

Analisis Kondisi Drainase dalam Manajemen Risiko Pengelolaan Lereng Jalan

Goji Pamungkas^{1,4*}, Haryono Setiyo Huboyo^{1,2}, Jaka Windarta^{1,3}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

³Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

⁴Geotechnical Engineer GWA Desain Teknologi, Semarang

^{*}Corresponding author: basudewa@gwadestek.com

(Received: December 10, 2024; Accepted: January 13, 2025)

Abstract

Drainage Condition Analysis in Road Slope Risk Management. Post-construction slope stability is largely determined by the magnitude of the retaining force compared to the driving force. One of the driving forces that commonly occurs in tropical areas is rainfall. The development of climate change is increasingly leading to changes in the trend of increasingly heavy rainfall in a short time. On the slope of the XY Toll Road Section, there have been 30 landslides over the past 4 years. To overcome further landslides, an inspection was carried out according to the Hong Kong Geo Office method. The inspection was carried out along 100 km of the road with a duration of 2 months. This inspection activity is part of the Slope Management System. The results of the 2024 inspection showed that 88 slopes had experienced light to severe erosion. Regarding the condition of the slope drainage system, all slopes have a vulnerability value of 8. After the inspection activity is completed and the condition of each slope is obtained, a landslide prevention strategy can be prepared. The proposed prevention strategy is vegetation control, cleaning drainage channels and repairing channels. Routine monitoring of drainage channels both in normal conditions and extreme rain must be carried out to ensure that drainage performance continues to work optimally. Routine drainage channel inspection activities in accordance with the slope management system can help slope managers to minimize the risk of instability caused by rainwater flow.

Keywords: landslide, erosion, rain, drainage, slope

Abstrak

Kestabilan lereng pasca konstruksi sangat ditentukan oleh besarnya gaya penahan dibandingkan gaya pendorong. Salah satu gaya pendorong yang umum terjadi di wilayah tropis adalah curah hujan. Perkembangan perubahan iklim semakin mengarah pada perubahan tren curah hujan yang semakin lebat dalam waktu singkat. Pada lereng Jalan Tol Ruas XY, telah terjadi 30 kali kejadian longsor selama 4 tahun terakhir. Untuk menanggulangi kejadian longsor selanjutnya, maka dilaksanakan inspeksi sesuai dengan metode Geo Office Hongkong. Inspeksi dilaksanakan di sepanjang 100 km jalan dengan durasi 2 bulan. Kegiatan inspeksi ini merupakan bagian dari Sistem Manajemen Lereng. Hasil inspeksi tahun 2024 menunjukkan bahwa sejumlah 88 lereng telah mengalami erosi tingkat ringan hingga berat. Berkaitan dengan kondisi sistem drainase lereng, semua lereng mempunyai nilai kerentanan 8. Setelah kegiatan inspeksi selesai dilakukan dan diperoleh kondisi masing-masing lereng, maka dapat disusun strategi pencegahan kejadian longsor. Strategi pencegahan yang diusulkan yaitu pengendalian vegetasi, pembersihan saluran drainase dan perbaikan saluran. Pemantauan rutin saluran drainase baik pada kondisi biasa dan hujan ekstrem harus dilakukan untuk memastikan performa drainase tetap bekerja dengan optimal.

Kegiatan pemeriksaan saluran drainase yang rutin sesuai dengan sistem manajemen lereng dapat membantu pengelola lereng untuk meminimalkan risiko instabilitas yang disebabkan aliran air hujan.

