

KAJIAN GERAKAN TANAH DAN PENANGGULANGANNYA PADA RUAS JALAN WOROTICAN – POOPO – SINISIR PROPINSI SULAWESI UTARA

Feliks Ricardo Pasla¹⁾

Oktovian B. A. Sompie²⁾, Steeva G. Rondonuwu²⁾

¹⁾Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kab.Minahasa Selatan

²⁾Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado
felikspasla75@gmail.com

ABSTRAK

Bencana Alam merupakan kejadian yang tidak bisa diprediksi kapan, dimana akan terjadi dan siapa saja yang akan menjadi korban. Salah satu kejadian pada bulan Desember Tahun 2000 dimana ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir, tepatnya dari Desa Wakan sampai Desa Pontak terputus akibat gerakan tanah (tanah longsor), sehingga melumpuhkan perekonomian masyarakat yang ada di daerah Kecamatan Kumelembuai, Kecamatan Motoling Timur, Kecamatan Motoling, Kecamatan Motoling Barat, Kecamatan Ranoyapo dan sekitarnya. Ruas jalan ini rawan terhadap gerakan tanah dan belum ada penelitian serta upaya penanggulangan secara teknis. Oleh sebab itu dilakukan penelitian untuk mengetahui kondisi alam dan penyebab terjadinya gerakan tanah (tanah longsor). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya gerakan tanah (tanah longsor), menentukan daerah rawan longsor agar diketahui bentuk penanganan yang akan dilakukan dan memeriksa sifat fisik dan mekanis tanah dan batuan dengan pengujian laboratorium serta menentukan faktor aman lereng dengan software SLOPE/W. Berdasarkan hasil analisa dapat diketahui bahwa penyebab terjadinya gerakan tanah (tanah longsor) adalah curah hujan yang tinggi, dan faktor manusia. Tipe gerakan tanah pada lokasi penelitian adalah tipe rotasi (rotational). Penanggulangan sebagai aspek mitigasi dapat dilakukan dengan cara non fisik dan melakukan penanganan yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada pada ruas jalan tersebut, diantaranya dengan cara pelandaian lereng dan penanaman pohon (Bio Engineering). Penanggulangan secara mekanis dilakukan di STA 19 + 000, yakni dengan memasang tembok penahan. Penanggulangan secara fisis (fisis lereng) dilakukan terhadap STA 19 + 200, STA 24 + 300, STA 26 + 600 dan 26 + 800.

Kata kunci: Bencana Alam, Gerakan Tanah, Longsor, Lereng, Penanggulangan

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Bencana Alam merupakan kejadian yang tidak bisa diprediksi kapan, dimana akan terjadi dan siapa saja yang akan menjadi korban. Salah satu kejadian pada bulan Desember Tahun 2000 dimana ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir, tepatnya dari Desa Wakan sampai Desa Pontak terputus akibat gerakan tanah (tanah longsor), sehingga melumpuhkan perekonomian masyarakat yang ada di daerah Kecamatan Kumelembuai, Kecamatan Motoling Timur, Kecamatan Motoling, Kecamatan Motoling Barat, Kecamatan Ranoyapo dan sekitarnya. Kejadian ini sangat meresahkan masyarakat,

karena baru kali ini terjadi tanah longsor besar sejak dibangunnya ruas jalan tersebut. Bencana tanah longsor tidak hanya menimbulkan kerusakan lingkungan sekitarnya, akan tetapi juga menimbulkan kerugian harta benda dan melumpuhkan perekonomian masyarakat. Ini merupakan salah satu kejadian bencana alam yang terjadi ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir, masih banyak lagi kejadian-kejadian yang belum diungkapkan.

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Minahasa Selatan menyebutkan bahwa 80% wilayah Minahasa Selatan rawan longsor. Lereng pegunungan atau dataran tinggi di Kabupaten Minahasa Selatan yang rawan terjadi longsor, lahan

tersebar di 9 (sembilan) kecamatan. Kesembilan kecamatan tersebut, meliputi Kecamatan Tareran, Ranoyapo, Maesaan, Tompaso Baru, Tenga, Modinding, Amurang, Suluun-Tareran dan Motoling Timur. Permasalahan tersebut perlu disikapi dengan adanya suatu penelitian tentang mitigasi bencana tanah longsor.

Kejadian tanah longsor pada ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir menarik bagi penulis untuk melakukan penelitian. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor antara lain:

1. curah hujan yang tinggi,
2. kemiringan lereng yang terjal,
3. Pelapukan batuan,
4. tataguna lahan,
5. getaran.

Lokasi Penelitian berada pada ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir yang berada pada wilayah Kecamatan Motoling Timur dan Kecamatan Motoling, Kabupaten Minahasa Selatan, Propinsi Sulawesi Utara. Status ruas jalan ini adalah jalan Propinsi Sulawesi Utara yang menghubungkan Kabupaten Minahasa Selatan dan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, yang berjarak $\pm 142,26$ km (lewat Modinding). Kondisi ruas jalan umumnya berkelok-kelok sesuai dengan keadaan alamnya yang berbukit dan sebagian permukaan jalan sudah tertutupi dengan konstruksi Aspal Hotmix. Untuk mencapai lokasi penelitian dari Kota Manado di butuhkan waktu ± 2 jam perjalanan dengan menggunakan kendaraan bermotor roda 2 atau roda 4. Panjang lokasi kajian ± 8 KM.

Rumusan Masalah

Ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir berada pada daerah dekat dengan Gunung Lolombulan, sebagian besar wilayahnya tersusun oleh endapan koluvial yang sudah melapuk pada lapisan permukaan. Jenis batuan di lokasi penelitian adalah batuan sedimen, dengan jenis batu lempung yang suda lapuk dengan kelerengan yang sedang sampai terjal, sehingga pada musim hujan mempunyai potensi untuk terjadi gerakan tanah dan batuan. Gerakan tanah dan batuan yang berpotensi terjadi di daerah penelitian adalah longsor. Permasalahan bencana alam gerakan tanah dan mitigasinya yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi geomorfologi, hidrologi, geologi, dan tata guna lahan di daerah penelitian yang menyebabkan terjadinya gerakan tanah;
2. Tipe dan ciri gerakan tanah yang terjadi di daerah penelitian;
3. Faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya gerakan tanah;
4. Aspek mitigasi.

Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah yang dipaparkan, maka batasan masalah di dalam penelitian ini sebagaiberikut:

1. Data yang digunakan sesuai dengan yang ada di lokasi penelitian yakni, ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir yang berada pada wilayah Kecamatan Motoling Timur dan Kecamatan Motoling, Kabupaten Minahasa Selatan, Propinsi Sulawesi Utara.
2. Data primer yang diperoleh langsung dari investigasi / pengamatan lapangan dan pengujian laboratorium.
3. Penanganan bencana tanah longsor pada ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir dititik beratkan pada aspek mitigasi non-struktur.

Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui mekanisme longsor.
2. Menganalisis factor keamanan lereng menggunakan Slope/W.
3. Membuat peta rawan bencana tanah longsor.

Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian maka manfaat yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui penyebab terjadinya gerakan tanah, serta mekanisme dan tipe longsor.
2. Dapat mengetahui bagaimana mitigasi bencana di lokasi penelitian serta membuat peta rawan bencana gerakan tanah.
3. Memberikan informasi kepada Pemerintah Daerah Propinsi Sulawesi Utara tentang hasil Penelitian sebagai aspek mitigasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Gerakan Tanah / Tanah Longsor

Pengertian gerakan tanah (mass movement) dengan longsor (landslide) mempunyai kesamaan. Gerakan tanah adalah perpindahan massa tanah atau batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Dari definisi gerakan tanah dapat disimpulkan bahwa longsor adalah bagian dari gerakan tanah. (Pangular., 1985). Gerakan tanah adalah suatu konsekuensi fenomena dinamis alam untuk mencapai kondisi baru akibat gangguan keseimbangan lereng yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat ulah manusia (Suryolelono, 2001). Tanah longsor dapat juga diartikan sebagai suatu bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan massa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar. Varnes (1978) secara definitif juga menerapkan istilah tanah longsor ini untuk seluruh jenis gerakan tanah. Gerakan tanah merupakan salah satu proses geologi yang terjadi akibat interaksi beberapa kondisi antara lain geomorfologi, struktur geologi, hidrogeologi dan tata guna lahan. Kondisi tersebut saling berpengaruh sehingga mewujudkan kondisi lereng yang cenderung bergerak (Karnawati, 2001).

