Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

Volume 24, No. 97, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Analisis Penyebab Dan Penanganan Keruntuhan Talud Pada Proyek Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang, Kabupaten Minahasa

Michael R. Kahiking[#a], Meike M. Kumaat[#b], Glanny M. C. Mangindaan[#c]

[#]*Program Profesi Insinyur, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]kahikingmichael99@gmail.com, [b]meikekumaat@unsrat.ac.id, [c]glanny_m@unsrat.ac.id

Abstrak

Talud pasangan batu pada Proyek Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang di Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa, runtuh dalam masa pelaksanaan tahun anggaran 2025 dan berdampak pada perkerasan serta bangunan di belakangnya. Kajian ini menelusuri penyebab keruntuhan, mengukur pengaruh air yang terperangkap di belakang dinding terhadap gaya lateral, dan menilai penanganan darurat serta rekonstruksinya. Data berasal dari pengamatan langsung selama pengawasan, dokumentasi proyek, dan gambar redesain. Temuan lapangan dibandingkan dengan ketentuan pengadaan pemerintah, jasa konstruksi, dan standar teknis. Gaya lateral dihitung dengan teori Rankine untuk tanah tertahan setinggi 4 m, dengan parameter tanah timbunan dari literatur yang dinyatakan sebagai asumsi. Lima faktor penyebab saling terkait: pemeriksaan bersama awal tanpa konsultan pengawas, gambar perencanaan yang tidak lengkap dan tidak dilengkapi gambar kerja, talud baru yang ditumpukan pada talud lama, ketiadaan lubang sulingan, dan gerusan di kaki talud. Tanpa drainase, gaya lateral naik dari 48,0 kN/m menjadi 105,7 kN/m (2,20 kali) ketika air mencapai puncak dinding, dan 74% gaya itu berasal dari tekanan air. Pada sudut geser 25° sampai 35° kenaikannya 1,91 sampai 2,58 kali. Redesain memakai fondasi boulder, dinding bertingkat berangka beton bertulang, dan pipa sulingan 2 inci yang memenuhi ukuran dalam Spesifikasi Umum Bina Marga. Stabilitas dinding hasil redesain masih perlu diverifikasi dengan data uji tanah setempat.

Kata kunci: dinding penahan tanah, lubang sulingan, tekanan air, pengawasan konstruksi

1. Pendahuluan

Dinding penahan tanah tipe gravitasi dari pasangan batu, yang di lapangan lazim disebut talud, menahan tanah di belakangnya dengan berat sendiri. SNI 8460:2017 mengatur perancangan geoteknik untuk struktur penahan, termasuk pemeriksaan stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2017). Pemeriksaan itu dikerjakan untuk beban yang diperkirakan perencana. Ketika beban di lapangan melampaui perkiraan tersebut, cadangan keamanan habis lebih cepat daripada yang tampak dalam hitungan.

Air adalah sumber beban tambahan yang paling sering tercatat pada kasus keruntuhan. Koerner dan Koerner (2018) menghimpun 320 dinding tanah bertulang dengan perkuatan geosintetik yang runtuh sebagian atau berdeformasi berlebih, dan mencatat 201 kasus atau 63% di antaranya dipicu air dari dalam atau dari luar struktur, sedangkan sisanya berkaitan dengan kondisi tanah. Binici dkk. (2010) menelusuri dinding dengan bagian tertinggi 8,9 m di Kahramanmaraş, Turki, yang runtuh pada Mei 2006. Perencanaannya mengabaikan tekanan hidrostatik dan tidak menyediakan drainase, sehingga faktor keamanan guling dan geser hasil hitung ulang hanya 0,32 dan 0,2. Pada pelindung tebing Sungai Pasak di Thailand, Udomchai dkk. (2018) mencatat dua mekanisme yang bekerja bersama, yaitu rembesan melalui timbunan pada musim hujan dan gerusan arus di depan struktur. Di Sulawesi Utara, Kalalo dkk. (2017) menghitung dinding pasangan batu setinggi 7,96

