

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DI JALAN TOL SEMARANG-SOLO RUAS SALATIGA-KARTASURA

Dyah Nimas Ayu Sekarti¹, Muhammad Rifqi Abdurrozak²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 14511152@students.uii.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 135111101@staf.uii.ac.id

Abstarct: *The embankment on Semarang-Solo Toll Road in Salatiga-Kartasura Section requires an effective solution because of the soft soil that is the foundation of the embankment. It is necessary to change the geometry and reinforcement of the embankment to reduce the occurrence of avalanches. The stabilization treatment of these deposits will be sought for the most effective results to increase the stability of embankment. The results of embankment stability by changing geometry and reinforcement installation are influenced by the design making based on the method of stability analysis, variety of traps and the use of appropriate reinforcement lengths. Embankment analysis stability was carried out with the help of the Slope /W program. This research was conducted to determine the safety factor of embankment with changes in trap variations, variations in load and length variations of geotextiles with various boundary balance methods using the Slope/W program. Change in embankment geometry as high as 12 m with variations without traps, 2 traps, 3 traps, 4 traps, 5 traps and 6 traps. Whereas in the variation of the load distinguishes piles without earthquakes and with an acceleration earthquake of 0,493 g. In unstable embankment, geotextiles are installed with variations in length per zone and uniform length 24 m. Based on the results of the research obtained an increase in safety factor (SF) on variations in the addition of traps without earthquake loads with the Fellenius method, Janbu Simplified and Morgenstern-Price of 9,72%, 9,36% and 10,8%, and produced safe stock conditions because $SF > 1,5$. Whereas in the variation of the addition of traps with earthquake loads there was an increase in SF of 1,86%, 1,94% and 2% for 3 equilibrium methods, but in addition to seismic load these deposits with variations without traps to 5 traps have unsafe or unstable conditions and after adding 6 traps this embankment produces a safe condition. The most critical SF value is produced using the Janbu Simplified method, so that embankment analysis using this method can accommodate the possibility of landslides when compared with other methods. In embankment with earthquake loads, variations in the length of the geotextile strengthening per zone have increased SF by 1,55%, but did not ensure that the embankment were stable. Whereas in piles without traps up to 3 traps with a uniform 24 m geotextile length there was an increase in SF by 1,2% and a maximum of SF in a pile of 3 traps, but after that SF decreased by 1,1%. The landfill with the addition of traps which are included in safe and stable conditions is only 16,67%, while the installation of long geotextiles per zone is safe and stable at 40% and with the installation of 24 m uniform geotextile embankment conditions that produce a safe and stable condition of 100%. So the long use of 24 m long uniform geotextile can be the best solution to improve the stability of the stock to be stable and safe.*

Keyword: *embankment stability, terracing, limit equilibrium method, geotextile, Slope/W*

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol Semarang-Solo sebagai penghubung daerah Jawa Tengah bagian Utara dengan Selatan. Banyak hal yang harus dipertimbangkan mengenai jalur yang akan terlewati, antara lain pertimbangan faktor daerah yang direncanakan akan dikembangkan, ekonomi, sosial budaya serta pertimbangan-pertimbangan teknis. Pertimbangan-pertimbangan tersebut

dijadikan sebagai dasar perencanaan trase jalur jalan tol. Efisiensi dan efektifitas adalah hasil akhir yang diharapkan oleh perencana, sehingga kota-kota besar yang diputuskan untuk menghubungkan melalui jalan tol.

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan bagian yang sangat penting, karena bagian ini akan memikul beban struktur lapis keras dan beban

lalu lintas di atasnya. Biasanya bahan untuk tanah dasar digunakan tanah setempat, namun bisa juga kondisi tanah dasar tersebut tidak menguntungkan, misalnya berupa tanah lunak. Pada kondisi ini, tanah dasar akan berada pada kondisi kuat geser yang terburuk, sehingga kuat dukungnya menjadi rendah. Disamping itu, tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi dan kemampuan pemampatan yang rendah, sehingga penurunan (*settlement*) akibat beban akan berlangsung sangat lambat. Akibatnya, permukaan jalan lambat laun akan turun menjadi lebih rendah daripada elevasi rencana dan perkerasan jalan lebih cepat rusak.

Pada pekerjaan ini telah dilakukan usaha perkuatan tanah timbunanannya. Alternatif desain yang ditawarkan adalah metode konvensional yang membutuhkan waktu pelaksanaan yang cukup lama. Desain yang diaplikasikan di lapangan dipertimbangkan sesuai dengan permasalahan utama yang ada di lapangan. Metode konvensional telah dimulai pada awal pelaksanaan tanah timbunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura. Penyelesaian teknis yang telah dikerjakan yaitu dilakukan pekerjaan galian dan selanjutnya langsung ditimbun kembali dengan material yang lebih baik.

Alternatif solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan perubahan geometri timbunan dengan menambahkan trap. Trap sering digunakan untuk memperkecil longsor yang terjadi akibat dari pemotongan bidang longsor tersebut. Selain mengubah geometri, alternatif penggunaan geosintetik di Indonesia sudah sering digunakan untuk pekerjaan perkuatan tanah. Pemasangan geosintetik berfungsi sebagai perkuatan untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah keruntuhan. Geosintetik juga akan mengurangi pergeseran horisontal dan vertikal tanah di bawahnya, sehingga dapat mengurangi penurunan.