Kata kunci: *longsor, erosi, hujan, drainase, lereng*

How to Cite This Article: Pamungkas, G., Huboyo, H. S. & Windarta, J. (2025). Analisis Kondisi Drainase dalam Manajemen Risiko Pengelolaan Lereng Jalan. *JPII*, 2(6), 371-378. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.25104>

PENDAHULUAN

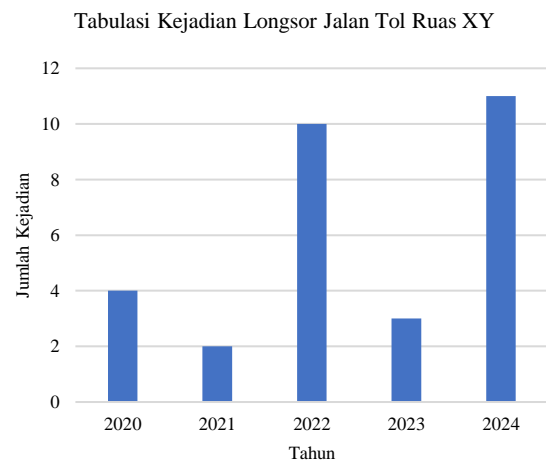
Umumnya, masalah kestabilan lereng yang mengarah pada peristiwa longsor dikarenakan lebih besarnya gaya pendorong dibandingkan dengan gaya penahannya (Kusnadi, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Coutinho et al. (2019) menunjukkan bahwa penyebab longsor dapat disebabkan oleh aktivitas antropogenik yang menambah beban pendorong. Pada daerah tropis dengan curah hujan tinggi, kejadian hujan ekstrem sering menyebabkan naiknya tegangan air pori menurut Hidayat et al. (2023) dan Chaithong (2023). Infiltrasi air hujan yang tidak teralirkan oleh sistem drainase secara konsisten mengurangi tegangan efektif tanah. Pada akhirnya, longsor terjadi ketika tanah telah kehilangan tegangan efektif secara signifikan.

Beberapa tahun belakangan, banyak kejadian longsor disebabkan oleh curah hujan tinggi. Perubahan iklim dengan periode basah kering yang panjang telah dibuktikan dapat menyebabkan longsor semakin sering terjadi. Pada saat musim kering berubah makin panjang, tanah akan mengalami retak dan mengurangi *soil suction*. Longsor akan terjadi ketika hujan menginfiltrasi rekahan yang terbentuk selama musim kering panjang. (Ng et al., 2024)

Pada jalan tol ruas XY sepanjang kurang lebih 100 kilometer, setidaknya telah mengalami longsor sebanyak 30 kali dengan berbagai variasi jenis dan volume longsorannya. Data kejadian longsor dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan pemeriksaan di lokasi kejadian, mayoritas longsor disebabkan oleh terganggunya sistem pengaliran air hujan pada lereng. Pada tahap awalnya, longsor hanya berupa erosi ringan berupa lembaran. Aliran hujan yang deras dan persisten mengerus erosi menjadi makin besar, dan akhirnya terjadi longsor.

Faktor lain yang mendukung mudahnya terjadi longsor adalah kehadiran tanah residual. Terminologi tanah residual merupakan jenis tanah yang dihasilkan oleh lapukan batuan induk dan belum terbawa sebagai sedimen oleh agen transporter. Tanah residual mempunyai karakter yang berbeda dengan tanah sedimen umum karena variasi mineral dan ukuran butir. Dengan karakter yang demikian, umumnya tanah residual mempunyai kerentanan yang tinggi untuk terjadi longsor, terutama yang diinduksi oleh curah hujan. (Wesley, 2010; Wang et al., 2023).

Beberapa kejadian longsor yang diduga dipicu oleh masalah saluran drainase adalah longsor di Tol Bocimi yang terjadi pada bulan April 2024. Ahli kebumihan menjelaskan kemungkinan penyebab longsor diduga karena aliran air hujan meluap dan menjenuhkan timbunan jalan, sehingga memicu terjadinya gerakan tanah (Yanuar, 2024). Tol Gempol Pandaan KM 51 juga pernah mengalami kejadian longsor akibat genangan di puncak lereng tidak teralirkan dengan baik. Genangan air hujan yang berasal dari pemukiman dan kawasan industri di sekitar lereng membebani saluran drainase di sekitar lereng. Kondisi tanah yang terus menerus mengalami penjenruhan, pada akhirnya kehilangan kuat geser efektif sehingga terjadi longsor pada lereng galian tersebut (Hidayat et al., 2023).



Gambar 1. Tabulasi kejadian longsor jalan tol Ruas XY selama periode 2020 sampai dengan 2024.

