



Research Article

Evaluasi Faktor-Faktor Penyebab Longsor dan Kesesuaian Mitigasi

Bulkin Fathoni¹, Erlangga Saputra¹, dan Nurly Gofar^{1,*}

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Bina Darma, Palembang, Indonesia

Received: 31 December 2023, Accepted: 20 April 2024, Published: 18 May 2024

Abstract

Management and maintenance of slopes require proper knowledge of slope conditions so that appropriate mitigation measures can be implemented. The activities required for the management of slopes include slope inventory, slope inspection, slope risk level assessment, and risk mitigation measures. The objective of this study was to observe the slope conditions and causes of past slope failures, determine the appropriate mitigation measures, and analyze the suitability of landslide mitigation measures and causes of slope failures. The research locations are road segment No. 36 (Kota Lahat – Simpang Air Dingin), No. 37 (Simpang Air Dingin – Pagar Alam), and No. 38 (Pagar Alam – Tanjung Sakti – batas Bengkulu). The research was initiated by analyzing data collected by the South Sumatra National Road Management Agency (BPJNSS) from 2018 to 2021. The field observation was conducted on ten locations where the slope had been repaired after slope failure events. The suitability of mitigation with the factors that cause landslides was analyzed using the slope management system method suggested by the Ministry of PUPR. The results showed that most slope failures were triggered by high-intensity rain falling on slope surfaces containing high humidity due to previous rainfall. The common types of slope mitigation are reducing the forces that cause movement, increasing the resisting forces by controlling seepage, and the use of anchors.

© 2024 published by Sriwijaya University

Keywords: national road system, slope failure, slope management, mitigation measure.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Selatan merupakan salah satu provinsi di Pulau Sumatera yang memiliki letak strategis. Secara Geografis Provinsi Sumatera Selatan terletak antara 1°25'13" sampai 4°55'17" Lintang Selatan dan 102°3'52" dan 106°19'45" Bujur Timur. Topografi wilayah Provinsi Sumatera Selatan berupa pantai, dataran rendah, dataran tinggi, perbukitan dan pegunungan. Pegunungan Bukit Barisan, berada di bagian barat Provinsi Sumatera Selatan, berupa wilayah perbukitan dan pegunungan dengan panjang ketinggian rata-rata 900–1200 mdpl dengan puncak tertinggi pada Gunung Dempo mencapai 3159 mdpl. [1]. Kawasan yang termasuk daerah bahaya Gunung Dempo terdiri dari Kabupaten Lahat, Empat Lawang dan Kota Pagar Alam. Ketiga kabupaten tersebut merupakan daerah rawan bencana gempa bumi. Dengan kondisi geografis dan topografi ini, beberapa ruas jalan di wilayah Sumatera Selatan melalui pegunungan dan perbukitan, dimana terdapat lereng-lereng yang rawan terhadap bencana longsor.

Lereng merupakan struktur geoteknik berupa tanah dan batuan yang dapat terbentuk oleh alam maupun buatan manusia [2]. Longsor adalah proses perpindahan massa tanah/batuan pembentuk lereng karena pengaruh gravitasi pada bidang perlemahan sehingga terpisah dari massa yang mantap. Jenis gerakan berbentuk rotasi dan translasi [3]. Keruntuhan lereng adalah bentuk gerakan massa pada lereng yang tidak kurang dari 20° yang terjadi sangat cepat, kadang-kadang tanpa tanda-tanda sama sekali [4].

Tanah longsor telah menyebabkan sejumlah besar korban dan kerugian ekonomi dan korban jiwa di daerah perbukitan dan pegunungan [5]. Tanah longsor dapat terjadi hampir di mana saja, mulai dari lereng buatan manusia hingga tanah yang alami dan masih asli. Sim dkk. [6] melaporkan bahwa pada tahun 2004–2016, lebih dari 55.000 orang kehilangan nyawa akibat tanah longsor dan angka ini belum termasuk kematian yang disebabkan oleh tanah longsor yang dipicu oleh gempa. Kerugian keseluruhan diperkirakan mencapai USD 20 miliar

per tahun. Kerugian sosial dan ekonomi akibat tanah longsor dapat dikurangi melalui pengelolaan dan perencanaan yang efektif. Sim dkk. [6] menyimpulkan bahwa setiap negara mempunyai prioritas tersendiri dalam penanganan longsor. Misalnya di Malaysia usaha penangan longsor telah dilakukan sejak tahun 1990an dengan melibatkan badan pemerintahan dan organisasi swasta di Malaysia [7].

Ada beberapa faktor penyebab terjadinya bencana tanah longsor yaitu faktor geologi, faktor morfologi dan faktor fisik. Faktor Geologi adalah faktor yang dipengaruhi oleh kondisi dari tanah atau batuan setempat, diantaranya konsistensi, sensitifitas dan derajat pelapukan serta adanya retakan, kekar dan patahan. Faktor geologi juga meliputi sifat fisik seperti permeabilitas, plastisitas, kandungan mineral dan sebagainya. Faktor Morfologi adalah faktor yang disebabkan oleh pergerakan/ pengangkatan permukaan tanah akibat gerak tektonik atau vulkanik aktif, proses erosi (penggerusan lateral), proses penggerusan vertikal (scouring), penambahan beban tanah / tanah buangan di daerah puncak lereng dan pengupasan vegetasi akibat kekeringan atau kebakaran. Faktor Fisik termasuk adanya hujan yang deras dan lama (banjir), turunnya muka air yang cepat (*rapid drawdown*), gempa bumi, letusan gunung berapi, kembang susut batuan lempeng marin dan tekanan artesis. Faktor fisik juga termasuk kondisi yang diakibatkan oleh ulah manusia, seperti penggalian di kaki lereng, penambahan beban di bagian atas lereng, penggundulan hutan dan adanya bangunan disekitar lokasi, seperti irigasi, kegiatan penambangan dan lain lain. Berdasarkan jenis dan klasifikasinya,

Dari semua penyebab yang di uraikan di atas, longsor yang dipicu oleh hujan merupakan yang paling sering terjadi. Studi mengenai longsor yang dipicu oleh hujan telah dipublikasikan oleh beberapa peneliti, diantaranya Lee dkk. [8] di Malaysia, yang melakukan evaluasi awal ketidakstabilan lereng akibat curah hujan. Diterangkan bahwa curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu paling signifikan terjadinya kelongsoran lereng di daerah tropis. Rasio intensitas hujan terhadap permeabilitas jenuh tanah berperan penting dalam menentukan pola curah hujan kritis yaitu curah hujan anteseden dan curah hujan pemicu longsor. Mekanisme keruntuhan lereng yang disebabkan oleh curah hujan adalah sebagai berikut: infiltrasi curah hujan mengakibatkan pengurangan tekanan air pori negatif (*suction*) di dalam tanah yang pada gilirannya mengurangi kekuatan geser tanah, dan selanjutnya memicu keruntuhan lereng.