m di Maumbi dan memperoleh faktor keamanan daya dukung yang turun dari 3,834 tanpa air tanah menjadi 1,031 ketika muka air tanah naik ke puncak fondasi. Uji model Fikri (2021) memperlihatkan arah sebaliknya: dinding model pada tanah lempung yang tidak aman terhadap geser saat tekanan air bekerja penuh menjadi aman setelah pipa sulingan berfungsi. Untuk lereng, Rahardjo dkk. (2007) menempatkan sifat tanah dan intensitas hujan sebagai dua faktor utama ketidakstabilan saat hujan.

Kesalahan teknis jarang berdiri sendiri. Lopez dkk. (2010) mengelompokkan sumber kesalahan desain ke dalam faktor orang, organisasi, dan proyek yang saling memengaruhi. Immanuel dan Yuwono (2020) menempatkan *shop drawing* yang belum matang sebagai penyebab pekerjaan ulang dengan bobot tertinggi dalam kelompok desain dan dokumentasi pada proyek gedung bertingkat. Binici dkk. (2010) menutup kajiannya dengan anjuran memperbaiki koordinasi antara perencana dan pelaksana. Di Indonesia, koordinasi itu diatur dalam ketentuan pengadaan pemerintah. Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) bertugas menetapkan spesifikasi teknis dan mengendalikan kontrak (Republik Indonesia, 2025), sedangkan pengguna dan penyedia jasa wajib memenuhi Standar Keamanan, Keselamatan, Kesehatan, dan Keberlanjutan (Republik Indonesia, 2017).

Proyek Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang berlokasi di Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Pekerjaan konstruksi ini diselenggarakan Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Minahasa pada tahun anggaran 2025 dengan masa pelaksanaan 70 hari kalender. Salah satu bagiannya adalah talud pasangan batu di tepi sungai yang menahan pelataran dan bangunan wisata. Talud tersebut runtuh, lalu ditangani dengan langkah darurat dan dibangun kembali berdasarkan gambar redesain konsultan perencana.

Kajian stabilitas dinding penahan tanah di Sulawesi Utara umumnya berangkat dari dinding yang direncanakan atau yang masih berdiri (Kalalo dkk., 2017; Mandiangan dkk., 2023). Kasus Ranoreindang menyediakan bahan yang berbeda karena dindingnya sudah runtuh, proses pelaksanaannya dapat ditelusuri, dan rekonstruksinya terdokumentasi. Kajian ini bertujuan (1) mengidentifikasi faktor penyebab keruntuhan dan kaitannya dengan ketentuan yang berlaku, (2) menghitung kenaikan gaya lateral ketika air terperangkap di belakang dinding tanpa lubang sulingan, dan (3) menilai penanganan darurat serta redesain terhadap acuan teknis.

2. Landasan Teori dan Ketentuan

2.1 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Air

Untuk timbunan tak berkohesi dengan permukaan datar dan punggung dinding tegak, koefisien tekanan tanah aktif Rankine adalah (Das & Sivakugan, 2019):

$$K_a = tan^2\left(45° - \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (1)$$

dengan φ' sudut geser dalam efektif tanah timbunan.

Bila timbunan terdrainase sehingga tidak ada air yang tertahan di belakang dinding setinggi H, gaya aktif per meter panjang dinding adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \, \gamma \, H^2 \quad (2)$$

dengan γ berat volume tanah. Gaya ini bekerja pada ketinggian H/3 dari dasar dinding.