Pada grafik Gambar 1 menunjukkan peningkatan jumlah kejadian longsor pada tahun 2022 dan 2024. Pada tahun 2023, jumlah kejadian longsor mengalami penurunan disebabkan oleh fenomena El Nino yang berlangsung selama kemarau 2023 sampai awal tahun 2024. Setelah periode El Nino melemah, hujan ekstrem kembali terjadi sehingga jumlah longsor meningkat kembali. Selain itu, perubahan tren curah hujan yang semakin lebat dalam waktu singkat karena perubahan iklim semakin banyak frekuensinya (Huang & He, 2023; Ishikawa et al. (2024).

Salah satu negara yang banyak belajar dan menyusun program pengendalian longsor yang komprehensif adalah Hong Kong. Negara tersebut menjadikan bencana sebagai *lesson learned* dalam menyusun strategi mitigasi di masa depan. Salah satu *lesson learned* yang didapat dari kejadian longsor adalah *maintenance* saluran drainase yang tidak konsisten dan baik sebagai penyebab longsor yang sangat umum ditemui (Wong & Ho, 2000). Lee et al. (2018) menemukan fakta bahwa 17% kejadian longsor skala kecil yang terjadi dari tahun 2005 sampai dengan 2016 disebabkan oleh rendahnya tingkat *maintenance* lereng, termasuk perawatan sistem drainase. Untuk mekanisme kelongsoran pada skala besar, biasanya berakar dari karakter geologi, namun diperburuk oleh pemeliharaan sistem drainase yang buruk. Dua kajian ini menunjukkan bahwa selain permasalahan teknis, persoalan manajemen pemeliharaan dari pengelola jalan juga ikut berperan dalam rangkaian peristiwa longsor.

Pada artikel ini akan dibahas mengenai teknik inspeksi dan perawatan drainase untuk lereng. Kegiatan pemeriksaan sistem drainase ini merupakan bagian dari Sistem Manajemen Lereng. Sistem manajemen ini dikembangkan sebagai langkah preventif untuk mengurangi frekuensi dan mencegah kejadian longsor yang berulang. Selain itu, kegiatan ini juga ditujukan untuk menyusun langkah mitigasi longsor pada masa pra-musim basah, saat musim hujan, saat kondisi ekstrem dan saat musim kering.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan pemeriksaan sistem drainase lereng ini dilakukan pada Jalan Tol Ruas XY, yang dilaksanakan selama 2 bulan. Metode pelaksanaan kegiatan terdiri atas 2 kegiatan utama, yaitu pemeriksaan kelengkapan sistem drainase sesuai dengan kriteria desain drainase lereng berdasarkan Bina Marga dan Inspeksi drainase lereng berdasarkan Cheng (2013).

Pemeriksaan Kelengkapan Sistem Drainase Lereng

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2021) tentang Pedoman Desain Drainase Lereng Jalan, fungsi utama drainase pada lereng adalah menangkap beban air hujan sesuai dengan sistem distribusinya. Pada umumnya, sistem drainase lereng terdiri atas saluran puncak, saluran penangkap, saluran pencegat dan saluran tepi jalan sebagai saluran akhir. Saluran drainase lereng mempunyai kemiringan yang curam atau menyesuaikan dengan kemiringan lereng aslinya. Skema saluran drainase lereng ditampilkan pada Gambar 2 berikut.

Pada kasus khusus, drainase lereng juga dapat ditambahkan sistem drainase bawah permukaan apabila terdapat potensi rembesan yang dapat merusak permukaan lereng. Umumnya, drainase bawah permukaan atau sub-drain dibuat dengan cara bor horizontal ke dalam lereng. Lubang bor diberi pipa PVC

yang dilubangi dan diberi lapisan filter untuk mencegah butiran tanah bermigrasi (Rahardjo et al., 2003).



Gambar 2. Skema saluran drainase lereng menurut Pedoman Desain Drainase Lereng Jalan tahun 2021.