2. STUDI PUSTAKA

Menurut Suryolelono (2001) dalam judul Konsep dan Analisa Penanggulangan Bahaya Tanah Longsor menyatakan bahwa lereng

dikatakan stabil apabila lereng tersebut cukup landai. Selain itu, kandungan kadar air (w) dalam tanah pembentuk lereng sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Apabila kandungan air dalam material pembentuk lereng tanah meningkat, akibatnya kuat geser tanah menurun. Apabila kemampuan geser tanah ini terlampaui, maka lereng dikatakan dalam keadaan tidak stabil dan kemungkinan besar akan terjadi keruntuhan.

Menurut Zakaria (2009) menyatakan salah satu metode yang sering digunakan untuk analisis stabilitas lereng adalah *Fellenius Slices Method* karena kemudahan dalam menghitungnya dan variabel-variabel yang dibutuhkan tidak terlalu kompleks, namun terdapat kekurangan karena ada beberapa faktor yang tidak diperhitungkan pada metode ini. Menurut Simatupang dan Iskandar (2013) menyatakan dari banyaknya metode analisa lereng, yang paling sering digunakan adalah metode keseimbangan atau *limit equilibrium* yaitu metode *Fellenius*, metode *Bishop Simplified*, metode *Janbu Simplified*, metode *Spencer* dan metode *Morgenstern and Price*.

Dalam penelitian Ismanti (2012) dengan judul Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan *Software Plaxis* menyatakan bahwa geosintetik digunakan sebagai perkuatan yang didefinisikan sebagai elemen-elemen penahan tanah yang dimasukkan ke dalam massa tanah untuk meningkatkan perilaku mekanis tanah tersebut. Penggunaan bahan geosintetik merupakan cara mekanis yang diupayakan untuk menambah nilai angka aman suatu struktur. Prinsip yang dikemukakan oleh Ismanti (2012) mengenai perkuatan tanah pada konstruksi jalan yang merupakan timbunan di atas tanah lunak adalah geotekstil akan mampu meneruskan beban seragam ke tanah dasar, menambah kestabilan, kapasitas dukung tanah dasar dan mencegah terjadinya kegagalan geser.

Menurut Dayanun, S (2012) menyatakan pengaruh beban gempa memberikan dampak pada lereng. Apabila lapisan tanah pembentuk lereng tersebut dengan

kedalaman tertentu terdapat lapisan yang lemah, sementara di bawahnya adalah lapisan keras (*bed rock*), akibat pengaruh gempa pada kedua massa yang berbeda (tanah dan batuan) akan memberikan percepatan yang berbeda, sehingga bidang kontak dari kedua lapisan menjadi bagian yang labil dan lemah. Secara umum pengaruh beban gempa menambah deformasi yang telah terjadi pada lereng.

3. LANDASAN TEORI

3.1 Klasifikasi dan Parameter Tanah

Menurut Das (1985) tanah merupakan akumulasi partikel mineral yang terikat secara kimia satu sama lain yang terbentuk akibat pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis dapat diakibatkan oleh erosi air, angin atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan. Sedangkan cara kimiawi, mineral batuan diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbondioksida dari udara membentuk asam karbon yang kemudian bereaksi dengan mineral-mineral batuan dan membentuk mineral baru ditambah garam terlarut. Akibat dari pembentukan tanah secara kimiawi tersebut, maka tanah mempunyai struktur dan sifat-sifat yang berbeda.

3.2 Beban Lalu Lintas

Berdasarkan Panduan Geoteknik 4 (2002), beban lalu lintas ditambahkan untuk analisis stabilitas timbunan jalan diberikan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

| Kelas Jalan | Beban Lalu Lintas (kPa) |
|-------------|-------------------------|
| I | 15 |
| II | 12 |
| III | 12 |

Sumber: Pusat Litbang Prasarana Transportasi dalam Panduan Geoteknik 4 (2002)

Jalan tol merupakan kelas jalan I yang memiliki beban lalu lintas sebesar 15 kPa.

3.3 Beban Gempa

Gempa melepaskan energi yang menyebabkan adanya percepatan gelombang seismik menuju permukaan tanah. Beban dinamik dari gempa dapat meningkatkan tegangan geser pada lereng, mengurangi volume pori tanah pada lereng, serta menurunkan kuat geser tanah.

Beban gempa dapat berpengaruh signifikan terhadap tegangan-tegangan dinamik horisontal dan vertikal pada lereng. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor yang dapat melampaui tahanan geser izin tanah. Hal ini yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.

3.4 Kapasitas Dukung Tanah

Menurut Terzaghi (1943) dalam Bowles (1991) memberikan persamaan kuat dukung ultimit yang dapat diberikan oleh tanah untuk fondasi menerus tak terhingga dengan lebar B pada kondisi keruntuhan geser umum dari bahan yang bersifat plastis. Persamaan kapasitas dukung ultimit dan kapasitas ultimit netto Terzaghi dapat dituliskan pada Persamaan 1 sebagai berikut.

$$q_{un} = c.N_c + D_f.\gamma.(N_q-1) + 0,5.\gamma.B.N_\gamma \quad (1)$$

dengan q_u : kapasitas dukung ultimit (kN/m^2), q_{un} : kapasitas dukung ultimit netto (kN/m^2), c : kohesi (kN/m^2), D_f : kedalaman fondasi (m), γ : berat volume tanah (kN/m^3), B : lebar fondasi (m), N_c , N_q , N_γ : faktor kapasitas dukung tanah.

