.03 kN/m^2

1. Metode Fallenius

Perhitungan faktor keamanan dengan *metode Fallenius* menghasilkan nilai faktor keamanan $0.772 \leq 1.50$ yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor.

$$RM = \sum_{i=1}^n [c\beta + (N - u\beta) \tan \emptyset] = 277.102 \text{ kN}$$

$$DM = \sum_{i=1}^n W \sin \alpha = 359.125 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{RM}{DM} = \frac{277.102}{359.125} = 0.772 \leq 1.50$$

2. Metode Bishop

Perhitungan faktor keamanan dengan *metode Bishop* harus dilakukan dengan iterasi. Untuk setiap iterasi, nilai F_{lama} dan nilai F_{baru} harus sama. Nilai faktor keamanan yang didapat adalah $0.736 \leq 1.50$ yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor.

$$RF = \sum_{i=1}^n [c\beta + (N - u\beta) \tan \emptyset] = 230.672 \text{ kN}$$

$$DF = \sum_{i=1}^n W \sin \alpha = 312.782 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{RF}{DF} = \frac{230.672}{312.782} = 0.736 \leq 1.50$$

3. Metode Janbu

Perhitungan faktor keamanan dengan *metode Janbu* juga dilakukan dengan iterasi. Untuk setiap iterasi, nilai F_{lama} dan nilai F_{baru} harus sama.

$$RF = \sum_{i=1}^n [c\beta + (N - u\beta) \tan \emptyset] \cos \alpha = 232.000 \text{ kN}$$

$$DF = \sum_{i=1}^n N \sin \alpha = 304.54 \text{ kN}$$

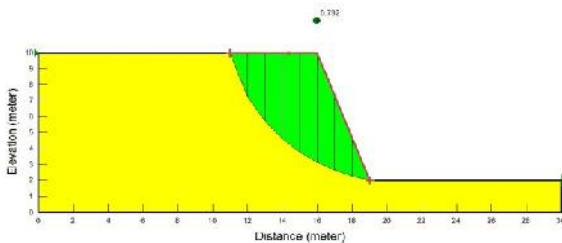
$$SF = \frac{RF}{DF} = \frac{232.000}{304.54} = 0.762 \leq 1.50$$

Dengan cara iterasi didapat F_{baru} dan F_{lama} adalah **0.762**, kemudian dikali faktor koreksi 1.089 (*koefisien jenis tanah*). Nilai faktor keamanan yang didapat adalah **0.829 ≤ 1.50** yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor.

$$F_{janbu} = 1.089 \times 0.762 = 0.829 \leq 1.50$$

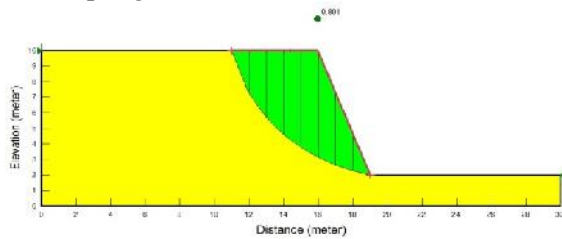
4. Analisis dengan Software GeoStudio 2007

Analisa stabilitas lereng dengan *software* GeoStudio 2007 bertujuan untuk membandingkan antara hasil perhitungan manual dengan hasil analisis dengan *software* GeoStudio 2007.



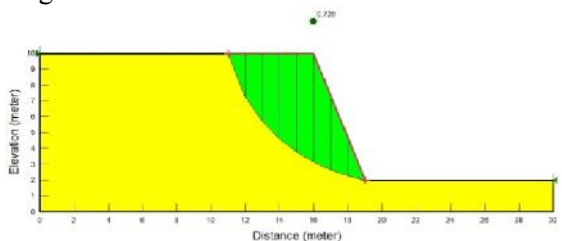
Gambar13. Metode Ordinary (Fallenius)
Sumber : Analisa Penulis, 2015

Dari hasil analisis *software* GeoStudio 2007 didapat nilai faktor keamanan *metode Fallenius* adalah **0.732 ≤ 1.50** berarti bahaya terhadap longsor.