Kim dkk. [9] memaparkan tentang penilaian skenario curah hujan kritis untuk analisis stabilitas lereng berdasarkan catatan curah hujan historis di

Singapura. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa keruntuhan lereng umumnya terjadi selama atau segera setelah hujan lebat. Hal ini juga berdasarkan penelitian Krisnantor dkk. [10] terhadap karakteristik ke tidak stabilan lereng akibat curah hujan di wilayah Cisokan Indonesia mendapatkan bahwa ketidakstabilan lereng disebabkan oleh hilangnya matrik suction dan akan ditunjukkan dengan naiknya muka air tanah. Dalam penelitiannya Rahardjo dkk. [11] menyatakan bahwa hujan awal (*antecedent rainfall*) diperlukan untuk mencapai kondisi kritis dan hujan lebat menjadi pemicu terjadinya longsor. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa hujan anteseden selama 5 hari diperlukan untuk longsor yang terjadi di Singapura.

Belum banyak penelitian dilakukan mengenai penyebab kelongsoran di wilayah Bukit Barisan dan sekitarnya. Wilopo dan Fathani [12] melakukan penelitian wilayah Bukit Beriti yang merupakan bagian dari Bukit Barisan. Keruntuhan lereng di Bukit Beriti terjadi akibat runtuhnya massa blok tanah dan batuan, yang dikendalikan oleh kondisi lapisan tanah yang tebal akibat proses alterasi, dan didukung oleh kemiringan lereng yang curam (lebih dari 40°). Penelitian ini menyimpulkan bahwa curah hujan anteseden memberikan kontribusi yang lebih besar daripada gempa bumi dalam memicu longsor di Bukit Beriti.

Darajat dkk. [13] juga melakukan penelitian tentang Pengaruh Hujan terhadap Kestabilan Lereng Tanah Residual Vulkanik di Bukit Barisan, khususnya pada jalur Liwa-Kemuning Lampung Barat. Setidaknya ada tiga titik longsor di ruas jalan nasional yang menghubungkan Liwa-Kemuning yang terjadi akibat cuaca ekstrem. Berdasarkan analisa numerik, intensitas rata rata dan durasi curah hujan akan mempengaruhi tekanan air pori dan faktor keamanan terhadap kestabilan lereng.

Penelitian mengenai penilaian dan pengelolaan / manajemen risiko tanah longsor dilakukan oleh Dai dkk. [14]. Dalam tulisannya disebutkan bahwa untuk memitigasi bahaya tanah longsor secara efektif, diperlukan metode dalam mengembangkan pemahaman yang lebih baik tentang bahaya tanah longsor guna membuat keputusan rasional dalam pengelolaan risiko tanah longsor. Varnes telah menyusun 32 kategori tanah longsor yang masing masing didukung oleh definisi formal [15].

Dalam pengelolaan lereng, analisis risiko dan penilaian risiko harus dilakukan dengan proses yang sistematis dan ketat, hal ini untuk mengatasi ketidakpastian yang melekat pada bahaya tanah longsor. Taha dkk. [16] juga menyampaikan dalam penelitiannya bahwa masalah stabilitas lereng dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan

deterministik dan probabilistik dan dapat dikategorikan sebagai masalah optimasi.

Singh dkk. [5] memaparkan lima sistem penilaian lereng yang dikembangkan di Malaysia. Berdasarkan hasil evaluasi keakuratan Sistem Penilaian Lereng (SAS) yang digunakan di Malaysia terhadap 139 potongan lereng formasi granit dan 47 potongan lereng formasi meta sedimen, tidak satupun sistem penilaian lereng tersebut memberikan hasil yang memuaskan dalam memprediksi tanah longsor karena sistem tersebut tidak dikembangkan berdasarkan data lokal. Hanya metode Sistem Manajemen Lereng dan Pelacakan Risiko (SMART) dapat memprediksi kelongsoran dengan akurasi 90% untuk lereng yang terbentuk oleh meta-sedimen karena sistem ini dikembangkan berdasarkan data longsor pada formasi yang sama. Oleh karena itu, untuk sistem prediksi yang akurat perlu dikembangkan metode penilaian lereng berdasarkan karakteristik tanah yang mewakili kondisi setempat.

Untuk mengantisipasi bahaya longsor pada Jalan Nasional, maka Badan Pengelola Jalan Nasional Sumatra Selatan (BPJNSS) telah melakukan inventarisasi kondisi lereng sejak tahun 2018. Inventarisasi and Inspeksi Lereng jalan dilaksanakan berdasarkan pedoman PU [17, 18]. Berdasarkan data lereng yang dikumpulkan oleh BPJNSS, terdapat 26 titik kelongsoran di ruas jalan No 36 dan 37 pada tahun 2018. Jumlah ini turun menjadi 22 titik dengan risiko longsor pada Ruas No 36 and 37. Pada tahun 2018, belum dilakukan inventrisasi pada ruas jalan No 38. Pada tahun 2021, inventarisasi titik dengan risiko longsor pada ruas jalan No 38, ditemukan 36 titik dengan risiko longsor, 31 diantaranya dengan risiko tinggi sampai sangat tinggi [19].