Klasifikasi Gerakan Tanah / Tanah Longsor

Para peneliti umumnya mengklasifikasi jenis-jenis longsor berdasarkan pada jenis gerakan materialnya. Klasifikasi yang diberikan oleh HWRBLC, Highway Research Board Landslide Committee (1978), mengacu kepada Varnes (1978) yang berdasarkan:

- a. Material yang nampak,
- b. Kecepatan perpindahan material yang bergerak,
- c. Susunan massa yang berpindah,
- d. Jenis material dan gerakannya.

Berdasarkan definisi dan klasifikasi longsor Varnes (1978 dalam Hansen, 1984), maka disimpulkan bahwa gerakan tanah (*mass movement*) adalah gerakan perpindahan atau gerakan lereng dari bagian atas atau perpindahan massa tanah maupun batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula.

Varnes (1978) mengklasifikasi tanah longsor menjadi 6 tipe yaitu *fall* (runtuhan/jatuhan), *topple* (robohan/jungkiran), *slides* (longsoran), *lateral spread* (pencaran/hamparan lateral), *flow* (aliran) dan *complex/compound* (kompleks atau gabungan). Lebih jelasnya klasifikasi tanah longsor menurut Varnes (1978) disajikan dalam Tabel 1.

Klasifikasi Tanah Longsor (*landslide*) lebih jelasnya dijelaskan sebagai berikut:

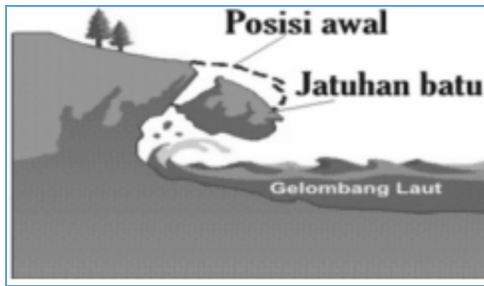
- a. Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan gerakan menggelinding bongkah batuan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Jenis Longsoran Jatuhan (*Fall*) dapat dilihat pada Gambar 1.
- b. Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung, terutama di daerah pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Longsor

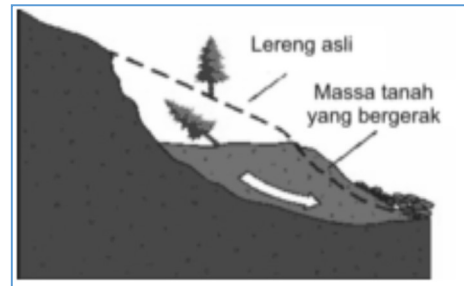
Jenis gerakan (type of movement)		Jenis Material (type of material)		
		Batuan dasar (bedrock)	Tanah keteknikan (engineering soils)	
			Bebas butir kasar (freedom, coarse)	Berbutir halus (predominantly fine)
Jatuhan (falls)		Jatuhan batu (rock fall)	Jatuhan bahan rombakan (debris fall)	Jatuhan tanah (earth fall)
Jungkiran (topple)		Jungkiran batu (rock topple)	Jungkiran bahan rombakan (debris topple)	Jungkiran tanah (earth topple)
Gelisiran (slides)	Rotasi Satuan sedikit (few units)	Nendatan batu (rock slump)	Nendatan bahan rombakan (debris slump)	Nendatan tanah (earth slump)
	Translasi Satuan banyak (many units)	Luncuran bongkah batu (rock block slide)	Luncuran bongkah bahan rombakan (debris block slide)	Luncuran bongkah tanah (earth block slide)
Gerak horizontal / bentang lateral (lateral spreads)		Bentang lateral batu (rock spread)	Bentang lateral bahan rombakan (debris spread)	Bentang lateral tanah (earth spread)
Aliran (flow)		Aliran batu / rayapan dalam (rock flow / deep creep)	Aliran bahan rombakan (debris flow)	Aliran tanah (earth flow)
			Rayapan tanah (soil creep)	
Majemuk (complex)		Gabungan dua atau lebih gerakan (combination two or more movement)		

Sumber: Varnes, (1978)

- c. Robohan (topples) adalah robohnya batuan umumnya bergerak melalui bidang-bidang diskontinyu yang sangat tegak pada lereng. Bidang diskontinyu ini berupa retakan pada batuan seperti pada runtuhan. Robohan ini biasanya terjadi pada batuan dengan kelerengan sangat terjal sampai tegak, seperti pada Gambar 2.



Gambar 1 Jenis Longsoran Jatuhan (*Fall*)

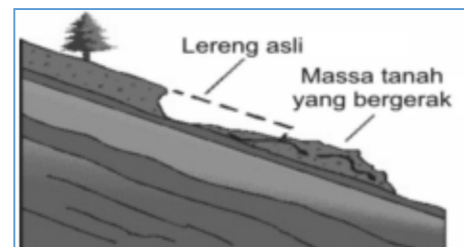


Gambar 3. Jenis Longsoran Rotasi

d. Longsoran-longsoran gelinciran (*slides*), adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. Longsoran (*Slide*) adalah gerakan menuruni lereng oleh material penyusun lereng, melalui bidang gelincir pada lereng. Seringkali dijumpai tanda-tanda awal gerakan berupa retakan berbentuk lengkung tapal kuda pada bagian permukaan lereng yang mulai bergerak. Longsoran gelinciran (*slides*) dibagi menjadi dua jenis. Bidang gelincir ini dapat berupa bidang lengkung ke atas (rotasi) ataupun berupa bidang yang relatif lurus (translasi), selebihnya mengenai longsor rotasi dan longsor translasi dijelaskan sebagai berikut:

2) Longsoran Translasi

Longsoran translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau bergelombang landai, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Jenis Longsoran Rotasi

e. Gerak horizontal/Pencaran lateral (*lateral spread*) adalah material tanah atau batuan yang bergerak dengan cara perpindahan translasi pada bagian dengan kemiringan landau sampai datar. *Lateral spread* merupakan jenis longsor yang dipengaruhi oleh gerakan bentangan material batuan secara horizontal. Pergerakan terjadi pada lereng yang tersusun atas tanah lunak dan terbebani oleh massa tanah di atasnya, seperti pada Gambar 5. Pembebanan inilah yang mengakibatkan lapisan tanah lunak tertekan dan mengembang ke arah lateral.

TOPPLE



Gambar 2. Jenis Longsoran Robohan (*Topples*)

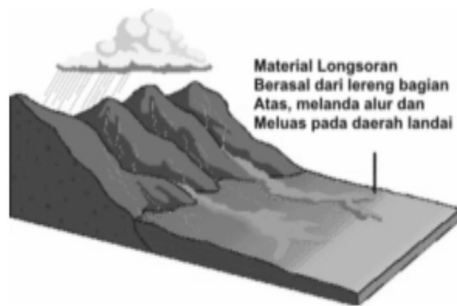
1) Longsoran Rotasi

Longsoran rotasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung, seperti pada Gambar 3.