Gambar14. Metode Bishop
Sumber : Analisa Penulis, 2015

Dari hasil analisis *software* GeoStudio 2007 didapat nilai faktor keamanan *metode Bishop* adalah **0.801 ≤ 1.50** berarti bahaya terhadap longsor.

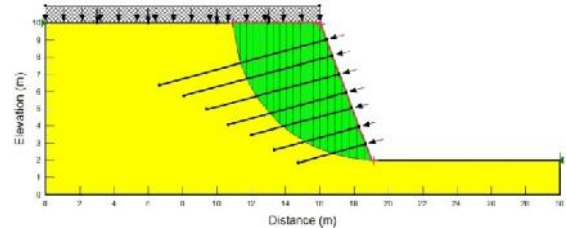


Gambar15. Metode Janbu
Sumber : Analisa Penulis, 2015

Dari hasil analisis *software* GeoStudio 2007 didapat nilai faktor keamanan metode Janbu adalah **0.726 ≤ 1.50** berarti bahaya terhadap longsor.

Analisis Perkuatan Soil Nailing

Dalam penelitian ini penulis merencanakan perkuatan *soil nailing* sebagai perkuatan lereng, Mengacu pada peraturan tentang perencanaan *soil nailing* dan beberapa sumber penelitian sebelumnya, berikut data-data perencanaan *soil nailing* yang akan digunakan sebagai berikut :



Gambar16. Perencanaan Soil Nailing
Sumber : Analisa Penulis, 2015

Data tulangan (*nail*) :

Daya dukung tarik tulangan (T_{max})= 206.602 kN

Diameter baja *nail* = Baja ulirD25

Mutubaja (F_y) = 420 mpa

Diameter lubang bor = 100 mm

Dayadukunggeser = 140kN/m²

Panjang*nail* = 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 m (*dari atas ke bawah*)

Kemiringan *nail* (λ) = 15⁰

Jarak *vertikal*(S_v) = 1.00 m

Jarak *horizontal* (S_h) = 1.00 m

Data *properties* tanah :

Berat isi tanah (γ) = 19.05 kN/m³

Kohesi (c) = 0.03 kN/m²

Sudut geser (ϕ) = 29⁰

Data Lereng :

Sudut lereng = 80⁰

Tinggi lereng = 8.00 m

Perhitungan Pembebanan pada Lereng

Pada penelitian ini beban yang diperhitungkan adalah beban perkerasan jalan beton dan beban kendaraan truk 3 as sejajar.

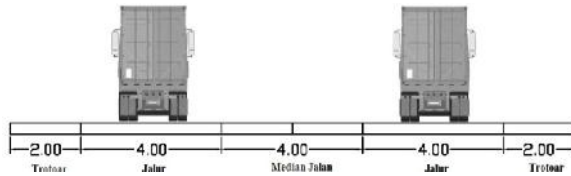
1. Beban perkerasan jalan beton

Berat perkerasan beton = 0.20x24 = 4.80kN/m²

Berat pondasi bawah = 0.10 x 24 = 2.40kN/m²

berat total = 7.20kN/m²

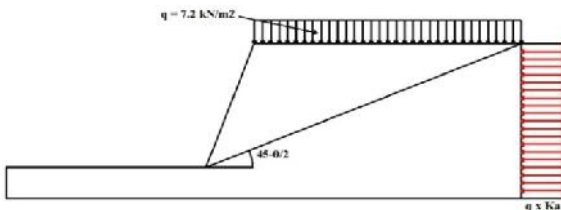
2. Beban kendaraan truk 3 as
Diasumsikan ada 2 kendaraan truk 3 as yang sedang melintas di atas lereng. Beban roda kendaraan (P) = 100 kN
3. Rencana pembebanan pada lereng
Beban perkerasan jalan ditambah beban kendaraan truk 3 as sebagai berikut:



Gambar17. RencanaPembebanan Pada Lereng
Sumber : AnalisaPenulis, 2015

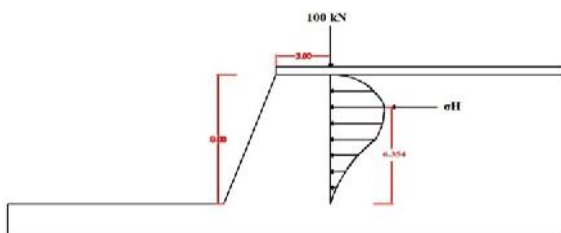
Tekanan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Kendaraan

Pada penelitian ini, tekanan tanah disebabkan oleh beban- beban yang berkerja diatas permukaan lereng antara lain beban perkerasan beton dan beban kendaraan truk 3 as :



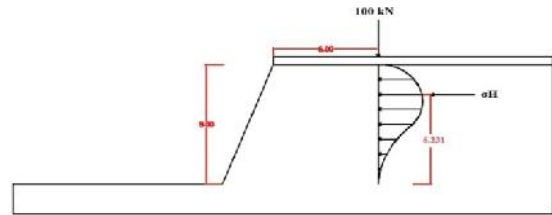
Gambar18. Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Merata
Sumber : Analisa Penulis, 2015

$P_{ah\ total} = 43.891\ kN/m$



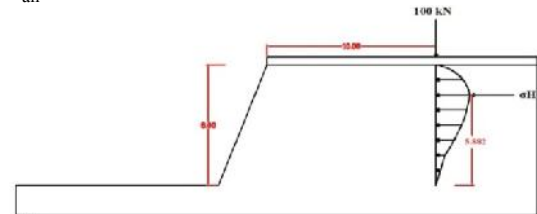
Gambar19. Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Kendaraan Roda 1
Sumber : AnalisaPenulis, 2015

$P_{ah\ total} = 0.3126\ kN/m$



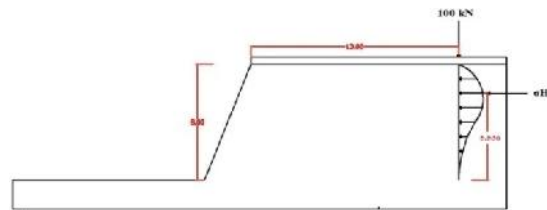
Gambar20. Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Kendaraan Roda 2
Sumber : Analisa Penulis, 2015

$P_{ah\ total} = 0.4991\ kN/m$



Gambar21. Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Kendaraan Roda 3
Sumber : Analisa Penulis, 2015

$P_{ah\ total} = 0.4138kN/m$



Gambar22. Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Kendaraan Roda 4
Sumber : Analisa Penulis, 2015

$P_{ah\ total} = 0.3274kN/m$

$$P_{ah\ beban} = P_{a\ perkerasan} + P_{a\ bebankendaraan}$$

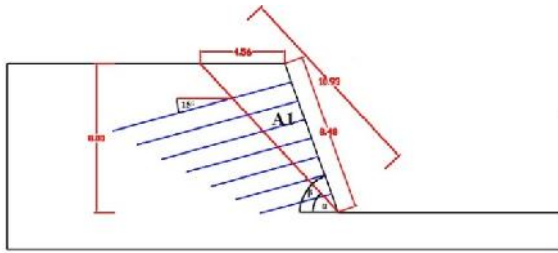
$$= 43.891 + (0.3126 + 0.4991 + 0.4138 + 0.3274)$$

$$= 45.444\ kN/m$$

Analisis stabilitas eksternal soil nailing

1. Analisis stabilitas lereng terhadap keruntuhan global lereng.

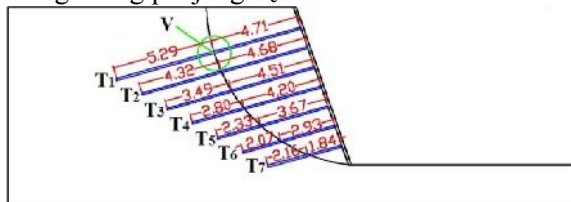
Perhitungan manual dengan mengadopsi metode Baji (*wedge*) dengan bidang longsor *planar* :