Berdasarkan pembahasan tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa bencana longsor dan keruntuhan lereng merupakan suatu bencana yang kerap terjadi di ruas jalan No 36, 37 dan 38 Provinsi Sumatra Selatan. Bencana ini sering menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana, mengganggu kelancaran transportasi, bahkan menimbulkan korban jiwa manusia dan harta. Dengan demikian lokasi rawan longsor dengan tingkat risiko tinggi perlu diidentifikasi terutama di daerah yang dilalui oleh Bukit Barisan. Jenis kelongsoran serta penyebabnya merupakan hal yang penting untuk dipelajari sebagai dasar pengembangan sistem peringatan awal (*early warning system*).

Selain itu, belum ada studi yang dilakukan terhadap mitigasi yang telah dilakukan untuk mengurangi akibat terjadinya longsor serta menjaga kondisi keamanan lereng. Mitigasi ini harus disesuaikan dengan jenis dan penyebab kelongsoran lereng tersebut sehingga pada masa yang akan datang kejadian keruntuhan lereng dapat berkurang.

Dengan demikian, penelitian ini di fokuskan pada Evaluasi Faktor Faktor Penyebab Longsor dan Kesesuaian Mitigasi. Lokasi yang di tinjau adalah yaitu Ruas Jalan 36 (Batas kota Lahat – Simpang Air Dingin, Ruas Jalan 37 (Simpang Air Dingin – Pagar Alam) dan Ruas Jalan 38 (Pagar Alam – Tanjung Sakti – batas Provinsi Bengkulu). Dalam penelitian ini juga dievaluasi kesesuaian tindakan mitigasi lereng lereng yang telah mengalami penanganan dan pemeliharaan.

2. METODE

Penelitian menggunakan data primer berupa observasi langsung terhadap kondisi lapangan lereng yang telah mengalami longsor dan perbaikan lereng (mitigasi). Observasi dilakukan pada bulan Maret 2023. Titik pengamatan dipilih berdasarkan data inventarisasi lereng dari Balai Penyelenggaraan Jalan Provinsi Sumatera Selatan (BBPJNSS) tahun 2021 pada ruas jalan No 36, 37 dan 38 (Gambar 1).

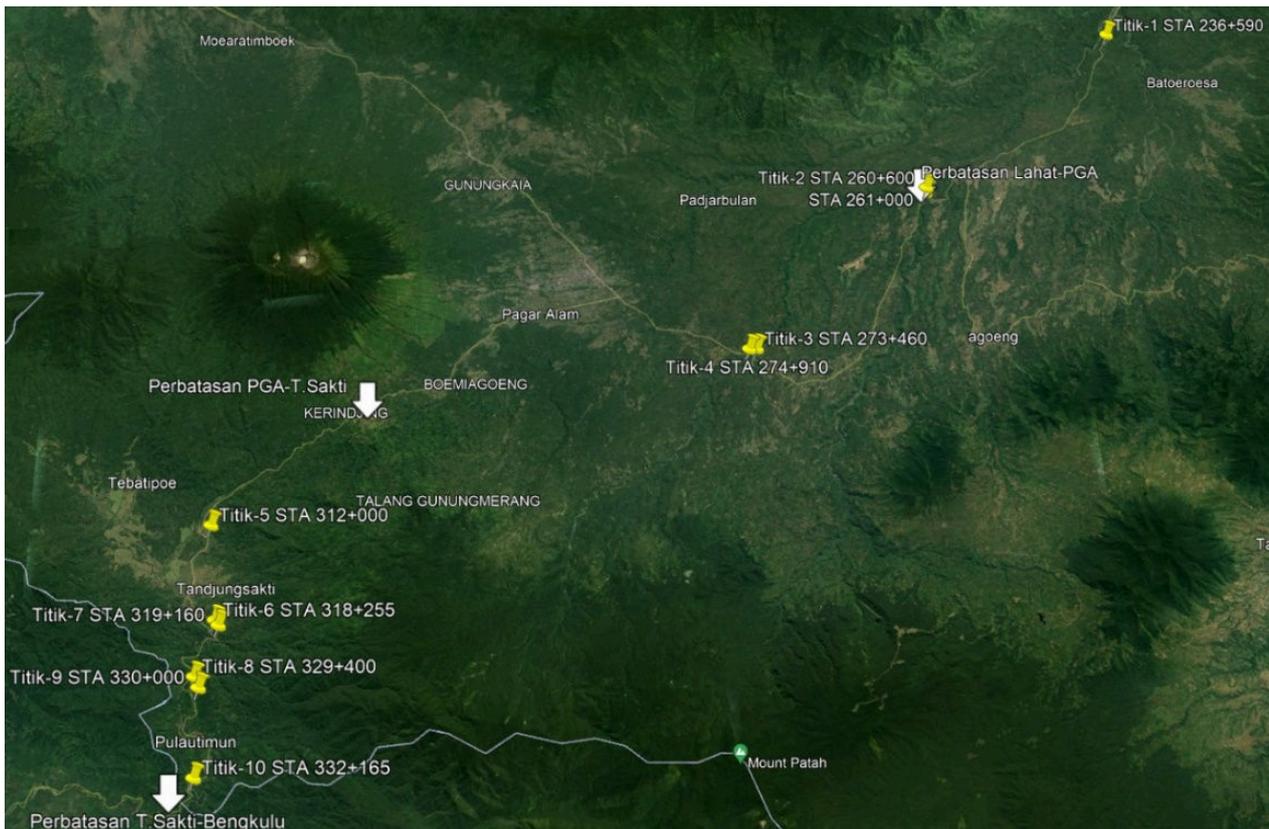
Gambar 2 memperlihatkan sepuluh (10) titik pengamatan yang dilakukan secara langsung di lapangan yaitu: 1 (satu) titik di ruas jalan Bts. Kota Lahat – Simpang Air Dingin; 3 (tiga) titik di ruas jalan Simp. Air Dingin – Pagar Alam; dan 6 (enam) titik pada ruas jalan Pagar Alam – Tanjung Sakti – Bts. Prov. Bengkulu. Koordinat titik pengamatan diperlihatkan pada Tabel 1.