Gambar 5. Jenis Longsoran Pencaran lateral (*lateral spread*)

f. Aliran (Flows) dan Majemuk (*Complex*)
 Aliran (flows) yaitu aliran massa yang berupa aliran fluida kental. Aliran pada bahan rombakan dapat dibedakan menjadi aliran bahan rombakan (*debris*), aliran tanah (*earth flow*) apabila massa yang bergerak didominasi oleh material tanah berukuran butir halus (butir lempung) dan aliran lumpur (*mud flow*) apabila massa yang bergerak jenuh air. Jenis lain dari aliran ini adalah aliran kering yang biasa terjadi pada endapan pasir (*dry flow*). Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai disekitar gunungapi. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak. Jenis Longsoran Aliran (Flows) dan Majemuk (*Complex*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Jenis Longsoran Aliran (Flows) dan Majemuk (*Complex*)

Di alam sering terjadi tanah longsor dengan mekanisme gabungan dari dua atau lebih jenis tanah longsor. Tanah longsor tersebut diklasifikasikan sebagai tanah longsor gabungan atau kompleks. Longsoran majemuk (*complex landslide*) merupakan gabungan dari dua atau tiga jenis. Pada umumnya longsoran majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan. Menurut Pastuto & Soldati (1997), dalam Hansen (1984) longsoran majemuk diantaranya adalah bentangan lateral batuan, tanah maupun bahan rombakan.

Jenis longsoran translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsoran yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah longsoran majemuk (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2008). Pada longsoran tipe translasional maupun rotasional, ada batas

antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir), kedalaman batas tersebut dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longsor. Klasifikasi tanah longsor yang berkaitan dengan kedalaman maksimum material yang longsor diusulkan oleh Broms, 1975, (dalam Hardiyatmo, 2006) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Longsoran Dengan Kedalaman

Tipe	Kedalaman (m)
Longsor permukaan	< 1,5
Longsor dangkal	1,5 – 5,0
Longsor dalam	5,0 – 20
Longsor sangat dalam	> 20

Umur gerakan dan derajat aktivitas longsoran merupakan kondisi yang cukup penting diketahui. Longsoran aktif selalu bergerak sepanjang waktu atau sepanjang musim, sedangkan longsoran lama dapat kembali aktif sepanjang adanya faktor-faktor pemicu longsoran. Zaruba & Mencl, (1969), dalam Hardiyatmo, 2006) mempelajari longsoran-longsoran yang berumur Plistosen dan menggunakan istilah *fosil longsoran* untuk longsoran yang sudah tidak aktif lagi.

Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan (Najoan, 2002). Daya dukung tanah adalah parameter tanah yang berkenaan dengan kekuatan tanah untuk menopang suatu beban di atasnya dengan kata lain daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban konstruksi.

Daya dukung tanah berhubungan erat dengan dengan kuat geser tanah. Sebelum melakukan pembangunan perlu adanya perencanaan pondasi dengan mempertimbangkan kondisi tanah termasuk seberapa mampu atau besar daya dukung tanahnya. Daya dukung tanah dianalisis agar pondasi tidak mengalami keruntuhan geser (*shear failure*) dan penurunan (*settlement*) berlebih.

Tanah yang berada di bawah suatu konstruksi harus dapat memikul beban yang

ada di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser (*shear failure*) dan dengan penurunan (*settlement*) yang dapat ditolerir. Daya dukung tanah tersebut ditentukan oleh jenis atau sifat dan karakteristik tanah. Daya dukung tanah dipengaruhi oleh jumlah air yang terdapat di dalamnya, kohesi tanah, sudut geser dalam, dan tegangan efektif tanah.

Untuk menghitung daya dukung tanah berlapis dapat dilakukan pendekatan dari teori Limit Equilibrium Method oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Hansen (1970), dan Vesic (1973), yaitu dengan asumsi tanah berlapis menjadi tanah homogen (satu lapis), meskipun kekuatan tiap lapisan tanah cukup berbeda.

Hal itu dilakukan jika ketebalan lapisan atas relatif tebal dibandingkan dengan lebar pondasi. Sebaliknya, jika tebal lapisan atas relatif tipis dibandingkan dengan lebar pondasi, maka asumsi tersebut tidak berlaku. Namun pada kenyataan di lapangan, kondisi tanah homogen jarang dijumpai. Oleh karena itu, daya dukung pondasi pada tanah berlapis perlu ditinjau lebih lanjut. Sedangkan, untuk tinjauan daya dukung tanah terhadap jarak antar pondasi, studi dilakukan pada tanah pasiran homogen.

1. Sudut Geser Dalam/Internal Friction (ϕ)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah ataupun bebatuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang terbentuk jika suatu material dikenal tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya.

Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dibebankan terhadapnya. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah.

Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran sifat-sifat teknis tanah dengan uji *Triaxial*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara Sudut Geser Dalam (Das, 1993)

Tipe Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Pasir : butiran bulat	
• Renggang atau lepas	27° – 30°
• Medium	30° – 35°
• Padat	35° – 38°
Pasir : butiran bersudut	
• Renggang atau lepas	30° – 35°
• Medium	35° – 40°
• Padat	40° – 45°
Kerikil bercampur pasir	34° – 48°
Lanau	26° – 35°

Fungsi dari sistem klasifikasi tanah ialah untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara yang sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu yang didasarkan pada pengalaman terdahulu (Bowles, 1999).

Tabel 4. Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo, 1992)

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

2. Tegangan Efektif Tanah

Tanah yang mengalami tekanan mengakibatkan angka pori berkurang dan merubah sifat-sifat mekanik tanah yang lain, seperti menambah tahanan geser. Tanah yang berada dalam air akan dipengaruhi oleh gaya hidrostatis. Berat tanah yang terendam disebut berat tanah efektif, dan tegangan yang terjadi disebut tegangan efektif. Tegangan efektif merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Penurunan muka air tanah akan menyebabkan kenaikan tegangan efektif pada tanah, dan apabila besarnya tegangan efektif melampaui tegangan yang diterima tanah sebelumnya maka tanah akan mengalami konsolidasi dan kompaksi yang

mengakibatkan amblesan tanah pada daerah konsolidasi normal.

Kekuatan geser suatu masa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah tersebut. Pengetahuan tentang kekuatan geser tanah dan sifat-sifat fisik tanah lainnya akan sangat membantu dalam merencanakan suatu konstruksi yang sesuai dengan kondisi tanahnya, aman, dan ekonomis.

Tegangan geser hanya dapat ditahan oleh butiran-butiran tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang berkembang pada bidang singgung antar butiran. Tegangan normal yang bekerja, ditahan oleh tanah melalui penambahan gaya antar butirannya. Jika tanah dalam keadaan jenuh sempurna, air yang mengisi ruang pori dapat juga menahan tegangan normal, dengan akibatnya akan terjadi kenaikan tekanan air pori. Pada tanah granuler, seperti tanah pasir dan kerikil, secara fisik tegangan efektif kadang-kadang disebut tegangan intergranuler. Luas bidang kontak antar butiran sangat kecil, dimana untuk butiran bulat kontak antar butirnya berupa sebuah titik.

3. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi juga dikatakan sebagai gaya tarik menarik antar sesama partikel tanah. Kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari uji di laboratorium yaitu uji Triaxial dan uji Direct Shear Test.

Bowles (1984) membedakan tingkat longsor berdasarkan faktor aman dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai FK terhadap bidang longsor (Bowles, 1984)

Faktor aman	Kejadian
$FK \leq 1.07$	Longsor sering terjadi Longsor dapat terjadi Longsor jarang terjadi
$1.07 < FK < 1.25$	
$FK \geq 1.25$	

4. Permeabilitas

Menurut Khashef dan Ismail, (1986) secara kualitatif permeabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan air atau cairan lainnya untuk merembes melalui ruang antar pori. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo, 2006). Permeabilitas tergantung pada properti tanah atau cairan.

5 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butiran tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butiran tanah tersebut (Hardiyatmo, 2010)

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Menurut teori Mohr (1910), dalam Hardiyatmo, 2010), kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser.

Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada suatu kurun waktu air hujan terkonsentrasi (Wesli, 2008). Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Satuan yang digunakan untuk menghitung nilai dari intensitas curah hujan adalah mm/jam. Dengan kata lain, intensitas curah hujan ialah rasio jumlah hujan (presipitasi) dengan curah hujan dalam waktu relatif singkat, biasanya dalam waktu 2 jam (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

Menurut Prasetyowati (2007), hujan diperkirakan sebagai penyebab utama terjadinya kelongsoran. Suryolelono (2001), menjelaskan bahwa meningkatnya kandungan air dalam tanah dapat disebabkan oleh hujan selama periode tertentu, sehingga tegangan efektif menurun dan berakibat tegangan geser dalam tanah menurun. Kegagalan pada beberapa lereng di Pulau Jawa terjadi terutama dikarenakan oleh akumulasi air dalam tanah

akibat intensitas curah hujan yang rendah, dimana kondisinya akan semakin buruk pada musim hujan. Dan untuk mendefinisikan karakter hujan paling kritis yang memicu kelongsoran lereng, beberapa peneliti menganjurkan dipakai hujan deras dengan intensitas curah hujan tinggi, adapula yang berpendapat bahwa hujan dengan intensitas curah hujan rendah, durasi panjang yang terjadi sebelum hujan deras tersebut yang merupakan hujan yang paling kritis pemicu longsor (Karnawati, 2004).

Pengaruh Hujan Terhadap Mekanisme Lonsoran

Hujan pemicu longsor adalah hujan yang mempunyai curah tertentu, sehingga air yang dicurahkan dapat meresap ke dalam lereng dan mendorong massa tanah untuk longsor. Secara umum terdapat dua tipe hujan pemicu longsor di Indonesia, yaitu tipe hujan deras yang berlangsung singkat dan hujan normal tapi berlangsung lama. Tipe hujan deras misalnya adalah hujan yang dapat mencapai 70 mm/jam atau lebih dari 100 mm/hari. Tipe hujan deras hanya akan efektif memicu longsor pada lereng-lereng yang tanahnya mudah menyerap air, seperti misalnya pada tanah lempung pasiran dan tanah pasir (Premichit, 1995, dalam Karnawati, 1996, 1997). Tipe hujan normal contohnya adalah hujan dengan intensitas 20 - 50 mm/hari. Hujan tipe ini bila berlangsung selama beberapa minggu hingga beberapa bulan dapat memicu longsor pada lereng yang tersusun oleh tanah yang permeabilitasnya kecil, misalnya tanah lempung (Karnawati, 2001).

Analisis Stabilitas Lereng

Kestabilan pada suatu lereng ditentukan oleh hubungan antara momen gaya yang melongsorkan/meluncurkan (*driving forces*) yang akan membuat massa tanah/batuan bergerak ke bawah, dan momen gaya yang menahan (*resisting forces*) yang menyebabkan masa tanah/batuan tetap berada di tempatnya.

Gaya-gaya yang melongsorkan/meluncurkan (*driving forces*) atau gaya penggerak / peluncur, umumnya berupa berat massa material tanah/batuan, beban yang ada pada lereng, tekanan air dalam pori-pori tanah (tekanan hidrostatik akibat naiknya permukaan air dalam lereng), gangguan pada lereng (getaran), sedangkan gaya-gaya yang menahan

(*resisting forces*) adalah kuat geser (*shear strength*) tanah atau batuan yang bekerja sepanjang bidang gelincir pada lereng. Besarnya kuat geser suatu massa tanah atau batuan dikontrol oleh kohesi (c) dan sudut gesekan dalam antara partikel-partikel penyusun tanah atau batuan (ϕ). Besarnya nilai kohesi tergantung pada kekuatan ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul penyusun partikel-partikel batuan/ tanah, ataupun tergantung pada kekuatan sementasi antar partikel-partikel batuan/tanah. Sudut gesekan dalam merupakan nilai yang mengekspresikan kekuatan friksi antara partikel-partikel penyusun batuan/tanah.

Berdasarkan interaksi antara momen-momen gaya tersebut di atas, kestabilan suatu lereng dapat diperhitungkan dengan cara membandingkan antara gaya yang menahan dan gaya yang melongsorkan/meluncurkan. Analisis umumnya dilakukan untuk menentukan besarnya angka aman (*factor of safety -Fs*) dari bidang longsor yang potensial.

Menurut Hardiyatmo (2006), ada beberapa anggapan yang dibuat dalam analisis stabilitas lereng, yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata – rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata – rata sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik – titik tertentu pada bidang longsornya padahal faktor aman hasil hitungan lebihdari 1.

Mitigasi Gerakan Tanah / Tanah Longsor

Prinsip penanggulangan longsor adalah mengurangi gaya pendorong atau menambah gaya penahan. Penanggulangan sangat tergantung pada tipe dan sifat gerakan tanah, kondisi lapangan dan geologi. Penaggulangan dimaksud untuk menghindari kemungkinan

terjadinya longsor pada daerah yang berpotensi longsor (Tumanduk, 2012).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

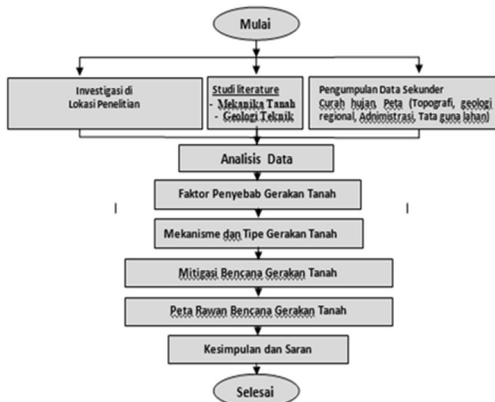
Lokasi penelitian terletak di ruas jalan raya Worotican – Poopo – Sinisir yang berada pada wilayah Kecamatan Motoling Timur dan Kecamatan Motoling, Kabupaten Minahasa Selatan, Propinsi Sulawesi Utara, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7. Panjang lokasi kajian ±8 km.



Gambar 7. Lokasi Penelitian

Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Daerah Gerakan Tanah

Gerakan massa tanah di ruas jalan raya Worotican – Poopo – Sinisir secara umum menjadi ancaman bagi masyarakat yang menggunakan jalur ini. Hal ini disebabkan oleh

sewaktu-waktu longsor bisa terjadi, apalagi pada musim hujan. Ancaman gerakan tanah (longsor) terdapat pada dua sisi yakni, sisi kanan terdapat jurang dengan kemiringan > 45° dan kedalaman > 10 m, dan sisi kiri adalah lereng yang di tumbuh pohon kecil sampai besar dengan kemiringan > 45° dan ketinggian > 10 m. Dari hasil pengamatan di lapangan, bukan hanya tanah longsor yang menjadi ancaman bagi pengguna jalur ini, akan tetapi pohon-pohon besar yang berada di atas lereng yang sewaktu-waktu dapat tumbang.

Identifikasi yang dilakukan adalah terhadap daerah rawan dan daerah yang sudah terjadi gerakan tanah (longsor). Untuk memberikan informasi yang lebih jelas terhadap identifikasi daerah rawan dan daerah yang sudah terjadi gerakan tanah (longsor), maka pembahasan akan dibagi dua yakni; daerah rawan gerakan tanah (longsor), yang terdapat pada STA. 19 + 200 (Titik koordinat 1.075089N, 124.496416E), STA. 24 + 300 (Titik koordinat 1.042177N, 124.483262E), STA. 26 + 600 (Titik koordinat 1.025777N, 124.476879E), dan daerah yang sudah terjadi gerakan tanah (longsor), yakni STA. 19 + 000 (Titik koordinat 1.076963N, 124.496593E), dan STA. 26 + 800 (Titik koordinat 1.025395N, 124.478192E), dan untuk lebih memberikan gambaran yang jelas terhadap titik-titik yang diidentifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.15 peta titik longsor.