Gambar 23. Perkuatan Terhadap Keruntuhan Global
Sumber : Analisa Penulis, 2015.

Kemiringan bidang longsor kritis dalam kasus ini, menghasilkan nilai sebesar $(\alpha) = 43^\circ$ untuk sudut kemiringan lereng $(\beta) = 80^\circ$ dan kemiringan *nail* $(i) = 15^\circ$

Menghitung panjang L_e



Gambar 24. Panjang L_e pada Lereng
Sumber : Analisa Penulis, 2015.

Misal perhitungan untuk *nail* ke-1
 FS = asumsi FS awal 2.00, kemudian dicoba dengan *trial and error* sampai nilai *safety factor* yang di asumsikan dengan hasil hitungan sama.

$$\begin{aligned}
 W &= \text{berat bidang longsor planar} \\
 &= 347.472 \text{ kN} \\
 f_{\text{max}} &= 140 \text{ kN/m}^2 \\
 T_1 &= \frac{\pi \cdot D \cdot l_e \cdot f_{\text{max}}}{FS} \\
 &= \frac{3.14 \times 0.025 \times 5.29 \times 140}{2.00} \\
 &= 29.069 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk *nail bar* ke- 2 sampai 7 dapat dilihat dalam Tabel dibawah ini :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Manual Soil Nailing

No Nail	hi (m)	le (m)	T (kN)	V (kN)
1	7.00	5.29	29.069	0.199
2	6.00	4.32	23.738	0.199
3	5.00	3.49	19.178	0.199
4	4.00	2.80	15.386	0.199
5	3.00	2.33	12.803	0.199
6	2.00	2.07	11.375	0.199
7	1.00	2.16	11.869	0.199
Σ			123.418	1.393

$$FS = \frac{cL_f + W \cos \alpha \tan \beta + (T_1 \sin(\alpha + i) - V_1 \cos(\alpha + i)) \tan \beta}{W \sin \alpha - T_1 \cos(\alpha + i) - V_1 \sin(\alpha + i) + P_{ah}}$$

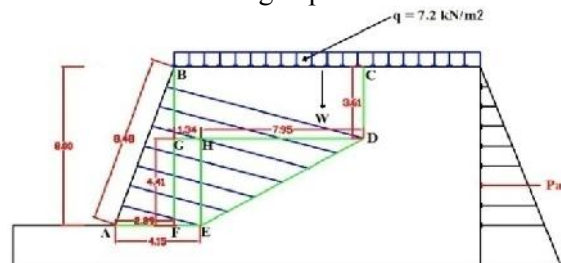
$$= \frac{(0.03 \times 10.93) + 347.472 \cos 43 \tan 29 + (123.418 \sin 58 - 1.393 \cos 58) \tan 29}{347.472 \sin 43 - 123.418 \cos 58 - 1.393 \sin 58 + 45.443}$$

$$= 1.772 \geq 1.50$$

Dalam hitungan ini proses *trial* dilakukan dengan menggunakan program *excel*, dan memberikan nilai faktor keamanan yang *konvergen* sebesar $1.808 \geq 1.50$ yang berarti analisis stabilitas lereng adalah aman terhadap keruntuhan global lereng.

2. Analisis stabilitas terhadap penggeseran (termasuk beban gempa)

Tekanan tanah aktif diperhitungkan dari gaya *horizontal* yang timbul akibat beban tanah, beban perkerasan beton, beban kendaraan dan beban gempa.