Bila drainase tidak bekerja dan air tertahan setinggi h_w dari dasar dinding, tanah di bawah muka air dihitung dengan berat volume terendam, dan tekanan air ditambahkan utuh karena tidak dikalikan K_a:

$$P = \frac{1}{2} K_a \, \gamma \, H_1^2 + K_a \, \gamma \, H_1 \, h_w + \frac{1}{2} K_a \, \gamma' \, h_w^2 + \frac{1}{2} \gamma_w \, h_w^2 \quad (3)$$

dengan $H_1 = H - h_w$ sebagai tebal tanah di atas muka air, $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ berat volume terendam, γ_{sat} berat volume jenuh, dan γ_w berat volume air. Momen guling terhadap dasar dinding dari keempat suku tersebut adalah:

$$M_o = \frac{1}{2} K_a \gamma H_1^2 \left(h_w + \frac{H_1}{3}\right) + K_a \gamma H_1 h_w \left(\frac{h_w}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} K_a \gamma' h_w^2 + \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2\right) \frac{h_w}{3} \quad (4)$$

Persamaan (2) memperlihatkan bahwa gaya aktif sebanding dengan kuadrat tinggi tanah tertahan, sedangkan momen gulingnya sebanding dengan pangkat tiga tinggi tersebut.

2.2 Ketentuan Teknis Pasangan Batu

Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) Direktorat Jenderal Bina Marga disusun untuk pekerjaan jalan dan jembatan. Seksi 7.9 di dalamnya memuat ketentuan pasangan batu untuk struktur penahan beban luar seperti dinding penahan tanah dan talud, sehingga dipakai dalam kajian ini sebagai pembanding teknis (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Empat ketentuannya berkaitan dengan kasus yang dikaji. Penyedia jasa wajib menyerahkan gambar kerja detail untuk disetujui pengawas pekerjaan sebelum pekerjaan dimulai (Pasal 7.9.1 butir 2). Dasar fondasi dinding penahan dibuat tegak lurus atau bertangga terhadap muka dinding (Pasal 7.9.3 butir 1). Lapis landasan rembes air dan kantung penyaring disediakan bila disyaratkan, mengikuti ketentuan drainase porous. Dinding dilengkapi lubang sulingan berdiameter 50 mm dengan jarak antarsumbu tidak lebih dari 2 m, kecuali gambar atau pengawas pekerjaan menentukan lain (Pasal 7.9.3 butir 4).

2.3 Ketentuan Pelaksanaan Kontrak

Pengadaan pekerjaan konstruksi pemerintah mengikuti Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 yang telah dua kali diubah, terakhir dengan Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2025 (Republik Indonesia, 2025). Pasal 11 ayat (1) menugaskan PPK antara lain menetapkan spesifikasi teknis atau kerangka acuan kerja (huruf c) dan mengendalikan kontrak (huruf i). Pedoman pelaksanaannya dimuat dalam Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP) Nomor 12 Tahun 2021 (LKPP, 2021). Dokumen kontrak yang disusun menurut pedoman itu mendefinisikan jadwal pelaksanaan sebagai kerangka waktu yang dirinci setelah pemeriksaan lapangan bersama dan disepakati dalam rapat persiapan pelaksanaan kontrak. Di lapangan, pemeriksaan bersama pada awal kontrak ini dikenal sebagai *mutual check* 0% (MC-0).

Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 mewajibkan pengguna dan penyedia jasa memenuhi Standar Keamanan, Keselamatan, Kesehatan, dan Keberlanjutan dalam setiap penyelenggaraan jasa konstruksi (Pasal 59). Undang-undang yang sama membatasi istilah kegagalan bangunan pada keruntuhan atau tidak berfungsinya bangunan setelah penyerahan akhir hasil jasa konstruksi (Pasal 1 angka 10) (Republik Indonesia, 2017). Keruntuhan yang terjadi sebelum penyerahan akhir ditangani dalam lingkup kontrak. Keselamatan pekerja dan publik selama penanganan mengikuti Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat [PUPR], 2021).

3. Metode

3.1 Objek dan Data

Objek kajian adalah talud pasangan batu di tepi sungai pada Proyek Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang. Data pokok proyek disajikan pada Tabel 1.