Aspek Mitigasi

1. Pembuatan Peta Rawan Longsor

Berdasarkan hasil identifikasi dan pengamatan lapangan maka untuk lebih memberikan informasi tentang lokasi yang rawan terjadinya tanah longsor dapat dilihat pada peta rawan longsor dengan skala 1 : 5000. Pembuatan peta rawan longsor ini dibuat dengan menggunakan program ArcView GIS 3.3, kemudian dari peta buat polygon longsor sesuai dengan titik dan luasannya sehingga memberikan informasi sebagai aspek mitigasi kepada masyarakat yang melaluinya. Dari hasil identifikasi lapangan dan diaplikasikan pada peta rawan longsor, (lihat gambar peta rawan longsor, lampiran 2).

2. Analisa Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng di daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan

program SLOPE/W. Analisa ini untuk menentukan Faktor aman (F_s) dari suatu lereng. *Factor of safety* (F_s) atau disebut juga faktor keamanan lereng merupakan nilai yang mengekspresikan tingkat kestabilan suatu lereng. Lereng akan tetap stabil jika gaya yang menahan gerakan lebih besar dari pada gaya yang meluncurkan ($F_s > 1$). Kondisi kritis pada lereng terjadi apabila gaya yang menahan gerakan seimbang dengan gaya yang meluncurkan ($F_s = 1$). Lereng akan mulai bergerak (tidak stabil) apabila gaya yang menahan gerakan lebih kecil dibandingkan dengan gaya yang meluncurkan ($F_s < 1$).

Penggambaran kondisi morfologi/ permukaan longsor di lapangan kedalam lembar kerja SLOPE/W adalah berdasarkan data ketinggian yang diukur menggunakan Altimeter dan berdasarkan peta topografi. Analisis dilakukan terhadap lokasi yang diidentifikasi rawan gerakan tanah (tanah longsor), dan yang sudah terjadi longsor. Nilai kuat geser tanah dari matriks endapan koluvial pada daerah penelitian terdiri dari kohesi 12.8 kN/m^2 dan sudut gesekan dalam 33.10° . Nilai berat volume tanah (*unit weight*) 14.94 kN/m^3 . Nilai tersebut merupakan nilai rata-rata dari 3 sampel yang di uji di laboratorium. Perhitungan (*running*) dengan program SLOPE/W dilakukan sebanyak 2 kali, *running* yang pertama dilakukan terhadap STA 19 + 000, sebagai lokasi pengambilan sampel asli, kemudian *running* yang kedua merupakan data asumsi yang dilakukan pada STA 19 + 200, 24 + 300, STA 26 + 600, dan STA 26 + 800 karena tidak mempunyai data hasil penyelidikan tanah dan data yang kami gunakan untuk analisa tersebut adalah data yang pertama. Kami mengasumsikan bahwa hasil penyelidikan tanah yang berada pada sampel pertama adalah sama dengan sampel kedua. Adapun hasil analisa adalah sebagai berikut.

3. Analisa terhadap lokasi yang sudah terjadi gerakan tanah (tanah longsor).

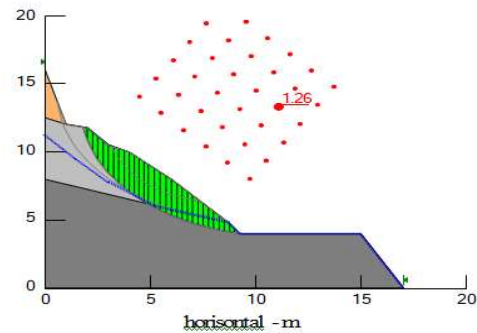
a. Hasil analisa SLOPE/W pada STA 19 + 000

Gambar hasil analisa yang ditunjukkan pada Gambar 9 adalah faktor aman dengan menambahkan faktor air tanah dan koefisien gempu, $F_s = 1.26$. serta Gambar 10 menunjukkan hasil analisis dengan

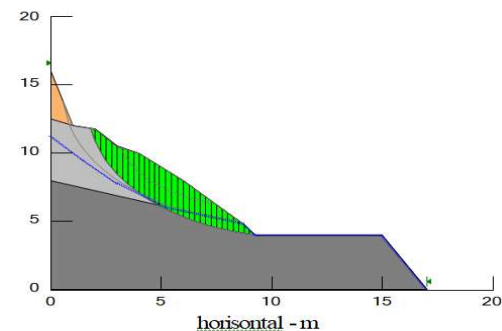
menambahkan faktor air tanah dan koefisien gempu $F_s = 0.60$.

b. Hasil analisa SLOPE/W pada STA 26 + 800

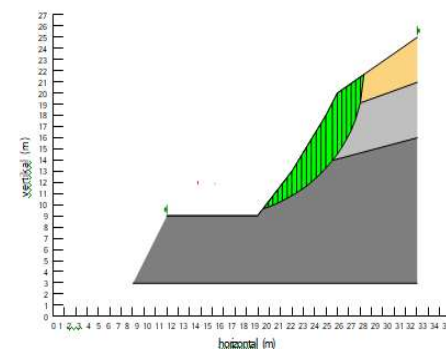
Gambar hasil analisa yang ditunjukkan pada Gambar 11 adalah faktor aman tanpa memasukan koefisien gempu dan faktor air tanah $F_s = 1.33$, serta Gambar 12 menunjukkan hasil analisis dengan menambahkan faktor air tanah dan koefisien gempu $F_s = 0.62$.



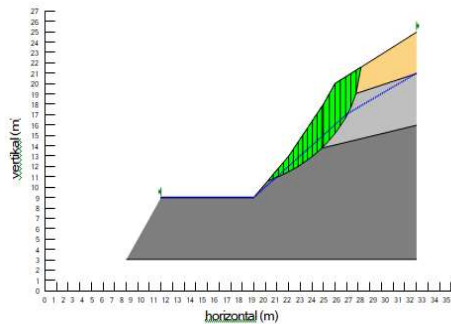
Gambar 9. Faktor aman 1.26 pada kondisi dengan koefisien gempu dan air tanah 19 + 000



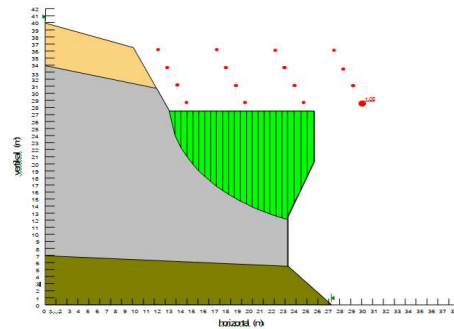
Gambar 10. Faktor aman 0.60 pada kondisi dengan koefisien gempu 0.28 dan air tanah STA 19 + 000.



Gambar 11. Faktor aman 1.33 pada kondisi tanpa koefisien gempu dan air tanah STA 26 + 800



Gambar 12. Faktor aman 0.62 pada kondisi dengan koefisien gempa 0.28 dan air tanah STA 26 + 800.

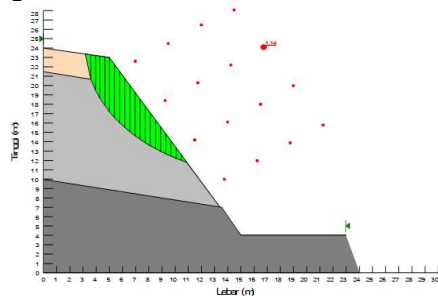


Gambar 15. Faktor aman 1.05 kondisi tanpa air tanah dan koefisien gempa

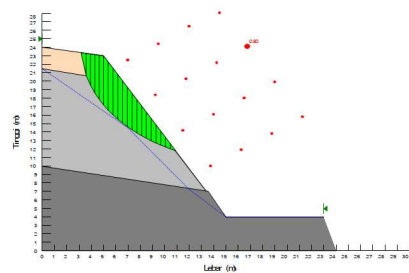
4. Analisa stabilitas pada lokasi rawan gerakan tanah (tanah longsor).

a. Hasil analisa SLOPE/W STA. 19 + 200.

Hasil analisa dan penggambaran dilakukan tanpa memasukan muka air tanah dan koefisien gempa 0.28, pada STA 19 + 200, dengan $F_s = 1.14$, sebagaimana dalam Gambar 13. Untuk analisa dengan memasukan air tanah dan koefisien gempa, $F_s = 0.80$, sebagaimana dalam Gambar 14.