Gambar 25. Stabilitas Terhadap Penggeseran
Sumber : Analisa Penulis, 2015.

Menghitung faktor aman terhadap penggeseran

$$\begin{aligned}
 \beta_{eq} &= 0^\circ \\
 B_L &= \text{lebar dasar efektif} \\
 &= 4.15 \text{ m} \\
 W_{\text{total}} &= 1303.515 \text{ kN} \\
 P_{\text{ah tanah}} &= \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{ae} \\
 &= \frac{1}{2} \times 19.05 \times 8.00^2 (1 - 0.08) 0.762 \\
 &= 427.353 \text{ kN/m} \\
 P_{\text{ah total}} &= 427.353 + 45.443 \\
 &= 472.796 \text{ kN/m} \\
 FS &= \frac{cb B_L + (W + P_a \sin \beta_{eq}) \tan \phi}{P_a \cos \beta_{eq}} \\
 &= \frac{(0.03 \times 4.15) + (1303.515 + 472.796 \sin 0) \tan 29}{472.796 \cos 0} \\
 &= 1.528 \geq 1.50
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai faktor keamanan terhadap penggeseran sebesar $1.528 \geq 1.50$ yang berarti analisis stabilitas lereng adalah aman terhadap pgeseran.

Analisis stabilitas internal soil nailing

Analisis stabilitas *internal* terhadap putus tulangan dan cabut tulangan pada *nail* no. 1 panjang *nail* = 10.00 m diameter lubang bor (D_{dh}) = 0.10 m Jarak *vertikal nail* (S_v) = 1.00 m Jarak *horizontal nail* (S_h) = 1.00 m Panjang *nail* yang berada di belakang garis longsor.

L_{e1} = 5.29 m
Koefisien tekanan tanah lateral aktif.
 K_a = 0.762
Menghitung tegangan *horizontal*.
 $\sigma_{h_{tanah}}$ = $K_a \cdot \gamma \cdot z$
= $0.762 \times 19.05 \times 7.00$
= 101.629 kN/m

Jumlah tekanan akibat beban pada perkedalaman tanah sebagai berikut :

Tabel 2. Tekanan Tanah Perkedalaman Tanah

No	Kedalaman Nail (m)	Tekanan Beban Perkerasan (kN/m)	Tekanan Beban Roda Kendaraan (kN/m)	Jumlah Tekanan (kN/m)
1	7.00	38.404	0.548	38.952
2	6.00	32.918	0.693	33.611
3	5.00	27.432	0.192	27.624
4	4.00	21.945	0.066	22.012
5	3.00	16.459	0.027	16.486
6	2.00	10.972	0.013	10.986
7	1.00	5.486	0.007	5.493

Menghitung nilai faktor keamanan terhadap putus tulangan :

$$SF = \frac{\left(\frac{0.25 \times \pi \times d^2 \times f_y}{1000} \right)}{(\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h) + P_{ah}}$$

$$= \frac{\left(\frac{0.25 \times 3.14 \times 25^2 \times 420}{1000} \right)}{(101.629 \times 1.00 \times 1.00) + 38.952}$$

$$= 1.466 \approx 1.5 \text{ (aman)}$$

Menghitung nilai faktor keamanan terhadap cabut tulangan :

$$SF = \frac{\pi \cdot q_u \cdot D_{dh} \cdot L_e}{(\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h) + P_{ah}}$$

$$= \frac{3.14 \times 140 \times 0.1 \times 5.29}{(101.629 \times 1.00 \times 1.00) + 38.952}$$

$$= 1.654 \geq 1.5 \text{ (aman)}$$

Perhitungan stabilitas *internal soil nailing* pada lereng dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