Selanjutnya dilakukan pemeringkatan tingkat resiko lereng dan penyebab kelongsoran menggunakan tabulasi data Inventarisasi Lereng, Inspeksi Lereng, Geometri Lereng dan Tingkat Resiko Lereng. Analisis yang dilakukan berdasarkan Sistem Manajemen Lereng yang disarankan oleh Kementerian PUPR [20].

Penilaian tingkat risiko lereng jalan ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisis bahaya dan analisis konsekuensi pada lereng diruas jalan nasional Provinsi Sumatera Selatan yang dijadikan obyek penelitian. Identifikasi lereng dan bangunan rekayasa lereng berdasarkan kondisi lereng dan bangunan rekayasa lereng yang telah dilakukan mitigasi dan penanganan.



Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik pengamatan



Gambar 2. Lokasi titik pengamatan (Sumber : Google Earth)

Tabel 1. Koordinat titik pengamatan lapangan

No	STA	No Lereng	Koordinat	Ruas Jalan
1	238+569	15-036-035-A	103°30'42,5" BT, -3°54'38,9"LS	Kota Lahat – Simpang Air Dingin
2	254+000	15-037-031-B	103°19'33,6"BT -4°04'19,00"LS	Simpang Air Dingin – Pagar Alam
3	273+360	15-037-034-B	103°32'58,6"BT -4°07'16,14"LS	Simpang Air Dingin – Pagar Alam
4	273+680	15-037-034-A	103,32'59,8"BT -4°07'47,3"LS	Simpang Air Dingin – Pagar Alam
5	314+040	15-038-023-A	103°13'98,8"BT -4°09'06,6"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu
6	318+900	15-038-026-A	103°09'91,5"BT -4°11'39,4"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu
7	321+238	15-038-052-B	103°08'33,9"BT -4°18'86,28"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu
8	329+400	15-038-027-A	103°07'92,4"BT -4°18'34,7"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu
9	331+700	15-038-061-B	103°07'48,22"BT 4°24'82,27"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu
10	333+841	15-038-062-A	103°07'29,77"BT 4°25'28,09"LS	Pagar Alam – Tanjung Sakti – Batas Prov. Bengkulu

Penilaian tingkat risiko lereng dilakukan dengan pemeringkatan nilai bahaya dan pemeringkatan nilai konsekuensi suatu lereng jalan. Persamaan yang digunakan untuk menentukan pemeringkatan tingkat risiko lereng adalah sebagai berikut:

$$R = 0,9H + C \quad (1)$$

Keterangan :

R = tingkat risiko lereng jalan

H = pemeringkatan bahaya lereng jalan

C = pemeringkatan konsekuensi lereng jalan

Pemeringkatan untuk bahaya lereng (H) berdasarkan jenis keruntuhan menggunakan Metode Pemeringkatan Komponen Sistem Manajemen Lereng terhadap data observasi inventarisasi lereng jalan pada lima (5) jenis keruntuhan yaitu : Keruntuhan dan jatuhnya batuan, Keruntuhan massa batuan, Keruntuhan longsoran, Keruntuhan aliran debris, dan Keruntuhan timbunan. Terhadap masing masing jenis keruntuhan diberikan skala index sebagai dasar pemeringkatan mengacu pada Tabel 1 – 5 buku pedoman penilaian Tingkat Risiko Lereng Jalan [19], yaitu:

- 1) Pemeringkatan tingkat bahaya Keruntuhan dan jatuhnya batuan. Dalam hal ini, parameter yang dinilai adalah tofografi, geometri, material, struktur geologi, deformasi dan kondisi permukaan, dan bangunan rekayasa lereng. Skala nilai indeks adalah (-20 sd. +30).
- 2) Pemeringkatan tingkat bahaya Keruntuhan massa batuan. Parameter yang dinilai adalah tofografi, geometri, struktur geologi, deformasi dan kondisi permukaan, dan bangunan rekayasa lereng. Skala Nilai Indeks (-20 sd. +30).

- 3) Pemeringkatan tingkat bahaya keruntuhan longsoran. Parameter yang dinilai adalah tofografi, geometri, struktur geologi, deformasi dan kondisi permukaan, dan bangunan rekayasa lereng. Skala nilai indeks (-20 sd. +40).

- 4) Pemeringkatan tingkat bahaya keruntuhan aliran debris. Parameter yang dinilai adalah tofografi, penutup permukaan lereng, deformasi, rekam jejak, dan bangunan rekayasa lereng. Skala nilai indeks (-20 sd. +15).

- 5) Pemeringkatan tingkat bahaya keruntuhan timbunan. Parameter yang dinilai adalah geometri, tanah dasar, material timbunan, air tanah dan air permukaan, perpipaan, deformasi, dan bangunan rekayasa lereng. Skala nilai indeks (-20 sd. +10).

Analisis konsekuensi meliputi penilaian kerentanan lereng berdasarkan parameter risiko kemiringan jalan yaitu pelayanan utilitas, bahaya bagi penghuni bangunan, volume lalu lintas, sudut jalan ke puncak lereng galian atau kaki tanggul, dimensi area yang rusak, jangka waktu konstruksi. untuk jalan sementara untuk pengalihan lalu lintas, dan panjang jalur alternatif. Analisis konsekuensi dilakukan dengan cara mengurutkan konsekuensi berdasarkan Tabel 6 yang diberikan pada buku pedoman penilaian Tingkat Risiko Lereng Jalan [20]. Skala nilai indeks 0 – 2.

Berdasarkan analisis bahaya dan akibat serta evaluasi stabilitas lereng, tingkat risiko suatu lereng Jalan dihitung dan diklasifikasikan menjadi empat tingkat risiko seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi tingkat risiko lereng jalan

Nilai risiko total	Tingkat risiko lereng jalan
Rendah	< 50
Sedang	51 < tingkat risiko < 65
Tinggi	66 < tingkat risiko < 75
Sangat Tinggi	> 75

Sumber : Pedoman Penilaian tingkat risiko lereng Jalan [18]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penilaian Tingkat Risiko Lereng

Penilaian tingkat risiko lereng dibagi dalam beberapa analisis yaitu analisis bahaya, analisis konsekuensi, analisis stabilitas, dan analisis jenis keruntuhan lereng.