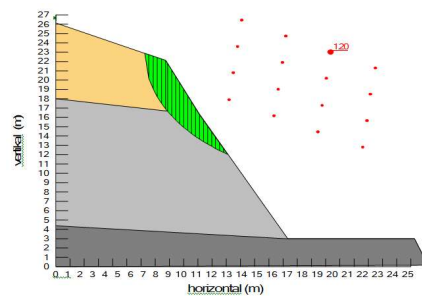
Gambar 13. Faktor aman 1.14 pada kondisi tanpa air tanah dan koefisien gempa



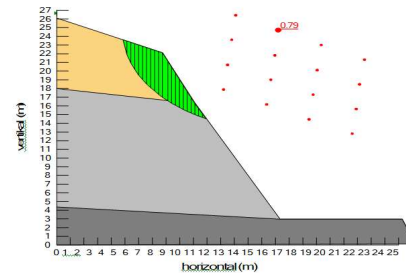
Gambar 14. Faktor aman 0.80 pada kondisi dengan air tanah dan koefisien gempa.

c. Hasil analisa SLOPE/W pada STA 26 + 600.

Hasil analisa dan penggambaran dilakukan tanpa memasukan muka air tanah dan koefisien gempa 0.28, pada STA 26 + 600 dengan $F_s = 1.20$, sebagaimana dalam Gambar 16. Untuk analisa dengan memasukan air tanah dan koefisien gempa, $F_s = 0.79$, sebagaimana dalam Gambar 17.



Gambar 16. Faktor aman 1.20 pada kondisi tanpa koefisien gempa dan air tanah



Gambar 17. Faktor aman 0.79 pada kondisi dengan air tanah dan koefisien gempa

b. Hasil analisa SLOPE/W pada STA 24 + 300.

Hasil analisa dan penggambaran dilakukan tanpa memasukan muka air tanah dan koefisien gempa 0.28, pada STA 24 + 300 dengan $F_s = 1.05$, sebagaimana dalam Gambar 15.

5. Penanggulangan gerakan tanah (longsor)

Penanggulangan gerakan tanah pada ruas jalan raya Worotican – Poopo – Sinisir merupakan hal yang sangat penting, karena ruas jalan ini adalah satu-satunya sarana yang menghubungkan daerah yang berada di

Kecamatan Kumelembuai menuju Kecamatan Modinding. Berbagai macam cara untuk penanggulangan bencana alam gerakan tanah seperti, penanggulangan secara fisis (*fisis lereng*), secara mekanis, bioengineering (*bio technical stabilization*) dan secara kimiawi. Dari keempat cara tersebut tentunya membutuhkan analisa yang cukup matang untuk menentukan bentuk penanganannya, kerana berbagai macam faktor seperti, sosial, ekonomi, budaya, lingkungan dan sebagainya. Terutama faktor ekonomi, dan lingkungan, dimana harus mempertimbangkan biaya murah dengan kualitas pekerjaan yang baik dan tahan lama serta menerapkan teknologi yang tepat dan ramah lingkungan, tanpa merugikan masyarakat yang menggunakannya.

Penanggulangan dilakukan sepanjang daerah kajian kemudian dibagi atas dua bagian antara lain, terhadap daerah yang sudah terjadi longror dan daerah rawan longsor serta penanggulangan diantara titik yang sudah tanggulangi.

a. Penanggulangan pada daerah yang sudah terjadi longror dan daerah rawan longsor

Ada beberapa alternatif penanggulangan bencana alam gerakan tanah yang akan kami terapkan pada ruas jalan Worotican – Poopo – Sinisir yang tentunya sudah mempertimbangkan faktor-faktor hasil penelitian sebagaimana pembahasan sebelumnya. Alternatif yang cocok untuk penanggulangan antara lain:

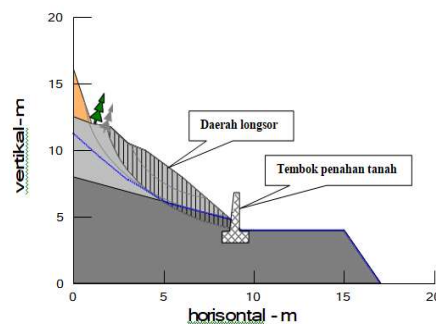
1) Secara mekanis.

Penanggulan pada STA 19 + 000, dilaksanakan secara mekanis dengan memasang dinding penahan tanah yaitu dengan menempatkan konstruksi penahan beban (*counterweight*) seperti pemasangan kawat bronjong, tembok penahan baik berupa pasangan batu atau beton bertulang, pembuatan teras batu atau kayu, dinding penopang isian tanah atau batu, atau pembuatan tanggul penguat.

Konstruksi penahan tanah dapat dibuat dari pasangan batu atau beton bertulang. Sama halnya dengan bronjong, keberhasilan tembok penahan tergantung dari kemampuan menahan geseran, tetapi perlu pula ditinjau stabilitas terhadap guling. Untuk lebih meningkatkan efektifitas konstruksi, perlu dilengkapi lubang penetes dan pipa salir yang diberi bahan filter supaya tidak tersumbat, sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatik yang besar.

Konstruksi ini dapat dilaksanakan di daerah penelitian, komposisi material disesuaikan dengan kondisi lapangan, dengan prinsip pondasi tembok penahan diletakan di bawah bidang gelincir supaya dapat menahan momen guling.

Penanggulangan secara mekanis ini dianggap cocok dan sesuai dengan kondisi lapangan, dimana kemiringan lereng sudah cukup landai dan faktor amanannya telah memenuhi syarat > 1 . Penerapan secara mekanis ini dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Penanggulangan secara mekanis pada 19 + 000 dengan membuat tembok penahan tanah faktor aman 1.10.

2) Secara fisis (*fisis lereng*)

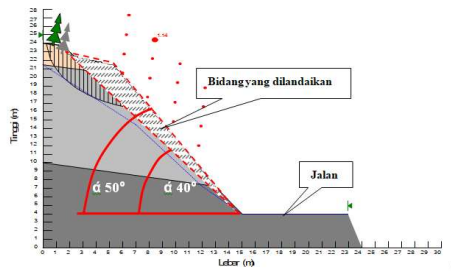
Penanggulangan yang akan dilakukan pada STA 26 + 800, yaitu melandaikan lereng (*cut and fill*) dengan tujuan mengurangi besarnya sudut lereng baik dengan melakukan galian. Prinsip penanggulangan cara ini dilakukan dengan cara mengurangi besarnya sudut lereng (melandaikan sudut lereng) dengan tujuan mengurangi gaya yang melongsorkan. Pemotongan yang dilakukan dapat mengurangi tegangan tangensial, hal ini dapat dicapai dengan pemotongan pada bagian yang lebih banyak menimbulkan tegangan tangensial dari pada tegangan geser.

Penanggulangan ini dilakukan dengan berbagai pertimbangan antara lain tipe longoran, kemiringan lereng dan hasil analisa SLOPE/W sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk pelaksanaan penanggulangan secara fisis ini yang akan diterapkan pada STA 19 + 200, STA 24 + 300, STA 26 + 600 dan 26 + 800.

a. Penanggulangan pada STA 19 + 200

Dengan melakukan pelandaian dari sudut $\alpha 50^\circ$ menjadi $\alpha 40^\circ$, menunjukkan faktor aman > 1 , hal ini membuktikan bahwa

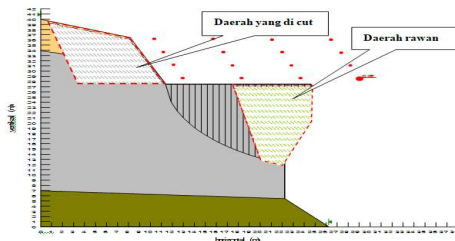
penanggulangan secara fisis ini dapat diterapkan, hasil analisis sebagaimana Gambar 19.