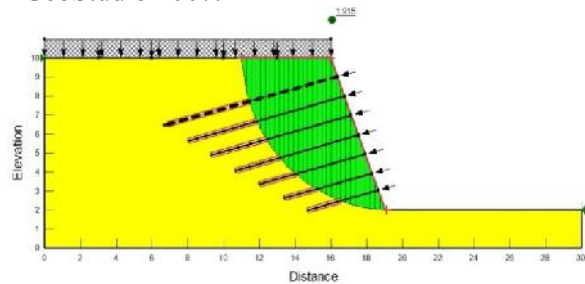
Tabel 3 Hasil Perhitungan Stabilitas Internal Soil Nailing

No Nail	Kedalaman	K_a	L_e (m)	σ_h (kN/m ²)	Pah Beban	SF Putus	SF Cabut
1	7.00	0.762	5.29	101.629	38.953	1.466	1.654
2	6.00	0.762	4.32	87.110	33.612	1.707	1.573
3	5.00	0.762	3.49	72.592	27.625	2.056	1.531
4	4.00	0.762	2.79	58.074	22.012	2.573	1.531
5	3.00	0.762	2.30	43.555	16.487	3.432	1.684
6	2.00	0.762	2.00	29.037	10.986	5.149	2.197
7	1.00	0.762	2.18	14.518	5.493	10.297	4.789

Berdasarkan hasil analisis stabilitas *internal soil nailing* terhadap putus tulangan didapat nilai SF terkecil adalah **1.466 \approx 1.5** yang masih dalam kategori aman, dan terhadap cabut tulangan didapat nilai SF terkecil adalah **1.531 \geq 1.5** yang berarti aman.

Analisis Perkuatan Soil Nailing dengan Software Geo Studio 2007

Analisa perkuatan *soil nailing* lereng dengan *software* Geo Studio 2007 bertujuan untuk membandingkan antara hasil perhitungan manual dengan hasil analisis dengan *software* GeoStudio 2007.



Gambar26. Hasil Analisis Perkuatan Soil Nailing

Sumber : Analisa Penulis, 2015

Dari hasil analisis perkuatan dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan *software* GeoStudio 2007 didapat nilai faktor keamanan adalah **1.915 \geq 1.50** yang berarti desain *soil nailing* yang berarti lereng dalam keadaan aman terhadap longsor.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Dari hasil analisis stabilitas lereng dilokasi Sindangsari menggunakan hitungan manual (*metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu*) dan *software* GeoStudio 2007 didapat nilai faktor keamanan kurang dari 1.50 yang berarti lereng dalam keadaan bahaya

- terhadap longsor jika tidak ada perkuatan.
2. Dari hasil analisis stabilitas lereng didapat lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor, kemudian penulis mendesain perkuatan *soil nailing* dengan spesifikasi sebagai berikut : Daya dukung tarik tulangan (T_{max}) = 206.602 kN, D baja *nail*= baja ulirD25 mm, mutu baja (F_y) = 420 mpa, diameter lubang bor = 100 mm, panjang *nail* = 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 m (dari atas kebawah), kemiringan *nail* (λ)= 15° , jarak *vertical* (S_v) = 1.00 m , jarak *horizontal* (S_h) = 1.00 m dan sudut lereng = 80° .
 3. Berdasarkan hasil analisis stabilitas pada *soil nailing* untuk stabilitas *eksternal* terhadap keruntuhan global lereng dan pergeseran diperoleh nilai faktor keamanan 1.808 dan 1.528, sedangkan hasil analisis stabilitas *internal* terhadap putus tulangan dan cabut tulangan diperoleh nilai faktor keamanan 1.466 dan 1.531. Hasil analisis dengan *software* GeoStudio 2007 diperoleh nilai faktor keamanan 1.915. Nilai faktor keamanan yang diperoleh mendekati atau lebih dari 1.50 maka desain *soil nailing* yang direncanakan dapat disimpulkan aman terhadap longsor.