Analisis bahaya meliputi karakterisasi bahaya longsor yang dilakukan dengan identifikasi lereng dan bangunan rekayasa lereng terhadap tingkat bahaya lereng. Identifikasi lereng dan bangunan rekayasa lereng berdasarkan kondisi lereng dan bangunan rekayasa lereng eksisting menggunakan data hasil inventarisasi lereng jalan dan inspeksi yang disimpan dalam basis data lereng jalan.

Analisis konsekuensi meliputi penilaian kerentanan berdasarkan parameter risiko lereng jalan yaitu layanan utilitas, bahaya terhadap penghuni bangunan, volume lalu lintas, sudut β (as jalan ke puncak lereng galian atau kaki timbunan), dimensi keruntuhan, Masa konstruksi untuk jalan sementara untuk pengalihan lalu lintas, dan panjang jalan alternatif. Analisis konsekuensi dilakukan dengan pemeringkatan konsekuensi yaitu identifikasi lereng dan bangunan rekayasa lereng terhadap tingkat konsekuensi lereng.

Analisis stabilitas dan jenis keruntuhan lereng berkaitan dengan kondisi ketidakstabilan setiap lereng yang diobservasi digunakan untuk mengkalibrasi hasil analisis yang setara dengan kondisi, di mana faktor keamanan lereng sama dengan 1 (satu). Data curah hujan dikumpulkan dan curah hujan anteseden yang sesuai dengan ketidakstabilan lereng digunakan dalam analisis. Intensitas curah hujan di lokasi lereng diinterpolasi dari data curah hujan yang tercatat di stasiun curah hujan yang berdekatan.

Analisis Bahaya & Konsekuensi Lereng

Hasil observasi dan penelitian lapangan terhadap analisis bahaya dan analisis konsekuensi lereng berupa pemeringkatan tingkat resiko lereng disampaikan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 ini dapat disimpulkan bahwa di wilayah ini tingkat bahaya jatuhnya batuan adalah rendah sampai sedang. Sedangkan untuk keruntuhan massa batuan, keruntuhan longsoran, aliran debris dan keruntuhan timbunan wilayah ini termasuk cukup aman dengan tingkat risiko rendah.

Untuk lokasi dengan tingkat bahaya sedang perlu dilakukan rehabilitasi terhadap penanganan lereng, sedangkan untuk lokasi dengan tingkat bahaya rendah hanya perlu dilakukan pemeliharaan rutin dan berkala.

Analisis faktor faktor penyebab kelongsoran lereng

Prediksi terjadinya tanah longsor dapat diketahui melalui identifikasi faktor-faktor penyebab (*causes*) dan pemicu (*trigger*) terjadinya tanah longsor. Ada beberapa penyebab terjadinya longsor yaitu struktur geologi, morfologi, faktor fisik dan aktifitas di atas permukaan lereng yang disebabkan oleh aktifitas manusia. Sedangkan pemicu terjadinya keruntuhan lereng, diantaranya curah hujan yang cukup tinggi, gempa bumi dan aktifitas vulkanik. Dari hasil observasi dan analisis yang dilakukan di lokasi penelitian, ketidak-stabilan lereng dapat dipicu oleh adanya hujan. Hujan menyebabkan penjeualan tanah sehingga menyebabkan pertambahan berat material di atas bidang perlemahan atau bidang gelincir. Massa tanah yang tidak stabil ini bergerak menuruni lereng sampai pada area dimana gravitasi tidak berpengaruh lagi.

Curah hujan di kota Pagar Alam cukup tinggi. Berdasarkan Climate-Data.org curah hujan tahunan di Pagar Alam adalah 2825 mm. Gambar 3 memperlihatkan grafik curah hujan bulanan rata rata tahun 1985 – 2020 yang didapatkan dan STA Hujan di Kota Pagar Alam. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa Pagar Alam mengalami hujan sepanjang tahun dengan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari (317 mm) dan terendah pada bulan Agustus (116 mm).

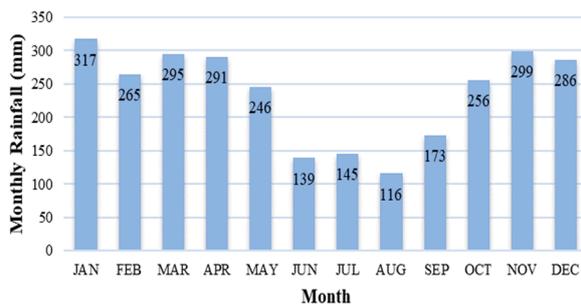
Tabel 3. Pemeringkatan tingkat resiko lereng

. Nomor Lereng	Tingkat bahaya keruntuhan dan jatuhnya batuan	Tingkat bahaya keruntuhan massa batuan	Tingkat bahaya keruntuhan longsoran	Tingkat bahaya keruntuhan aliran debris	Tingkat bahaya keruntuhan timbunan
36-035-A	35,7 Rendah	6 Rendah	24,9 Rendah	33,9 Rendah	31,2 Rendah
37-031-B	64,5 Sedang	11,4 Rendah	25,2 Rendah	28,8 Rendah	25,7 Rendah
37-034-B	54,6 Sedang	14,1 Rendah	15 Rendah	42 Rendah	33 Rendah
37-034-A	20,4 Rendah	-5,7 Rendah	7,8 Rendah	13,2 Rendah	0,6 Rendah
38-023-A	47,4 Rendah	6 Rendah	29,4 Rendah	37,5 Rendah	22,2 Rendah
38-026-A	25,8 Rendah	-3,9 Rendah	7,8 Rendah	13,2 Rendah	-0,3 Rendah
38-052-B	42,3 Rendah	6 Rendah	18,6 Rendah	37,5 Rendah	16,8 Rendah
38-027-A	51,6 Sedang	5,1 Rendah	39,6 Rendah	23,6 Rendah	32,4 Rendah
38-061-B	63,8 Sedang	29,4 Rendah	45,6 Rendah	40 Rendah	44,7 Rendah
38-062-A	54,6 Sedang	24,9 Rendah	29,4 Rendah	37,5 Rendah	42 Rendah