Nilai-nilai dari N_γ , N_c , N_q dalam bentuk grafik yang diberikan Terzaghi.

Berikut Persamaan 2 untuk mengetahui angka aman suatu pondasi terhadap beban yang di atasnya.

$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} \quad (2)$$

Dengan q_{un} : kapasitas dukung ultimit *netto* (kN/m^2), q_n : beban *netto* yang diterima tanah dasar (kN/m^2), SF : angka aman.

3.5 Lereng Timbunan

Faktor keamanan untuk lereng tanpa perkuatan menurut Lazarte (2003) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Faktor Keamanan Lereng

| Resisting Component | Minimum Safety Factor (SF) | |
|---|----------------------------|--------------|
| | Static Load | Seismic Load |
| Global Stability (Long term condition) | 1,5 | 1,1 |
| Global Stability (Excavation lift) | 1,2 | NA |
| Bearing Capacity | 3,0 | 2,3 |
| Sliding Capacity | 1,5 | 1,1 |
| Pullout Resistance | 2,0 | 1,5 |
| Nail Bar Tensile Strength | 1,8 | 1,35 |
| Facing Flexure | 1,5 | 1,1 |
| Facing Puncing Shear Failure | 1,5 | 1,1 |
| Headed Stud Tensile Failure (A307 Bolt) | 2,0 | 1,5 |

Sumber: Lazarte (2003)

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. metode yang tidak memenuhi kedua kesetimbangan gaya dan momen, yaitu *ordinary method*, *simplified bishop method* dan *simplified janbu method*,
2. metode yang memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dan momen, yaitu metode *spencer*, metode *morgenstern-price* dan metode kesetimbangan batas umum (*generalized limit equilibrium method*).

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada irisan, perbedaan pada setiap metode dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Kesetimbangan pada Setiap Metode Kesetimbangan Batas

| Metode | Kesetimbangan Gaya | | Kesetimbangan Momen |
|-------------------|--------------------|-------|---------------------|
| | x | y | |
| Fellenius | Tidak | Tidak | Ya |
| Janbu Simplified | Ya | Ya | Tidak |
| Morgenstern-Price | Ya | Ya | Ya |

Sumber: Abramson (2002)

3.6 Perkuatan Geotekstil

Menurut Hardiyatmo, H.C (2013) penggunaan geotekstil untuk jalan sementara dan permanen harus dipertimbangkan kriteria ketahanannya. Dalam perancangan, tegangan yang bekerja pada permukaan atas tanah dasar akibat beban sendiri agregat dan beban lalu lintas harus lebih kecil dari kapasitas dukung tanah dengan faktor aman tertentu. Saat pelaksanaan dilakukan, tegangan yang terjadi pada tanah dasar dan geotekstil bisa lebih besar daripada beban layan. Oleh karena itu, pemilihan geotekstil untuk jalan biasanya didasarkan pada tegangan yang diharapkan akan bekerja dan dipilih berdasarkan ketahanan pada kondisi yang paling kritis.

3.6.1 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Panjang Perzona Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$.

Koefisien tekanan tanah aktif menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

dengan K_a : koefisien tanah aktif, ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$).

Berikut ini Persamaan 4 untuk menghitung tekanan tanah horisontal.

$$\sigma_{hc} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_i \cdot \gamma \quad (4)$$

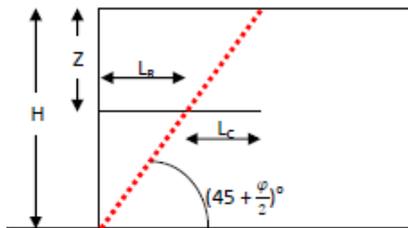
dengan σ_{hc} : tekanan tanah horisontal (kN/m^2), q : beban merata (kN/m), K_a : koefisien tanah aktif, H_i : tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m), γ : berat volume tanah (kN/m^3).

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil (S_v) dapat dihitung menggunakan Persamaan 5 berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (5)$$

dengan S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m), T_{all} : kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), σ_{hc} : tekanan tanah horisontal (kN/m^2), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5).

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\varphi}{2})^\circ$. Berikut bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bidang Longsor untuk Menentukan Panjang Geotekstil
(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Perhitungan panjang geotekstil (L) sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil (S_v) di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing-masing zona. Berikut ini Persamaan 6 untuk menghitung tekanan tanah vertikal.

$$\sigma_v = \gamma \cdot H_i \quad (6)$$

dengan σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2), γ : berat volume tanah (kN/m^3), H_i : tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m).

Berikut ini Persamaan 7 untuk menghitung panjang geotekstil di daerah longsor aktif.

$$L_R = \frac{H - Z_i}{\tan(45 + \frac{\varphi}{2})} \quad (7)$$

dengan L_R : panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m), H : tinggi tanah timbunan (m), Z_i : tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m), φ : sudut geser dalam ($^\circ$).

Berikut ini Persamaan 8 untuk menghitung panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker.

$$L_C = \frac{1}{\beta} \frac{T_{\text{all}}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \quad (8)$$

dengan L_C : panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m), β : koefisien *interface*

tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67), T_{all} : kuat tarik geotekstil (kN/m), c : kohesi tanah (kN/m^2), σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2), φ : sudut geser dalam ($^\circ$).