Metode Inspeksi Drainase Lereng

Survei kondisi drainase permukaan lereng merupakan pendokumentasian dari kondisi aktual fasilitas drainase yang ada pada lereng. Pencatatan atau pendokumentasian kondisi drainase dilakukan untuk memastikan saluran drainase berfungsi sebagaimana mestinya. Drainase yang rusak atau tidak berfungsi menyebabkan air secara langsung mengalir pada permukaan lereng. Aliran air yang terus menerus mengalir dapat menyebabkan erosi serta menurunkan kestabilan lereng. Kondisi saluran drainase akan dinilai menggunakan instrumen pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Inspeksi dicatat dalam log-lembar dan ditabulasikan dalam program bantu *spreadsheet*. Hasil inspeksi yang sudah diolah oleh tenaga ahli geoteknik dapat digunakan untuk memberi gambaran kerentanan suatu lereng mengalami kegagalan ditinjau dari aspek performa drainase lereng itu sendiri.

Tabel 1. Parameter penilaian kondisi drainase lereng eksisting (Cheng, 2013)

Permukaan Drainase	Tak Dilindungi	Terlindungi Sebagian	Semua Terlindungi
Sedikit atau tanpa saluran, dan potensial terjadi aliran permukaan dari puncak lereng	8	4	2
Sedikit atau tanpa saluran	4	2	1,50
Saluran memadai	2	1,50	1

Tabel 2. Parameter penilaian kondisi drainase lereng eksisting galian batu dengan rembesan (Cheng, 2013)

Drainase \ Seepage	Deras	Sedang	Sedikit atau tidak ada
Potensial terjadi aliran permukaan dari puncak lereng dan keluar air dari celah batuan	8	6	4
Sedikit atau tanpa saluran	6	4	2
Saluran memadai	4	2	1

Metode Analisis Data

Sejumlah data yang diperoleh dari kegiatan inspeksi, akan diolah untuk mendapatkan kondisi drainase lereng eksisting, kelengkapan sistem drainase eksisting dan pengaruh kondisi drainase eksisting terhadap kenampakan dan stabilitas lereng. Kondisi drainase eksisting akan dikelompokkan dalam beberapa klasifikasi sesuai dengan kriteria: a) drainase tertutup vegetasi; b) tidak ada saluran drainase; c) drainase tertutup material longsor atau debris; dan d) drainase mengalami kerusakan. Pengelompokan kondisi drainase berfungsi sebagai *starting point* dalam penyusunan strategi mitigasi longsor. Sistem drainase eksisting juga akan dinilai kelengkapannya sesuai dengan Pedoman Desain Drainase tahun 2021. Penilaian terhadap kelengkapan ini bertujuan untuk memberikan gambaran apakah desain lereng sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Sistem drainase yang tidak baik dapat menyebabkan erosi atau gerusan pada badan lereng sehingga memicu instabilitas. Oleh karena itu, hasil inspeksi juga akan menganalisis jejak erosi yang telah terjadi. Kondisi lereng dengan jejak erosi eksisting diperlukan sebagai input untuk strategi pencegahan instabilitas lanjutan. Kondisi erosi berat yang tidak segera ditangani dapat menyebabkan gerakan tanah yang lebih besar dan meluas.

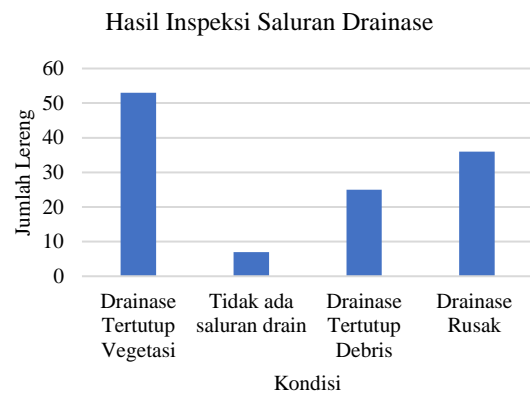
Tahap akhir kegiatan pemeriksaan lereng dalam upaya pengelolaan lereng adalah memberikan langkah strategis untuk manajemen pengelola lereng. Langkah tersebut terbagi dalam beberapa tahap: a) tahap kegiatan masa pra-musim basah; b) tahap kegiatan saat puncak musim basah; c) tahap kegiatan saat kondisi ekstrem. Langkah-langkah tersebut diharapkan dapat membantu mencegah dan meminimalkan frekuensi terjadinya longsor yang diakibatkan oleh faktor saluran drainase lereng.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pemeriksaan drainase lereng di lokasi, terdapat beberapa klasifikasi kondisi drainase lereng. Kondisi paling umum ditemukan adalah saluran drainase tertutup oleh vegetasi tanaman semak dan