B. Saran

1. Dalam memperbesar nilai faktor keamanan terhadap putus tulangan dapat dilakukan dengan cara memperbesar diameter tulangan *nail* dan memperbesar mutu baja *nail*, kemudian untuk memperbesar nilai faktor keamanan terhadap cabut tulangan dapat dilakukan dengan cara memperbesar diameter lubang bor *nail* dan memperpanjang tulangan *nail* yang digunakan.
2. Perlu dilakukan penelitian analisis stabilitas lereng menggunakan metode lain seperti *Morgenstern-Price*, *Spencer*, *Corps of Engineers*, *Lowe-Karafiath* dan Kesetimbangan Batas Umum agar nilai faktor keamanan yang didapat lebih akurat (lebih mendekati kebenaran).

3. Perlu dilakukan penelitian tentang variasi sudut lereng, kemiringan *nail* dan jarak antar *nail* agar perencanaan *soil nailing* lebih efektif.
4. Untuk perkuatan *soil nailing* perlu dilakukan analisis dengan *software* lain seperti Geo5, SNAP (*Soil Nail Analysis Program*), *Snail Plus*, dll sebagai pembanding agar nilai faktor keamanan yang didapat lebih akurat (lebih mendekati kebenaran).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arief, Saifuddin. (2008), *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan*. Sorowako, Sulawesi Selatan: Tidak diterbitkan.
- A. E, Thyac Korah Turangan dan Alva, N. S. (2014), *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Janbu (Studi Kasus : Kawasan Citraland Manado)*. Universitas Sam Ratulangi Manado : Tidak diterbitkan.
- Bowles, Joseph (*translated by* Sinaban Pantur). (1999), *Analisis dan Disain Pondasi*, Edisi ketiga jilid 2. Jakarta : Erlangga.
- Bishop, A.W. (1955), *The Use the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*. Geotechnique, Vol. 5, No. 1, hal 7-17.
- Craig, R.F (*translated by* Soepandji, B.S). (1989), *Mekanika Tanah*, Edisi ke empat. Jakarta : Erlangga.
- Civil Engineering and Development Department The Government of the Hong Kong. (2008), *Guide to Soil Nail Design and Contruction*. Geotechnical Engineering Office of Hong Kong : Tidak diterbitkan.
- Das, Braja M (*translated by* Mochtar. N. E and Mochtar I.B).(1995), *Mekanika tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2, Jakarta : Erlangga.
- Fauzi, Hafiz. (2011), *Laporan Kerja Praktek Menara Prima II jakarta*. Institut Sains dan teknologi Nasional : Tidak diterbitkan.
- Janbu, N. (1954), *Applications of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis*. Proceedings of the European Conference on the Stability of Earth Slopes, Stockholm, Vol. 3, p. 39-43.

- Janbu, N. (1973), *Slope stability computations. in: Embankment–Dam engineering (edited by Hirschfeld, R. C. and Poulos, S. J.)*. John Wiley and Sons, New York, 47–86.
- Prashant, Amit and Mukherjee, Mousumi. (2010), *Soil Nailing For Stabilization of Steep Slopes Near Railways Tracks*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur : Tidak diterbitkan.
- Rajagukguk, Octovian Cherianto Parluhutan, A.E, Turangan dan Monintja, Sartje. (2014), *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishob (Studi Kasus : Kawasan Citraland Manado sta.1000 m)*. Universitas Sam Ratulangi Manado : Tidak diterbitkan.
- Smith, M.J. (*translated by* Madyayanti, Elly). (1984), *Mekanika Tanah (Soil Mechanics)*, Edisi Keempat. Jakarta : Erlangga.
- Violetta Gabriella M. P. (2014), *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius (Studi Kasus : Kawasan Citraland)*. Universitas Sam Ratulangi Manado : Tidak diterbitkan.
- Vidayanti, D. (2010), *Mekanika Tanah 2*. Pusat pengembangan Bahan Ajar-Universitas Mercu Buana : Tidak diterbitkan