Gambar 19. Faktor aman 1.12 pada kondisi dengan koefisien gempa 0.28 dan air tanah setelah dilandaikan (STA 19 + 200)

b. Penanggulangan pada STA 24 + 300

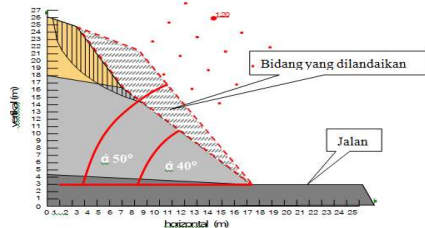
Penanggulangan pada STA 24 + 300 dengan cara memotong dan melebarkan jalan, apabila daerah rawan terjadi longsor, sebagaimana dalam Gambar 20.



Gambar 20. Penanggulangan secara mekanis, dengan pelebaran jalan

c. Penanggulangan pada STA 26+600

Dengan melakukan pelandaian dari sudut $\alpha 50^\circ$ menjadi $\alpha 40^\circ$, menunjukkan faktor aman > 1 , hal ini membuktikan bahwa penanggulangan secara fisis ini dapat diterapkan, hasil analisis sebagaimana Gambar 21, dengan faktor aman $F_s=1.22$.

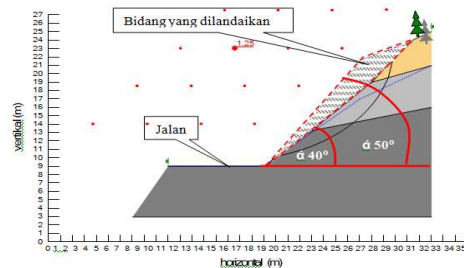


Gambar 21. Faktor aman 1.22 pada kondisi dengan koefisien gempa 0.28 dan air tanah setelah dilandaikan (STA 26+600).

d. Penanggulangan pada STA 26 + 800

Dengan melakukan pelandaian dari sudut $\alpha 50^\circ$ menjadi $\alpha 40^\circ$ maka hasil analisa

menunjukkan faktor aman > 1 , hal ini membuktikan bahwa penanggulangan secara fisis ini dapat diterapkan, hasil analisis sebagaimana Gambar 22.

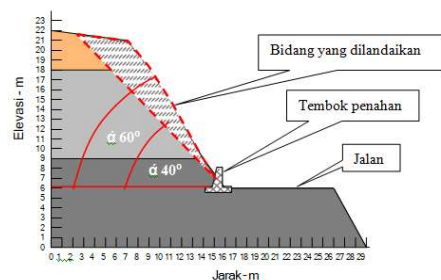


Gambar 22. Faktor aman 1.25 pada kondisi dengan koefisien gempa 0.28 dan air tanah setelah dilandaikan (STA 26 + 800).

6. Daerah Rawan Longsor Yang Sudah Ditanggulangi

a. STA 20+150

Berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian satuan batuan penyusunnya semua hampir sama sebagaimana sudah dibahas sebelumnya, namun kondisi lereng pada daerah ini masih cenderung stabil atau belum ada tanda-tanda akan terjadi longsor. Penanggulangan yang akan dilakukan pada daerah ini direncanakan adalah dengan pelandaian sebagaimana dilakukan pada STA 19+200. Namun penanggulangan sementara telah dilakukan dengan memasang talud di kaki-kaki lereng, sebagaimana yang terlihat pada gambar 23 dan 24.

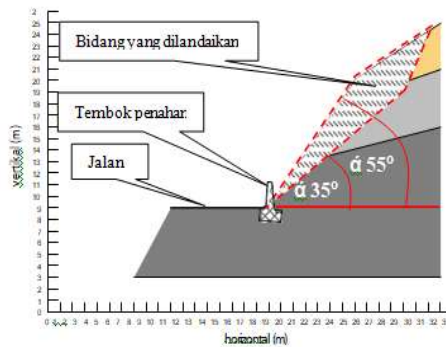


Gambar 23. Penanggulangan dengan pelandaian lereng secara fisis lereng

b. STA 21+400 dan STA 21+550

Penanggulangan yang akan dilakukan pada daerah ini direncanakan adalah dengan pelandaian sebagaimana dilakukan pada penanggulangan diatas. Pertimbangan ini sesuai dengan kondisi lereng yang relatif terjal namun sebagian besar penanggulangan

dilakukan secara mekanis yakni dengan memasang tembok penahan pada kaki lereng, sebagaimana pada gambar 23 dan 24.

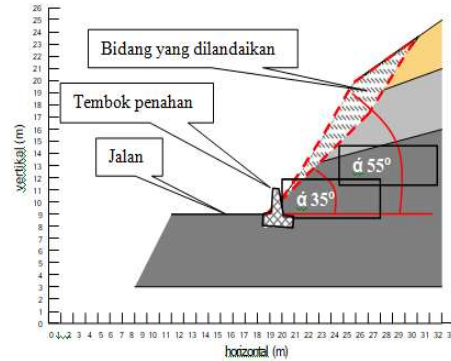


Gambar 24. Penanggulangan dengan pelandaian lereng dan secara fisis lereng

c. STA 26+900

Penanggulangan yang akan dilakukan pada daerah ini direncanakan adalah dengan pelandaian sebagaimana dilakukan pada penanggulangan diatas. Namun sebagai tambahan penanggulangan dilakukan dengan Bioengineering (*Bio Technical Stabilization*). Penanggulangan macam ini untuk mengganti

pohon yang sudah tua dengan pohon yang baru yang mempunyai akar tunggang dan akar cabang yang banyak seperti pohon *chery*, kondisi daerah ini dapat dilihat pada gambar 25.



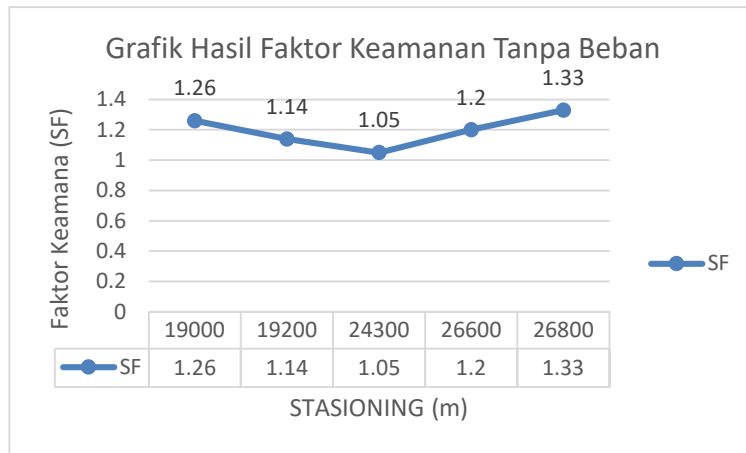
Gambar 25. Penanggulangan dengan pelandaian lereng dan secara fisis lereng.

7. Rekapitulasi Hasil analisa SLOPE/W.

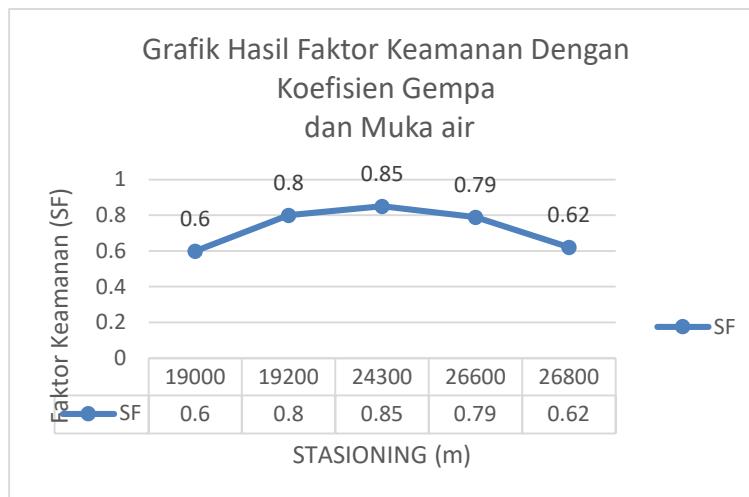
Hasil analisa SLOPE/W di uraikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisa SLOPE/W.