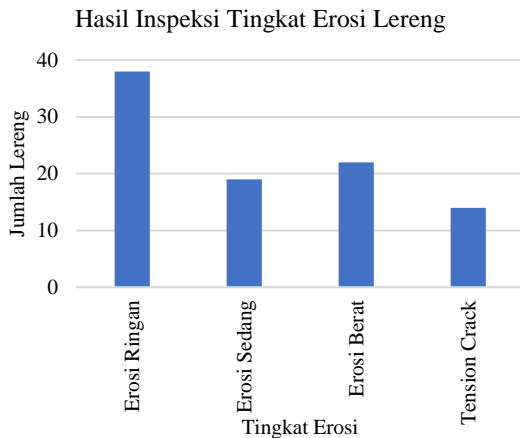
rumpun. Umumnya, vegetasi menghambat saluran drainase yang disebabkan oleh terakumulasinya material sedimen di saluran. Vegetasi yang semakin lebat dan tidak terkendali mengakibatkan air hujan mencari jalan lain untuk mengalir atau sering terjadi *overflow* dari saluran menuju permukaan lereng.

Pada temuan berikutnya, drainase lereng yang sudah ada tidak dilakukan perawatan secara berkelanjutan. Kondisi drainase yang ditemukan umumnya dalam keadaan patah sehingga tidak dapat berfungsi dengan optimal. Beberapa kondisi bahkan menunjukkan saluran drainase telah hilang atau bergeser dari lokasi awalnya. Pada tahap ini, biasanya telah terjadi erosi yang cukup berat. Selain kondisi drainase yang buruk, juga ditemukan sejumlah lereng yang tidak memiliki sistem drainase. Temuan dari inspeksi drainase lereng dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tabulasi data hasil inspeksi saluran drainase di ruas jalan Tol XY.

Selain pemeriksaan kondisi drainase, inspeksi juga dilakukan pada pengamatan jejak erosi yang disebabkan karena tidak berfungsinya saluran. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa seluruh lereng yang diperiksa telah mengalami proses erosi dengan berbagai derajat. Mayoritas lereng sebanyak 38 buah mengalami erosi ringan berupa erosi lembaran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa saluran drainase mempunyai kapasitas yang tidak adekuat, sehingga terjadi *overflow* yang menyebabkan erosi lembaran. Selain itu, sejumlah 19 lereng mengalami erosi tingkat lanjut hingga membentuk erosi paritan atau *rill erosion*. Beberapa erosi paritan telah berkembang menjadi erosi berat (*gully erosion*) yang ditemukan pada 22 lereng. Tabulasi hasil inspeksi tingkat erosi lereng ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tabulasi hasil inspeksi tingkat erosi permukaan lereng.

Erosi yang terjadi secara persisten dan tidak ditangani dengan tepat, berisiko menyebabkan ketidakstabilan lereng (Guerra et al., 2017). Tanda instabilitas ini telah muncul secara nyata pada 14 lereng dengan erosi sedang hingga berat. Tanda yang muncul berupa *tension crack* atau rekahan yang muncul di puncak lereng maupun di badan lereng. Beberapa dokumentasi erosi yang telah terjadi ditampilkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 11.



Gambar 5. Saluran drainase patah dan berpindah dari lokasi awalnya.



Gambar 6. Saluran drainase patah yang dibangun tidak sesuai dengan standar.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat saluran drainase telah mengalami kerusakan berat. Rusaknya saluran ini disebabkan oleh pelaksanaan konstruksi yang tidak dilaksanakan dengan baik. Pondasi saluran hanya diletakkan pada permukaan lereng tanpa digali, sehingga pondasi tidak terkunci. Pada akhirnya, pondasi saluran dan struktur saluran patah dan bergeser dari lokasi aslinya.