Perhitungan L_R dan L_C di atas selanjutnya akan dijumlahkan dan menjadi panjang geotekstil total, seperti pada Persamaan 9 berikut.

$$L_{\text{tot}} = L_R + L_C \quad (9)$$

dengan L_R : panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m), L_C : panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m).

Persamaan 10 berikut dapat digunakan untuk menghitung panjang *overlapping* (L_o).

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{\text{all}}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \geq 1 \text{ m} \quad (10)$$

dengan L_o : panjang *overlapping* geotekstil (m), β : koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67), T_{all} : kuat tarik geotekstil (kN/m), c : kohesi tanah (kN/m^2), σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2), φ : sudut geser dalam ($^\circ$).

Stabilitas eksternal pada timbunan meninjau pada 3 stabilitas yaitu sebagai berikut ini.

1. Stabilitas terhadap guling.

Stabilitas terhadap guling ditinjau terhadap titik A. Persamaan gaya aktif akibat tanah dapat menggunakan Persamaan 11 dan Persamaan 12 untuk lengan gaya aktif akibat tanah berikut ini.

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \quad (11)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{3} \quad (12)$$

dengan K_a : koefisien tanah aktif, H : tinggi tanah timbunan (m), γ : berat volume tanah (kN/m^3).

Sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 13 berikut.

$$M_{\text{Atanah}} = E_a \cdot \text{Lengan} \quad (13)$$

dengan M_{Atanah} : momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m), E_a : gaya aktif akibat tanah (kN).

Persamaan gaya aktif akibat beban dapat menggunakan Persamaan 14 dan Persamaan 15 untuk lengan gaya aktif akibat beban berikut ini.

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \quad (14)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{2} \quad (15)$$

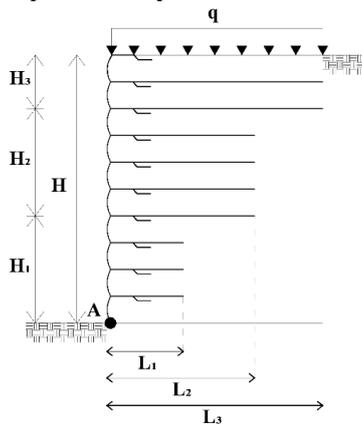
dengan q : beban merata (kN/m), H : tinggi tanah timbunan (m), K_a : koefisien tanah aktif.

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 16 berikut.

$$M_{\text{Abeban}} = E_q \cdot \text{Lengan} \quad (16)$$

dengan M_{Abeban} : momen akibat beban terhadap titik A (kN.m), E_q : gaya aktif akibat beban (kN).

Berikut ini tinjauan stabilitas terhadap gaya guling dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Tinjauan Stabilitas terhadap Guling

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Persamaan untuk menghitung gaya pasif dapat dilihat pada Persamaan 17 dan Persamaan 18 untuk menghitung lengan gaya pasif berikut ini.

$$W = L_i \cdot H_i \cdot \gamma \quad (17)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{L_i}{2} \quad (18)$$

dengan W : gaya pasif (kN), L_i : panjang geotekstil lapisan ke- i (m), H_i : tinggi tanah pada masing-masing zona (m), γ : berat volume tanah (kN/m³).

Sehingga momen pasif terhadap titik A dapat dihitung menggunakan Persamaan 19 berikut.

$$M_p = W_i \cdot \text{Lengan} \quad (19)$$

dengan M_p : momen pasif (kN.m), W_i : gaya pasif pada zona ke- i (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap guling dapat dihitung menggunakan Persamaan 20 berikut.

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_A} > 1,5 \quad (20)$$

dengan SF : faktor aman (SF), $\sum M_p$: jumlah momen pasif (kN.m), $\sum M_A$: jumlah momen aktif (kN.m).

2. Stabilitas terhadap geser.

Persamaan untuk menghitung gaya yang melawan dapat dilihat pada Persamaan 21 berikut.

$$F = [C_g + \frac{W_{\text{total}}}{l_g} \cdot \tan \delta] l_g \quad (21)$$

dengan F : gaya yang melawan (kN), C_g : lekatan antara geotekstil dan tanah dasar pondasi = $\frac{2}{3} c$, W_{total} : total gaya pasif (kN), δ : $\frac{2}{3} \phi$ (ϕ sudut gesek dalam dari tanah dasar pondasi), l_g : panjang geotekstil paling bawah (m).

Persamaan untuk menghitung gaya yang mendorong dapat dilihat pada Persamaan 22 berikut.

$$E = E_a + E_q \quad (22)$$

dengan E : gaya yang mendorong (kN), E_a : gaya aktif akibat tanah (kN), E_q : gaya aktif akibat beban (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap geser dapat dihitung menggunakan Persamaan 23 berikut.

$$SF = \frac{F}{E} > 1,5 \quad (23)$$

dengan SF : faktor aman terhadap geser, F : gaya yang melawan (kN), E : gaya yang mendorong (kN).

3. Stabilitas terhadap kuat dukung yang terjadi.

Perhitungan stabilitas terhadap kuat dukung ini didasarkan pada beban yang bekerja di atasnya. Berikut ini Persamaan 24 untuk menghitung kuat dukung ijin tanah.