No.	STA/ Koordinat	(SF) tanpa beban	(SF) dengan factor air tanah dan koef. gempa	(SF) setelah penanggulangan	Jenis penanggulangan	Keterangan
1	19 + 000 1.076963N, 124.496593E	1.26	0.60	1.10	Secara Mekanis	Daerah longsor
2	19 + 200 1.075089N, 124.496416E	1.14	0.80	1.12	Dilandaikan	Daerah Rawan longsor
3	20 + 150 1.069392N, 124.498608E	-	-	-	Dilandaikan dan secara fisis	Daerah Rawan Longsor
4	21 + 400 1.062327N, 124.495111E	-	-	-	Dilandaikan dan secara fisis	Daerah Rawan Longsor
5	21 + 550 1.061341N, 124.495036E	-	-	-	Dilandaikan dan secara fisis	Daerah Rawan Longsor
6	24 + 300 1.042177N, 124.483262E	1.05	0.85	-	Relokasi	Daerah rawan longsor
7	26 + 600 1.025777N, 124.476879E	1.20	0.79	1.22	Dilandaikan	Daerah rawan longsor
8	26 + 800 1.025395N, 124.478192E	1.33	0.62	1.25	Dilandaikan	Daerah Longsor
9	26 + 900 1.025359N, 124.478868E	-	-	-	Dilandaikan dan secara fisis	Daerah Rawan Longsor



Gambar 26. Hasil Faktor Kemanan Tanpa Beban



Gambar 27. Hasil Faktor Kemanan Dengan Koefisien Gempa dan Muka Air

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut ini:

1. Mekanisme gerakan tanah yang terjadi adalah karena adanya gangguan keseimbangan pada lereng yang disebabkan oleh getaran gempa dan beban yang diterima oleh lereng semakin besar, mengakibatkan terjadi retakan-retakan tanah terutama pada lereng dengan kemiringan yang besar. Retakan tersebut memicu masuknya air kedalam tanah sehingga akan menambah beban dan mengganggu

kestabilan lereng. Gerakan tanah yang terjadi pada daerah penelitian adalah jenis rotasi, ini dapat dilihat dari susunan material dan bentuk longsoran berbentuk cekung.

2. Berdasarkan hasil analisa SLOPE/W penanggulangan yang dilakukan adalah secara mekanis, secara fisis (fisis lereng) dan *Bioengineering (Bio Technical Stabilization)*. Penanggulangan secara mekanis dilakukan terhadap Sta 19 + 000, yakni dengan pemasangan tembok penahan. Penanggulangan secara fisis (*fisis lereng*) dilakukan terhadap STA 19 + 200, STA 20 + 150, STA 20 + 400, STA 21 + 550, STA 24 + 300, STA 26 + 600, STA 26 + 800

dan STA 26 + 900.

Saran

1. Untuk Pemerintah Propinsi Sulawesi Utara, Kabupaten Minahasa Selatan terlebih khusus di Kecamatan Kumelembuai, Kecamatan Motoling Timur, Kecamatan Motoling, dan Kecamatan Ranoyapo, perlu upaya mengurangi kerentanan masyarakat dalam pemanfaatan lahan pada daerah rawan bencana tanah longsor dengan kegiatan mitigasi bencana dalam bentuk sosialisasi yang intensif dan pembangunan infrastruktur khususnya upaya penanggulangan/mitigasi tanah longsor.
2. Untuk meningkatkan kestabilan lereng salah satu cara penanggulangan yang perlu ditingkatkan adalah dengan Bioengineering (*Bio Technical Stabilization*). Cara ini dengan melakukan penanaman pohon yang mempunyai akar serabut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S. dan Boyce, G.M., 1996, *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Anonim, *Pengenalan Gerakan Tanah*, www.esdm.go.id/batubara/doc, download tanggal 27 September 2021.
- Anonim, Data Curah Hujan, <https://climatecharts.net/>, download tanggal 27 September 2021
- Bowles, Joseph E. 1984. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta.
- Bowles, J. E., 1986, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi ke 2, Terjemahan oleh Ir. Johan K. H., Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Bowles, Joseph E. 1999. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Das, Braja M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah I*. Jakarta: Erlangga.
- Fredlund, D.G., dan Rahardjo, H., 1993, *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John Wiley and Sons, Canada.
- Hansen, M.J., 1984, *Strategies for Classification of Landslides*, (ed.:Brunsden, D, & Prior, D.B., 1984), Slope Instability, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. *Mekanika Tanah I*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Imbar Enricho R. B., Mandagi Agnes T., Rondonuwu Steeva G., 2019, *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Slope/W Dan Geostructural*, Jurnal Tekno, Vol. 17, No. 72, (59-64), ISSN: 0215-9617,.
- Karnawati, D., 1997, *Prediction of Rain-Induced Landsliding by Using Slope Hydrodynamic Numerical Model*, Forum Teknik Jilid 20 no. 1 Januari 1997, Yogyakarta.

- Karnawati, D. 2001. *Bencana Alam Gerakan Tanah Indonesia Tahun Th 2000 (Evaluasi dan Rekomendasi)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil-Universitas Gadjah Mada.
- Karnawati, D. 2003. *Himbauan Untuk Antisipasi Longsoran Susulan*. Yogyakarta: Tim Longsoran Teknik Geologi UGM. Tidak Diterbitkan.
- Khasef dan Ismail, 1986. *Groundwater Engineering*. McGraw-Hill.
- Krahn, J, 2004, *Seepage Modeling with SEEP/W An Engineering Methodology*, Calgary, Alberta, Canada.
- Krahn, J, 2004a, *Stability Modeling with SLOPE/W An Engineering Methodology*, Calgary, Alberta, Canada.
- Lumentah E., Manoppo F. J., Sompie O. B. A., 2021. *Analisis Kestabilan Dam Tailing PT. Sumber Energy Jaya*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.11 No.3, November 2021 (171-178), ISSN: 2087-9334
- Najoan. 2002. *Interpretasi Hasil Uji dan Penyusunan Laporan Penyelidikan Geoteknik*. Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum.
- Pangemanan V. G. M., Turangan A.E, Sompie O.B.A., 2014,. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland)*. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.1, Januari 2014, (37-46), ISSN: 2337-6732.
- Pangular, D., 1985, *Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
- Prasetyowati, SH. 2007. *Analisis Pengaruh Karakteristik Hujan Terhadap Gerakan Lereng*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Santoso, Budi dkk. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.
- Sri Harto, Br., 1993, *Analisis Hidrologi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sompie O.B.A., 2011, *Rekayasa Geoteknik Dalam Disain Dam Timbunan Tanah*, Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING Vol. 1, No. 2, Juli 2011 (90-95) ISSN 2087-9334.
- Sosrodarsono dan Takeda, 1987, *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Sunggon, K. H.1984. *Mekanika Tanah*. Bandung.
- Suryolelono, K. B. 2001. *Konsep dan Analisa Penanggulangan Bahaya Tanah. Longsor*. Yogyakarta: KMTS UGM.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Tumanduk, M. 2012. *Identifikasi tanah, Penentuan Bidang Gelincir Longsor dan Upaya Penanggulangannya*. ARSKON, Jurnal Arsitektur & Konstruksi 10 Volume 1, Nomor 1, hal 1-19.
- Undang-undang Republik Indonesia No.24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangannya Bencana.
- User's Guide, 2002a, *SLOPE/W for Slope Stability Analysis Version 5*, GEOSLOPE INTERNASIONAL Ltd. Calgary, Alberta, Canada.

Wesli. 2008. *Drainase Perkotaan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Varnes, D.J. 1978. *Slope Movement types and Processes - Special Report Hal 68 & 76*. Washington D.C.