Gambar 7. Fase awal longsor yang diawali dengan rusaknya saluran drainase.

Pada Gambar 7 terlihat saluran drainase lereng telah tertimbun material sedimen yang berasal dari puncak lereng. Material erosi menyebabkan drainase lereng tidak dapat berfungsi. Kondisi tersebut disebabkan karena tidak adanya saluran perimeter pada puncak lereng. Aliran air hujan yang berasal dari puncak lereng

dan lingkungan sekitar mengalir secara langsung pada permukaan lereng. Air permukaan menggerus permukaan lereng secara persisten, sehingga butiran material tererosi dan terkumpul pada saluran drainase.



Gambar 8. Fase erosi permukaan lereng tingkat awal dengan tipe erosi lembaran (*sheet erosion*)

Erosi secara terus menerus membentuk kenampakan permukaan lereng yang berbeda-beda. Pada Gambar 8 terlihat jenis erosi lembaran, dimana erosi terjadi secara merata di sepanjang permukaan lereng. Erosi lembaran akan berkembang menjadi erosi parit atau *rill erosion* seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Pada tahap selanjutnya, *rill erosion* akan terus mengalami perkembangan dimensi menjadi *gully erosion*.



Gambar 9. Fase erosi permukaan lereng tingkat lanjut dengan tipe erosi paritan (*rill erosion*).

Lereng yang telah mengalami *gully erosion* rentan terjadi instabilitas lereng, seperti terlihat pada Gambar

10. Pada lereng tersebut, erosi telah membuat batuan seperti menggantung karena lapisan tanah yang lemah di bawahnya telah hilang.



Gambar 10. Fase erosi permukaan lereng tingkat sangat lanjut di mana kestabilan lereng mulai terpengaruhi.

Selain itu, lereng juga dapat mengalami *tension crack* seperti ditampilkan pada Gambar 11. *Tension crack* pada tanah rentan terjadinya kehilangan *suction* tanah (*loss of suction*) terutama pada tanah residual. Kondisi kehilangan *suction* tanah pada akhirnya akan mengarah pada kehilangan kuat geser efektif tanah, apabila saturasi terus berlajut akibat masuknya air hujan melalui celah *tension*. Pada tahap akhir, lereng berpotensi mengalami longsor, terutama ketika terjadi hujan ekstrem.



Gambar 11. Fase erosi permukaan lereng tingkat sangat lanjut di mana kestabilan lereng mulai terpengaruhi, terbentuk rekahan panjang pada badan lereng.

Kondisi lereng yang seluruhnya telah mengalami erosi dengan variasi tingkat erosi ringan hingga berat,

mengindikasikan desain drainase lereng belum secara penuh mengikuti Pedoman Desain Drainase Lereng tahun 2021. Hasil pemeriksaan menunjukkan seluruh lereng yang diperiksa tidak memiliki saluran puncak atau saluran perimeter, sehingga air limpasan dari puncak lereng langsung mengalir dan menggerus permukaan lereng. Jumlah saluran peluncur tidak didesain secara adekuat, yang dibuktikan dari banyaknya jejak erosi dan *overflow* pada lereng kedua dan ketika setelah lereng puncak. Selain itu, beberapa saluran drainase yang patah dan tergerus disebabkan oleh pelaksanaan konstruksi yang tidak baik. Skor penilaian terhadap kerentanan lereng yang dipengaruhi oleh kondisi drainase menghasilkan nilai 8 untuk semua lereng karena seluruh lereng tidak mempunyai saluran puncak dan berpotensi mengalami longsor karena saluran tertutup debris dan sedimen. Pada kondisi hujan ekstrem, debit aliran *overflow* akan semakin besar dan meningkatkan risiko terjadinya longsor yang lebih besar (He et al., 2023).