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma \quad (24)$$

dengan σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m^2), c : kohesi tanah (kN/m^2), N_c , N_q , N_γ : faktor daya dukung tanah Terzaghi, γ : berat volume tanah (kN/m^3), L : panjang geotekstil (m).

Berikut ini Persamaan 25 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi.

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \quad (25)$$

dengan $\sigma_{terjadi}$: kuat dukung yang terjadi (kN/m^2), H : tinggi tanah timbunan (m), γ : berat volume tanah (kN/m^3), q : beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap kuat dukung dapat dihitung menggunakan Persamaan 26 berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \quad (26)$$

dengan SF : faktor aman terhadap kuat dukung, σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m^2), $\sigma_{terjadi}$: kuat dukung yang terjadi (kN/m^2).

3.6.2 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Panjang Seragam

Analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil memperhitungkan stabilitas eksternal dan stabilitas internal lereng timbunan. Pada stabilitas eksternal, tegangan horisontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah ke arah horisontal. Tegangan horisontal pada penelitian ini dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Berikut ini persamaan tekanan tanah lateral pada lapisan atau zona teratas.

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (27)$$

Namun, untuk tekanan tanah lateral di bawahnya sudah tidak dipengaruhi oleh

beban lagi, sehingga persamaan tekanan tanah lateralnya adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{hc} = -2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (28)$$

dengan σ_{hc} : tekanan tanah lateral (kN/m^2), q : beban merata (kN/m), H : tinggi lapisan tanah (m), γ_b : berat volume tanah (kN/m^3), c : kohesi (kN/m^2).

Selanjutnya menentukan panjang minimum geotekstil (L) menggunakan analisis perhitungan gaya yang menahan dengan gaya yang mendorong pada suatu lereng timbunan. Dalam menentukan panjang minimum geotekstil (L) harus memperhitungkan stabilitas-stabilitas timbunan, berikut ini masing-masing persamaannya.

1. Stabilitas terhadap geser.

Berikut ini persamaan untuk menghitung panjang geotekstil.

$$L = \frac{SF[q \cdot K_a \cdot H + K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H]}{(q + \gamma_b \cdot H) \tan \phi} \quad (29)$$

dengan L : panjang geotekstil (m), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5), q : beban luar (kN/m), K_a : koefisien tanah aktif, H : tinggi lapisan tanah (m), c : kohesi tanah (kN/m^2), ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$), γ_b : berat volume tanah (kN/m^3).

2. Stabilitas terhadap guling.

Berikut ini persamaan untuk mencari panjang minimum geotekstil.

$$L^2 = \frac{SF \left[\frac{1}{2} q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6} K_a \cdot H^3 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2 \right]}{\left(\frac{1}{2} q + \frac{1}{2} \gamma_b \cdot H \right)} \quad (30)$$

dengan L : panjang geotekstil (m), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5), q : beban luar (kN/m), K_a : koefisien tanah aktif, H : tinggi lapisan tanah (m), c : kohesi tanah (kN/m^2), ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$), γ_b : berat volume tanah (kN/m^3).

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Berikut ini persamaan untuk menghitung panjang minimum geotekstil.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \cdot \gamma_b + q} \quad (31)$$

dengan:

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (32)$$

dan

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \cdot SF \quad (33)$$

dengan L : panjang geotekstil (m), SF : faktor keamanan (*safety factor*), q : beban luar (kN/m), H : tinggi lapisan tanah (m), c : kohesi tanah (kN/m²), γ_b : berat volume tanah (kN/m³), N_c , N_γ : faktor daya dukung tanah Terzaghi.

4. Stabilitas terhadap eksentrisitas. Berikut persamaan untuk menghitung panjang minimum geotekstil.

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{SF \left[\frac{1}{2} q \cdot Ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} Ka \cdot H^3 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{Ka} \cdot H^2 \right]}{(q \cdot L + \gamma_b \cdot H \cdot L)} \quad (34)$$

dengan L : panjang geotekstil (m), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5), q : beban luar (kN/m), Ka : koefisien tanah aktif, H : tinggi lapisan tanah (m), c : kohesi tanah (kN/m²), ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$), γ_b : berat volume tanah (kN/m³).

Sedangkan untuk stabilitas internal untuk memperhitungkan panjang *overlapping*, panjang efektif dan panjang total geotekstil.

1. Panjang *overlapping*.

Panjang *overlapping* merupakan panjang lipatan geotekstil (L_o). Berikut persamaan panjang *overlapping*.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \cdot S_v \cdot SF}{2 \cdot H \cdot \gamma_b \cdot \tan \phi} \geq 1 \text{ m} \quad (35)$$

dengan L_o : panjang *overlapping* (m), σ_{hc} : tekanan tanah lateral, S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5), H : tinggi lapisan tanah (m), γ_b : berat volume tanah (kN/m³), ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$).

2. Panjang efektif.

Panjang efektif merupakan panjang perkuatan geotekstil di belakang bidang longsor (L_e). Berikut ini persamaan untuk menghitung panjang efektif.

$$L_e = \frac{SF \cdot S_v \cdot Ka \cdot \gamma_b \cdot H}{2 \cdot H \cdot \gamma_b \cdot \tan \phi} \geq 0,5 \text{ m} \quad (36)$$

dengan L_e : panjang efektif (m),

S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m), SF : faktor keamanan (digunakan 1,5), Ka : koefisien tanah aktif, H : tinggi lapisan tanah (m), γ_b : berat volume tanah (kN/m³), ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$).