Keterangan:

Mitigasi Risiko Lereng berdasarkan Tingkat Resiko Lereng:

- Rendah : Dilakukan pemeliharaan rutin dan berkala
- Sedang : Melakukan Rehabilitasi terhadap penanganan lereng
- Tinggi : Pemasangan Instrumen dan Rehabilitasi
- Sangat Tinggi : Rekonstruksi Lereng



Gambar 3. Grafik Curah Hujan kota Pagar Alam (rata-rata tahun 1985 – 2020)

Hasil Analisis yang dilakukan terhadap penyebab longsoran pada 10 lokasi yang diteliti, disampaikan pada Tabel 4. Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa penyebab utama terjadinya longsor adalah faktor Geologi, Morfologi dan faktor Manusia.

Pada 10 titik lokasi yang ditinjau, faktor geologi terjadi di seluruh titik, faktor morfologi dan faktor fisik terjadi di 8 titik, sedangkan faktor manusia terjadi di 6 titik. Sedangkan pemicu utama terjadinya

kelongsoran diakibatkan karena curah hujan yang cukup tinggi dengan intensitas dan waktu yang cukup lama. Hal ini dapat dilihat bahwa umumnya longsoran di daerah ini terjadi setelah hujan dengan intensitas tinggi terjadi dalam beberapa jam, sedangkan pada saat itu tanah sudah dalam keadaan basah akibat hujan sebelumnya. Data yang dikumpulkan dari tahun 2013 – 2022 dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar longsoran (60%) terjadi pada bulan Januari sampai April sedangkan musim penghujan dimulai pada bulan Oktober (Gambar 3).

Analisis Jenis Keruntuhan Lereng

Untuk melakukan penanganan yang sesuai, maka perlu diidentifikasi jenis keruntuhan yang terjadi. Keruntuhan lereng yang terjadi pada lokasi yang ditinjau terdiri 9 titik dari Jenis keruntuhan tanah dan 1 titik dari Jenis keruntuhan massa batuan. Hasil analisis ini ditampilkan pada Tabel 5.



Tabel 4. Faktor faktor penyebab longsor

Nomor Lereng	Uraian Penyebab Longsor berdasarkan Inventarisasi dan penilaian lereng
036-035-A	Faktor Geologi : Jenis Tanah : tanah lempung berpasir,terdapat rembesan air dibagian kaki lereng, sudut lereng mencapai 55° dengan panjang kemiringan mencapai 30 meter sehingga memicu terjadinya pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah itu sendiri. terdapat pengembangan (Sweeling) tanah, sehingga memudahkan tanah untuk jenuh air. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. sehingga terjadi kerusakan pelindung tanah pada lereng. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama.
037-031-B	Faktor Geologi : Jenis Tanah merupakan tanah lempung, dengan sudut lereng mencapai 58° dan panjang kemiringan lereng mencapai 56 meter sehingga memicu terjadinya pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah itu sendiri. Adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah, sehingga memudahkan tanah untuk jenuh air dan menambah beban lereng itu sendiri. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng, sehingga terjadi kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama.
037-034-B	Faktor Geologi : Jenis Tanah terdapat lapisan tanah lempung, terutama pada lapisan atas lereng, dengan sudut lereng mencapai 60° dengan panjang kemiringan lereng mencapai 30 meter sehingga memicu terjadinya pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah itu sendiri. Terlihat adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah walaupun relatif kecil, namun tetap memungkinkan adanya kejenuhan tanah.. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. Adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama. Faktor Manusia : Adanya penggundulan hutan yang dilakukan untuk pertanian.
037-034-A	Faktor Geologi : Jenis Tanah terdapat lapisan tanah lempung, terutama pada lapisan atas lereng. sehingga mempengaruhi permeabilitas tanah itu sendiri, Sudut Lereng yang cukup curam, yaitu mencapai 60°, walaupun panjang kemiringan hanya mencapai 6 meter.
038-023-A	Faktor Geologi : Jenis Tanah terdapat lapisan tanah lempung, terutama pada lapisan atas lereng, sudut lereng mencapai 45° walaupun panjang kemiringan lereng hanya 6,6 meter namun pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah tetap terjadi. Terlihat adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah, sehingga terjadi adanya kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng, dan adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama. Faktor Manusia : Adanya penggundulan hutan yang dilakukan dan aktifitas lainnya
038-026-A	Faktor Geologi : Terdapat lapisan tanah lempung, terutama pada lapisan atas lereng. Sudut Lereng mencapai 45° walaupun panjang kemiringan lereng mencapai 7,8 meter pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah tetap terjadi. Terlihat adanya pengembangan (Sweeling) tanah atas, sehingga dapat terjadi kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng, dan adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama. Faktor Manusia : Adanya penggundulan hutan aktifitas lainnya.
038-052-B	Faktor Geologi : Terlihat adanya Cap Rock pelapukan pada tanah permukaan, juga terdapat jenis lapisan tanah bercampur lempung, terutama pada lapisan atas lereng. Sudut Lereng yang cukup curam, mencapai 59° dengan panjang kemiringan lereng mencapai 7 meter sehingga memicu terjadinya pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah itu sendiri. Adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah yang lapuk, walaupun relatif kecil, namun memungkinkan adanya kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. Terlihat adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan ereng sudah berkurang.
038-027-A	Faktor Geologi : Jenis Tanah merupakan lapisan tanah lempung, dan lapisan pelapukan terutama pada lapisan atas lereng. Sudut Lereng mencapai 60° Panjang kemiringan lereng hanya mencapai 11 meter, namun dimungkinkan pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah tetap terjadi. Adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah, sehingga memicu kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. Adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama. Faktor Manusia : Penggundulan hutan yang dilakukan dan aktifitas lainnya seperti pengolahan lahan kebun
038-061-B	Faktor Geologi : Tanah merupakan lapisan tanah lempung, dan lapisan pelapukan terutama pada permukaan lereng, sehingga mempengaruhi kekuatan tanah itu sendiri, Sudut Lereng mencapai 50° dengan panjang kemiringan lereng mencapai 20 meter, dimungkinkan pergeseran lapisan tanah dan perbedaan Permeabilitas tanah tetap terjadi. Terlihat adanya pengembangan (Sweeling) pada tanah dan genangan air di kaki lereng, sehingga adanya kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. Terlihat adanya kerusakan pelindung tanah pada lereng, dimana pepohonan dilokasi lereng sudah berkurang. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama. Faktor Manusia : Adanya penggundulan hutan yang dilakukan dan aktifitas lainnya seperti menjadikan lahan kebun dan Pertanian
038-062-A	Faktor Geologi : Jenis Tanah merupakan tanah batuan dengan campuran sedikit lempung, terdapat lapisan pelapukan pada lapisan permukaan lereng. Sudut Lereng mencapai 50° dengan panjang kemiringan lereng mencapai 70 meter,sehingga dimungkinkan pergeseran lapisan batu akibat pelapukan dan lapisan tanah lunak. Terdapat pengembangan (Sweeling) pada tanah, sehingga memungkinkan adanya kejenuhan tanah. Faktor Morfologi : Terdapat jejak erosi dan aliran debris pada permukaan lereng. Terlihat adanya kerusakan /pelapukan lapisan lereng yang merupakan pelindung lereng. Faktor Fisik : Curah hujan yang tinggi dan Intensitas hujan yang cukup lama, sehingga memicu adanya pergeseran lambat lapisan lereng. Faktor Manusia : Aktifitas lainnya seperti pengolahan lahan kebun