Strategi untuk mencegah kejadian longsor dapat dimulai dari langkah kecil, yaitu pengendalian vegetasi yang mengganggu saluran air. Vegetasi yang membantu menjaga kestabilan lereng adalah vegetasi yang terkendali baik dari faktor pertumbuhan, tinggi vegetasi dan kerimbunan vegetasi. Strategi lini kedua, perbaikan saluran drainase yang sudah rusak parah pada setiap akhir musim basah atau hujan. Selanjutnya, inspeksi dan perbaikan rutin perlu dilakukan tiap 6 bulan sekali, terutama pada awal musim hujan. Strategi mitigasi longsor yang ditinjau dari aspek drainase ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Strategi pengelolaan saluran drainase dalam rangka pencegahan kejadian longsor (disadur sesuai Cheng (2013))

Periode	Strategi Mitigasi Longsor
Pra Musim Basah	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pembersihan dan pengendalian vegetasi di sekitar drainase lereng 2. Pembersihan debris dari saluran drainase 3. Perbaikan ringan saluran drainase menghadapi musim hujan. 4. Pemasangan alat ukur hujan otomatis tiap jarak 15-20 kilometer.
Musim Hujan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemantauan rutin saluran drainase 2. Pemantauan khusus ketika curah hujan mencapai 100mm dalam waktu 2 jam.
Musim Kemarau	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perbaikan besar saluran drainase yang rusak selama musim hujan.

2. Resloping, untuk lereng yang telah mengalami erosi berat.
3. Pemberian proteksi permukaan lereng, untuk kondisi erosi ringan hingga sedang.
4. Evaluasi kapasitas dan jumlah saluran drainase lereng selama musim hujan.

Temuan lain yang didapatkan selama inspeksi adalah potensi penambahan beban drainase yang diakibatkan oleh perubahan tata guna lahan. Pada saat perencanaan, asumsi tata guna lahan dalam pendugaan debit dan perilaku drainase perbedaan yang signifikan. Selain itu, inspeksi juga menemukan bahwa pola *maintenance* lebih menitikberatkan pada persoalan beautifikasi daripada pengembalian fungsi dan keamanan lereng itu sendiri. Dengan demikian, kejadian longsor yang telah terjadi selama tahun 2020 sampai dengan 2024 juga secara tidak langsung disebabkan oleh faktor non-teknis seperti diuraikan sebelumnya. Untuk merespon temuan ini, disarankan agar pengelola jalan tol membentuk satu tim khusus yang bertugas membuat *database* lereng, mencatat fitur lereng, melakukan inspeksi dan *maintenance* yang berkelanjutan. Dengan dibentuk tim khusus ini, diharapkan pengelolaan lereng lebih terfokus dan komprehensif, sebab longsor pada lereng merupakan permasalahan yang kompleks dan melibatkan banyak faktor.

KESIMPULAN

Saluran drainase mempunyai peran yang vital dalam mempertahankan integritas lereng. Berdasarkan data historis, telah terjadi 30 kali kejadian longsor selama periode 2020-2024 yang disebabkan oleh performa saluran drainase yang buruk. Hasil pemeriksaan tahun 2024 menunjukkan sebagian besar saluran drainase dalam kondisi tersumbat. Selain itu, sebanyak 88 lereng atau semua lereng yang diperiksa mengalami erosi yang bervariasi dari ringan hingga berat. Beberapa lereng dengan erosi berat telah berkembang menjadi *tension crack*. Berdasarkan hasil kegiatan pemeriksaan drainase, kegiatan mitigasi longsor yang dilakukan pada saat musim pra-basah adalah pembersihan dan perbaikan saluran. Pada saat musim hujan, drainase harus dipantau, khususnya ketika terjadi hujan lebih dari 100mm dalam 2 jam. Pada saat musim kemarau, kegiatan rutin yang harus dilakukan adalah perbaikan saluran dan penanganan kerusakan permukaan lereng. Selain itu, saluran drainase sebaiknya juga harus dievaluasi baik dari aspek jumlah saluran maupun kapasitas saluran. Kegiatan pemeriksaan saluran drainase yang rutin sesuai dengan sistem manajemen lereng dapat membantu pengelola lereng untuk meminimalkan risiko instabilitas yang disebabkan