3. Panjang total.

Panjang total geotekstil yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$L_{tot} = S_v + L + L_o \quad (37)$$

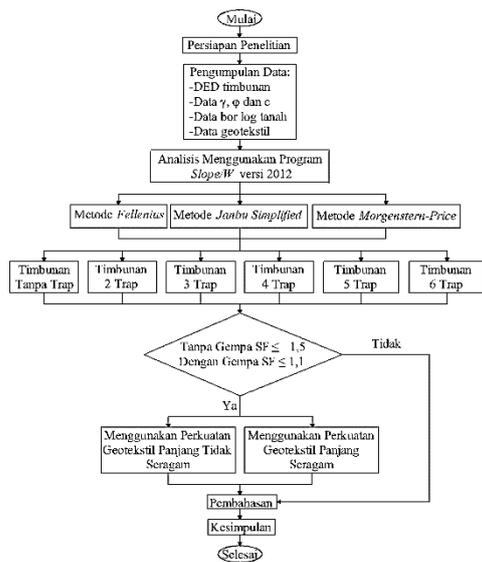
dengan L_{tot} : panjang total (m), S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m), L : panjang minimum geotekstil (m), L_o : panjang *overlapping* (m).

3.7 Program *Slope/W* untuk Analisis Stabilitas Timbunan

Menurut International (2008), *GeoStudio 2012* adalah sebuah *software* untuk pemodelan geoteknik dan geo lingkungan. *Software* ini terdiri dari *Slope/W*, *Seep/W*, *Sigma/W*, *Quake/W*, *Temp/W* dan *Ctran/W* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk lain. Program komputer *Slope/W* adalah bagian dari *GeoStudio* yang berfungsi untuk menganalisa nilai faktor aman atau *safety factor* (SF) lereng. *Slope/W* dapat menganalisa masalah stabilitas baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan (*limit equilibrium*) batas untuk berbagai permukaan miring. Analisis gempa dengan metode *pseudo* statik di input ke *seismic load* sehingga di dapat nilai gempanya tanpa melalui program *Quake/W*.

4. METODOLOGI

Tahapan dalam penelitian ini diawali dengan pengumpulan data geometri, data tanah dasar dan data tanah timbunan, serta data spesifikasi geotekstil *woven*. Setelah itu data dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan *software Slope/W* dengan variasi metode kesetimbangan batas *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern-Price*. Pada masing-masing metode kesetimbangan batas tersebut divariasikan penambahan trap dari tanpa trap sampai 6 trap pada lereng timbunan dengan pengaruh gempa dan tanpa gempa. Selanjutnya memodelkan timbunan dengan penambahan perkuatan geotekstil dengan variasi panjang perzona dan panjang seragam menggunakan metode kesetimbangan yang paling kritis, serta dengan pengaruh gempa dan tanpa gempa seperti pada Gambar 4 berikut.



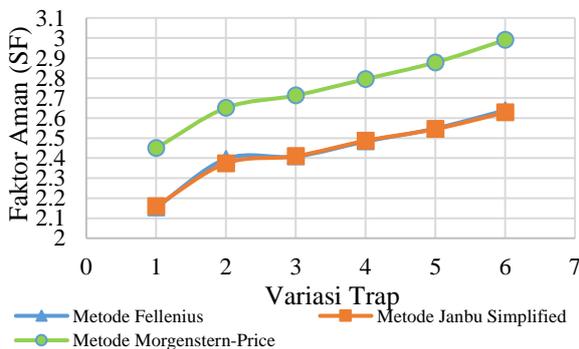
Gambar 4 Tahapan Penelitian

5. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Variasi Trap dan Metode Kesetimbangan

Stabilitas timbunan yang dianalisis yaitu dengan variasi tanpa trap sampai penambahan 6 trap dengan variasi metode kesetimbangan batas metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern-Price* dengan dua kondisi pembebanan tanpa gempa dan dengan gempa.

Perbandingan faktor aman (SF) tanpa pengaruh gempa dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.

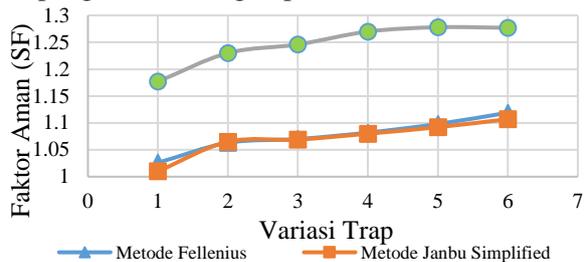


Gambar 5 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan dengan Variasi Geometri Tanpa Beban Gempa

Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa semakin banyak jumlah pemotongan lereng dengan trap, maka semakin tinggi nilai faktor

aman. Peningkatan rata-rata nilai faktor aman (SF) pada penambahan jumlah trap tanpa beban gempa dengan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern-Price* sebesar 9,72%, 9,36% dan 10,8%.

Berikut ini Gambar 6 hasil perbandingan faktor aman (SF) timbunan dengan variasi geometri dan metode dengan pengaruh beban gempa.