Sumber : Pedoman Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan DPU Tahun 2005

Analisis Penanganan dan Mitigasi Lereng

Penanganan dan mitigasi lereng dapat dikategorikan menjadi 3 kelompok yaitu (1) melakukan pengurangan gaya gaya yang menimbulkan gerakan, (2) menambah gaya gaya yang menahan gerakan dan (3) tindakan lainnya.

Dari observasi lapangan yang dilakukan di ruas jalan No. 36, 37 dan 38, Tindakan penangan dan mitigasi yang dilakukan adalah (1) perubahan geometri lereng dan pengendalian air permukaan, (2) pembangunan konstruksi penambatan dan (3) pengendalian air rembesan. Hasil analisis lapangan dipaparkan dalam Tabel 6.

Dari Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa dari 10 lokasi yang ditinjau, tindakan Mitigasi dan penanganan yang dilakukan adalah: 1) Mengendalikan air permukaan dengan tetap membiarkan pepohonan, 2) Membuat bangunan Drainase di kaki lereng, 3) Mengendalikan rembesan air permukaan atas dengan menutup area bahu jalan dengan konstruksi beton bertulang, 4) Merubah geometri lereng dan 5) Membuat penambatan massa tanah dengan membangun konstruksi Tembok Penahan Tanah, dan konstruksi beton semprot.

Tabel 5. Jenis Keruntuhan Lereng

Nomor Lereng	Jenis Keruntuhan	Tahun kejadian
036-035-A	Keruntuhan	2020 & 2021
037-031-B	Keruntuhan	2020
037-034-B	Keruntuhan Massa Batuan	NA
037-034-A	Keruntuhan	NA
038-023-A	Keruntuhan	2020
038-026-A	Keruntuhan	2019
038-052-B	Keruntuhan	2019
038-027-A	Keruntuhan	2019
038-061-B	Keruntuhan	NA
038-062-A	Keruntuhan	NA

Keterangan : NA tidak diketahui

Tabel 6 . Analisis Penanganan dan Mitigasi terhadap tingkat resiko lereng

No	Nomor Lereng	Uraian Mitigasi yang dilakukan
1	036-035-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan mengendalikan air permukaan dan dengan tetap membiarkan adanya pepohonan,menambah gaya gaya penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase dibawah kaki lereng, juga melakukan penambatan dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Tembok Penahan Tanah.
2	037-031-B	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah, menambah gaya penahan, dengan cara mengendalikan rembesan air, yaitu dengan cara melakukan penutupan bahu jalan dengan konstruksi beton bertulang dan membuat saluran air pada jalan di area longsor. Melakukan Penambatan dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Tembok Penahan Tanah.
3	037-034-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah, menambah gaya gaya penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase bawah kaki lereng, juga melakukan penambatan dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Tembok Penahan Tanah.
4	036-034-B	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah,menambah gaya gaya Penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan Drainase kaki permukaan lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Beton Semprot.
5	038-023-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah, menambah gaya gaya penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase kaki permukaan lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Beton Semprot.
6	038-026-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah,menambah gaya gaya penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase permukaan dan kaki bawah lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi tembok Penahan Tanah
7	038-052-B	Menambah Gaya gaya Penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase bawah permukaan lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi tembok Penahan Tanah
8	038-027-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah,menambah gaya gaya Penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase bawah kaki lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi Tembok Penahan Tanah
9	15-038-061-B	Menambah Gaya gaya Penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase bawah kaki lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi tembok Penahan Tanah
10	15-038-062-A	Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah,menambah gaya gaya penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase bawah kaki lereng, juga melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi tembok Penahan Tanah

Sumber : Pedoman Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan DPU Tahun 2005

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan terhadap faktor faktor penyebab longsor dan kesesuaian mitigasi yang dilakukan di 10 titik pada Ruas Jalan Nasional Provinsi Sumatera Selatan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat resiko keruntuhan lereng tingkat sedang (5) titik dan risiko rendah (5 titik), walaupun telah dilakukan penanganan dan mitigasi. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan rehabilitasi terhadap lereng yang



runtuh; tetap diperlukan pemeliharaan dan pengawasan lereng secara rutin dan berkala