aliran air hujan. Untuk pengelolaan lereng yang berkelanjutan, disarankan agar pengelola jalan tol membentuk satu tim khusus yang bertugas membuat database lereng, mencatat fitur lereng, melakukan inspeksi dan *maintenance*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaithong, T., 2023. Influence of changes in extreme daily rainfall distribution on the stability of residual soil slopes. *Big Earth Data* 7, 101–125. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2046306>
- Cheng, P.F.K., 2013. The New Priority Ranking Systems for Man-made Slopes and Retaining Wall (Geo Report No. GEO Report No. 284). The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hongkong.
- Coutinho, R.Q., Silva, M.M., Santos, A.N.D., Lacerda, W.A., 2019. Geotechnical Characterization and Failure Mechanism of Landslide in Granite Residual Soil. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 145, 05019004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002052](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002052)
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021. Pedoman Desain Drainase Jalan.
- Guerra, A.J.T., Fullen, M.A., Jorge, M.D.C.O., Bezerra, J.F.R., Shokr, M.S., 2017. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere* 27, 27–41. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7)
- He, W., Ishikawa, T., Zhu, Y., 2023. Wide / narrow-area slope stability analysis considering infiltration and runoff during heavy precipitation. *Soils and Foundations* 63, 101248. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101248>
- Hidayat, R., Wijaya, I.P.E.P., Munir, Moh.D., 2023. MEKANISME LONGSOR AKIBAT INFILTRASI DARI GENANGAN AIR (STUDI KASUS LONGSOR DI LAHAT, SUMATERA SELATAN). *JTH* 14, 1–12. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.701>
- Huang, Y., He, Z., 2023. Rainfall-oriented resilient design for slope system: Resilience-enhancing strategies. *Soils and Foundations* 63, 101297. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101297>
- Ishikawa, T., Zhang, T., He, W., Zhu, Y., Kawamura, S., 2024. Role of road network for prevention and mitigation of runoff-induced geo-disaster under climate change. *Transportation Geotechnics* 47, 101283. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101283>
- Kusnadi, S., 2017. Slope Stability Analysis Based on Type, Physical And Mechanical Properties Rock in Teluk Pandan District, East Kutai Regency, East Kalimantan. *J. Geoscience Eng. Environ. Technol.* 2, 272. <https://doi.org/10.24273/jgeet.2017.2.4.879>
- Lee, R.W.H., Law, R.H.C., Lo, D.O.K., 2018. Importance of surface drainage management to slope performance. *HKIE Transactions* 25, 182–191. <https://doi.org/10.1080/1023697X.2018.1499449>
- Ng, C.W.W., Wang, Y., Zhang, S., Zhang, Q., 2024. Effects of climate change on soil embankments for transport infrastructure. *Transportation Geotechnics* 48, 101324. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101324>
- Rahardjo, H., Hritzuk, K.J., Leong, E.C., Rezaur, R.B., 2003. Effectiveness of horizontal drains for slope stability. *Engineering Geology* 69, 295–308. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00288-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00288-0)
- Wang, Y.-N., Li, S.-K., Li, Z.-Y., Garg, A., 2023. Exploring the application of the MICP technique for the suppression of erosion in granite residual soil in Shantou using a rainfall erosion simulator. *Acta Geotech.* 18, 3273–3285. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01791-3>
- Wesley, L.D., 2010. *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Wong, H.N., Ho, K.K.S., 2000. Learning from slope failures in Hong Kong, in: *Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*. Presented at the Landslides: In Research, Theory and Practice, Thomas Telford, Cardiff.
- Yanuar, Y., 2024. Dugaan Penyebab Tol Bocimi Longsor: Pakar BRIN Soroti Sistem Drainase, TJT Sebut Force Majeure Alam [WWW Document]. *Tempo*. URL <https://bisnis.tempo.co/read/1853316/dugaan-penyebab-tol-bocimi-longsor-pakar-brin-soroti-sistem-drainase-tjt-sebut-force-majeure-alam> (accessed 10.20.24).