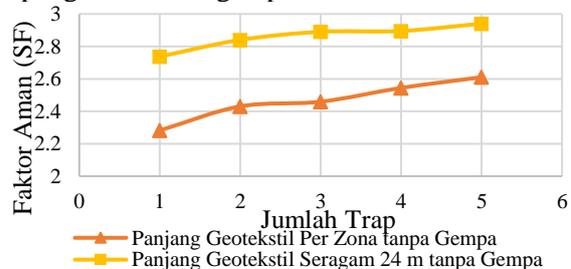


Gambar 6 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan dengan Variasi Geometri dan Beban Gempa

Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah pemotongan lereng dengan trap, maka semakin tinggi nilai faktor amannya. Sebabnya bidang longsor yang seharusnya terjadi tersebut terpotong menjadi beberapa trap, sehingga massa tanah yang mengakibatkan longsor dapat berkurang. Peningkatan faktor aman (SF) pada penambahan jumlah trap dengan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern-Price* berturut-turut sebesar 1,86%, 1,94% dan 2%.

5.2 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Variasi Panjang Geotekstil

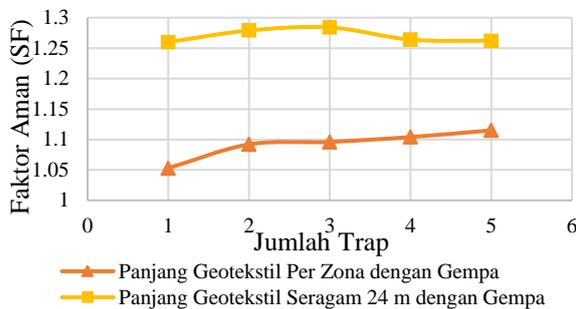
Berikut ini Gambar 7 merupakan perbandingan faktor aman (SF) timbunan dengan variasi panjang geotekstil tanpa pengaruh beban gempa.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan dengan Variasi Panjang Geotekstil Tanpa Beban Gempa

Pada timbunan tanpa pengaruh beban gempa dengan perkuatan geotekstil, semakin bertambahnya jumlah trap maka nilai faktor aman (SF) yang dihasilkan meningkat. Peningkatan faktor aman (SF) tersebut mencapai 8,2% dan 5,075% untuk hasil berturut-turut dari panjang geotekstil per zona dan panjang geotekstil seragam 24 m.

Berikut ini Gambar 8 adalah perbandingan faktor aman (SF) dengan variasi panjang geotekstil jika ditambah pengaruh beban gempa.

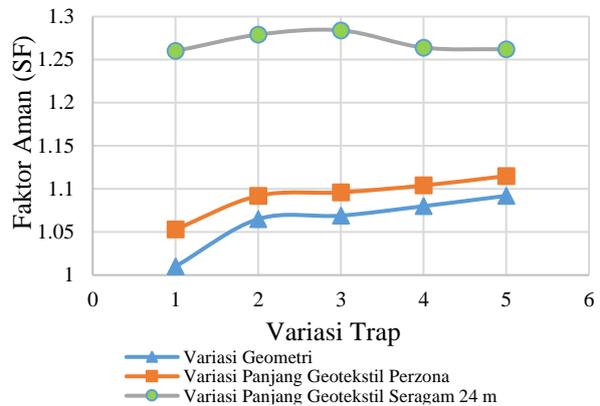


Gambar 8 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan dengan Variasi Panjang Geotekstil dengan Beban Gempa

Semakin bertambahnya jumlah trap maka nilai faktor aman (SF) yang dihasilkan umumnya akan semakin meningkat. Hal tersebut terjadi pada faktor aman (SF) pemasangan geotekstil panjang per zona dengan peningkatan sebesar 1,55%. Namun berbeda dengan pemasangan geotekstil panjang seragam 24 m, pada variasi ini dihasilkan faktor aman (SF) meningkat sebesar 1,2% dan maksimum pada lereng timbunan 3 trap, serta setelahnya faktor aman (SF) menurun sebesar 1,1%. Hal tersebut terjadi karena pada timbunan 4 trap dan 5 trap, peran geotekstil tidak bekerja secara penuh karena panjang geotekstil tidak mencapai belakang bidang longsor yang berarti geotekstil tersebut tidak ada tanah yang menahan ketika terjadi longsor.

5.3 Perbandingan Hasil Analisis Stabilitas Timbunan dengan Variasi Geometri dan Variasi Panjang Perkuatan Geotekstil

Perbandingan hasil analisis stabilitas timbunan terhadap variasi geometri penambahan trap dengan variasi panjang geotekstil.

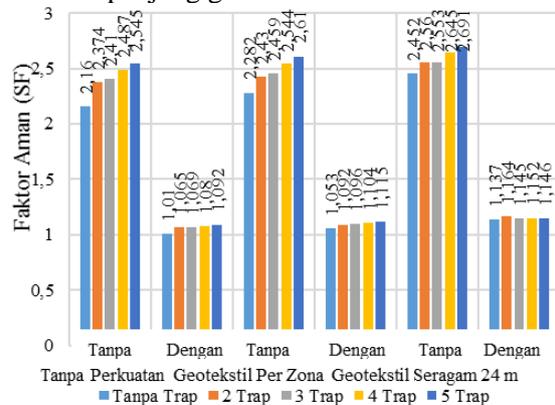


Gambar 9 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan terhadap Variasi Trap dengan Variasi Panjang Geotekstil

Dengan penambahan trap, timbunan yang termasuk dalam kondisi aman dan stabil hanya sebesar 16,67% saja. Sedangkan kondisi timbunan yang aman dan stabil dengan pemasangan geotekstil panjang per zona sebesar 40%. Lain halnya dengan kondisi timbunan dengan pemasangan panjang geotekstil seragam 24 m yang menghasilkan kondisi aman dan stabil sebesar 100%. Hal tersebut memiliki arti bahwa seluruh kondisi timbunan tanpa trap sampai 5 trap memiliki kondisi yang aman dan stabil jika dipasang panjang geotekstil seragam sepanjang 24 m.