2. Dari 5 (lima) titik lokasi yang mempunyai resiko keruntuhan sedang merupakan lereng yang dengan panjang kemiringan lereng diatas 51 m dengan sudut kemiringan lebih besar dari 59°. Dapat disimpulkan bahwa semakin panjang kemiringan lereng dan semakin besar sudut kemiringan lereng, akan sangat mempengaruhi resiko keruntuhan lereng.
3. Penyebab utama terjadinya longsor adalah faktor Geologi, Morfologi dan faktor Manusia. Sedangkan pemicu terjadinya kelongsoran adalah curah hujan dengan intensitas yang cukup tinggi terjadi pada tanah yang telah mengandung kelembaban tinggi akibat hujan sebelumnya. Hal ini terlihat pada kondisi curah hujan pada saat terjadi kelongsoran.
4. Tindakan Mitigasi dan Penanganan yang sudah ada sudah cukup baik, namun perlu kajian lebih mendalam agar rekayasa lereng yang dilakukan lebih tepat. Berdasarkan analisis pada lereng yang diamati dapat disimpulkan bahwa penanganan dan mitigasi lereng dilakukan dengan cara: (a) Mengurangi gaya gaya yang menimbulkan gerakan, yaitu dengan merubah Geometri permukaan lereng, dengan tujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser tanah, (b) Menambah Gaya gaya Penahan, dengan mengendalikan air rembesan yaitu adanya bangunan drainase permukaan dan kaki lereng, (c) Melakukan penambatan tanah dengan tujuan untuk menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan konstruksi tembok Penahan Tanah dan Beton Semprot.

Hasil observasi dan penelitian terhadap tingkat risiko dan jenis keruntuhan lereng ini memberikan informasi awal mengenai kondisi lereng yang ada di ruas jalan nasional provinsi sumatera selatan setelah dilakukan Mitigasi dan Penanganan. Bagi perencana, pelaksana maupun instansi teknis yang akan menggunakan data ini, tetap harus melakukan analisis terhadap lereng yang akan ditangani.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan yang tinggi kepada Badan Penyelenggara Jalan Nasional Sumatra Selatan (BPJNSS) yang telah memberikan izin penggunaan data yang diperlukan untuk penelitian ini.

REFERENSI

[1] Gubernur Sumatera Selatan (2019) *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Sumatera Selatan tahun 2019-2023*. Palembang

[2] A. Hakam, and B. Istijono. "West Sumatra landslide during in 2012 to 2015." *International Journal of Earth Sciences and Engineering* Vol. 9, No.3 289-293. 2016.

[3] Departemen Pekerjaan Umum, 2005. *Pedoman Konstruksi dan bangunan Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

[4] N. Gofar, and K. A. Kassim. *Introduction to Geotechnical Engineering* Part 1 Pearson Prentice Hall. Singapore. 2007

[5] H. Singh, B. B. K. Huat, and S. Jamaludin. "Slope assessment systems: A review and evaluation of current techniques used for cut slopes in the mountainous terrain of West Malaysia." *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* Vol 13 pp. 1 – 24. 2008.

[6] K. B. Sim, M. L. Lee, S.Y. Wong. "A review of landslide acceptable risk and tolerable risk." *Geoenvironmental Disasters* Vol 9 No. 1 pp: 3. 2022.

[7] S. Jamaludin and A. N. Hussein. "Landslide hazard and risk assessment: The Malaysian experience." *Proceedings IAEG2006* Paper number 455 (2006): 1-10.

[8] M. L. Lee, N. Gofar, and H. Rahardjo. "A simple model for preliminary evaluation of rainfall-induced slope instability." *Engineering Geology* Vol. 108 No. 3-4 pp 272-285. 2009.

[9] Y. Kim, et al. "Assessment of critical rainfall scenarios for slope stability analyses based on historical rainfall records in Singapore." *Environmental Earth Sciences* Vol 81 pp.39 2022. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10160-4>

[10] S. Krisnanto, et al. "Characteristics of rainfall-induced slope instability in Cisokan region, Indonesia." *Journal of Engineering and Technological Sciences* Vol. 53, No. 5. 210504. 2021,

[11] H. Rahardjo, et al. Spatial distribution, variation and trend of five-day antecedent rainfall in Singapore, *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, Vol 14, No. pp: 177 - 191. 2020. <https://doi.org/10.1080/17499518.2019.1639196>

[12] W. Wilopo and T. F. Fathani, "The mechanism of landslide-induced debris flow in geothermal area, Bukit Barisan mountains of Sumatra, Indonesia." *Journal of Applied Engineering Science* Vol.19 No.3 pp. 688-697. 2021.

[13] M. R. Darajat, et al. Pengaruh Intensitas Dan Durasi Hujan Terhadap Kestabilan Lereng Tanah Residual Vulkanik Di Jalur Liwa-Kemuning, Lampung Barat. *Geoscience Journal*, Vol. 4, No. 2, pp. 181-190. 2020

[14] F. C. Dai, F. L. Chin, and N. Yip. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology* Vol. 64, No. 1 pp. 65-87. 2002

[15] O. Hungr, S. Leroueil, and L. Picarelli. "The Varnes classification of landslide types, an update." *Landslides* Vol.11 pp. 167-194. 2014

[16] Taha, Mohd Raihan, Mohammad Khajehzadeh, and Ahmed El-Shafie. "Slope stability assessment using optimization techniques: an overview." *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 15.Q (2010): 1901-1915.

[17] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Inventarisasi lereng jalan*. 2018. Jakarta: Kementerian PUPR.

[18] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Inspeksi lereng jalan*. 2018. Jakarta: Kementerian PUPR.

[19] S. Erlangga, F. Bulkin, and N. Gofar. Mapping of Risk Levels and Types of Slope Failure in South Sumatra. *Rekayasa Sipil*. Vol 18 No. 1 pp: 66-71. Februari 2024: <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.01.04>

[20] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). *Penilaian tingkat risiko lereng jalan*. 2017 Jakarta: Kementerian PUPR.