5.4 Perbandingan Hasil Analisis Stabilitas Timbunan tanpa dan dengan Gempa

Berikut ini grafik perbandingan stabilitas timbunan dengan dan tanpa beban gempa pada timbunan tanpa perkuatan dan dengan variasi panjang geotekstil.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Faktor Aman Timbunan Tanpa Gempa dan dengan Gempa

Perbandingan faktor aman (SF) timbunan tanpa gempa dan dengan gempa rata-rata sebesar 44,4062%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya pengaruh beban gempa sangat mempengaruhi stabilitas timbunan hingga mencapai kurang lebih dua kali lipat. Beban gempa dapat berpengaruh signifikan terhadap tegangan-tegangan dinamik horisontal dan vertikal pada lereng. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor. Jika dibandingkan dengan tegangan geser statik yang ada, tegangan-tegangan dinamik dapat melampaui tahanan geser ijin tanah. Hal ini yang menyebabkan ketidakstabilan lereng.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian di atas adalah sebagai berikut ini.

1. Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern-Price* terjadi peningkatan SF berturut-turut sebesar 9,72%, 9,36% dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94% dan 2%.
2. Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan sebesar 44,4062% menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.
3. Timbunan tanpa pengaruh beban gempa dengan panjang geotekstil per zona dan panjang seragam 24 m terjadi peningkatan sebesar 8,2% dan 5,075%, sedangkan timbunan dengan pengaruh beban gempa terjadi peningkatan sebesar 1,55% dan 1,2% lalu menurun sebesar 1,1%. Geotekstil dengan panjang per zona tidak memastikan kondisi aman, sedangkan pada panjang geotekstil seragam 24 m pada semua variasi trap tersebut aman.
4. Timbunan dengan penambahan trap yang termasuk dalam kondisi aman dan stabil hanya sebesar 16,67%, sedangkan dengan pemasangan geotekstil panjang per zona timbunan yang aman dan stabil sebesar

40% dan dengan pemasangan panjang geotekstil seragam 24 m kondisi timbunan yang menghasilkan kondisi aman dan stabil sebesar 100%.

6.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan jenis perkuatan tanah lainnya seperti geogrid, geonet, dinding penahan tanah, menggunakan program lain seperti *Plaxis*, *Miraslope*, dan lainnya, serta menambah perhitungan rancangan anggaran biaya (RAB) agar mengetahui efektifitas pada perilaku stabilisasi timbunan yang dilakukan.

Daftar Pustaka

- Abramson, L. W., Thomas, S. L., Sunil, S., Glenn, M. B, 2002, *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Bowles, J. E, 1991, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid II*, Erlangga, Jakarta.
- Cruden, D. M. dan Varnes, D. J, 1996, *Landslide Types and Processes in Special Report 247: Landslide, Investigation and Mitigation (A.K. Turner and R.L. Schuster, eds.)*, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington.
- Das, B. M, 1985, *Mekanika Tanah Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Dayanun, S, 2012, *Evaluasi Gerakan Massa Tanah Timbunan dengan Sistem Subdrain dan Perkuatan Berdasarkan Simulasi Numeris pada Jalan Tol Semarang-Solo*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Indonesia.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi*, WSP International, Indonesia.
- International, GEO-SLOPE, 2008, *Stability Modeling With SLOPE/W 2007 Version*. Calgary, Alberta, Canada. (www.geo-slope.com), Diakses 17 Agustus 2018.
- Hardiyatmo, H. C, 2013, *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan dan*

- Aplikasi*), Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ismanti, S, 2012, *Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Software Plaxis*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Lazarte, C.A., Elias, V., Espinoza, R.D., dan Sabatini, P. J, 2003, *Soil Nail Walls. (Geotechnical Engineering Circular)*, Federal Highway Administration, Washington DC.
- Simatupang, Andry dan Iskandar, B, 2013, *Perbandingan antara Metode Limit Equilibrium dan Metode Finite Element dalam Analisa Stabilitas Lereng*, Jurnal Teknik Sipil USU, Medan.
- Suryolelono, K. B, 1993, *Teknik Fondasi Bagian 1 (Fondasi Telapak dan Dinding Penahan Tanah)*, Nafiri, Yogyakarta.
- Suryolelono, K. B, 2001, *Konsep dan Analisa Penanggulangan Bahaya Tanah Longsor*, KMTS UGM, Yogyakarta.
- Terzaghi, K., dan Peck, R, 1943, *Theoretical Soil Mecanic*, John Willey & Sons, New York.
- Zakaria, Z, 2009, *Analisis Kestabilan Lereng Tanah. Makalah Ilmiah*, Universitas Padjajaran, Bandung.