Data kajian terdiri atas tiga kelompok. Kelompok pertama adalah pengamatan langsung di lapangan selama masa pengawasan. Kelompok kedua adalah dokumentasi foto sebelum, saat, dan sesudah keruntuhan serta selama perbaikan. Kelompok ketiga adalah gambar redesain dari konsultan perencana berupa potongan dan tampak berskala 1:25. Hasil uji tanah, dimensi talud lama, catatan curah hujan, dan debit sungai tidak tersedia. Keterbatasan ini menentukan lingkup perhitungan pada Subbab 3.3.

Penulis pertama bertugas sebagai konsultan pengawas pada proyek ini. Posisi tersebut memberi akses langsung ke lapangan dan ke para pihak, tetapi penilaian terhadap pihak lain perlu dibaca dengan mengingat sudut pandang itu. Untuk mengimbanginya, setiap temuan dipasangkan dengan bukti foto atau gambar dan dengan ketentuan tertulis.

Tabel 1. Data Pokok Proyek

Uraian	Keterangan
Nama pekerjaan	Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang Leilem
Lokasi	Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara
Pengguna jasa	PPK Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Minahasa
Tahun anggaran	2025
Masa pelaksanaan	70 hari kalender
Pengawasan	Konsultan pengawas (penulis pertama)
Pelaksana	Kontraktor pelaksana berbentuk CV
Objek kajian	Talud pasangan batu di tepi sungai

3.2 Analisis Penyebab

Setiap temuan lapangan dipasangkan dengan ketentuan yang mengaturnya, lalu dikelompokkan menurut tahap kemunculannya: persiapan kontrak, perencanaan, pelaksanaan, dan lingkungan lokasi. Urutan sebab-akibat disusun dari tahap paling awal sampai mekanisme runtuh.

3.3 Perhitungan Gaya Lateral

Stabilitas guling, geser, dan daya dukung tidak dihitung karena lebar puncak, kemiringan muka dinding, dan parameter tanah fondasi tidak tersedia. Besaran yang dihitung adalah gaya lateral dan momen guling pada bidang tegak di belakang dinding, yang hanya memerlukan tinggi tanah tertahan dan parameter timbunan. Tinggi tanah tertahan diambil 4 m, yaitu dua tingkat pasangan batu masing-masing 2 m di atas fondasi boulder pada gambar redesain. Parameter timbunan pada Tabel 2 merupakan asumsi yang diambil dari rentang lazim tanah berbutir (Das & Sivakugan, 2019) karena hasil uji tanah setempat tidak tersedia.

Tabel 2. Parameter Perhitungan

Parameter	Simbol	Nilai	Keterangan
Tinggi tanah tertahan	H	4 m	Gambar redesain
Berat volume tanah	γ	18 kN/m³	Asumsi
Berat volume jenuh	γ_{sat}	20 kN/m³	Asumsi
Berat volume air	γ_w	9,81 kN/m³	Tetapan
Sudut geser dalam efektif	φ'	30°	Asumsi; 25° dan 35° untuk uji kepekaan
Kohesi efektif	c'	0	Asumsi; kohesi akan memperkecil gaya aktif
Tinggi air dari dasar dinding	h_w	0, 1, 2, 3, dan 4 m	Skenario

Persamaan (1) sampai (4) dihitung untuk lima tinggi air tersebut. Hasil rumus tertutup diperiksa silang dengan integrasi numerik diagram tekanan, dan keduanya sama sampai dua desimal.

3.4 Evaluasi Penanganan

Langkah darurat dinilai dari fungsinya terhadap mekanisme runtuh yang teridentifikasi. Ukuran dan jarak pipa sulingan pada rekonstruksi dibandingkan dengan Seksi 7.9 Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kondisi Keruntuhan

Talud berdiri di tepi sungai dan menahan pelataran berperkerasan paving serta bangunan wisata di belakangnya. Keruntuhan membawa serta timbunan dan paving di belakang dinding. Bidang runtuh berbentuk busur dan memotong pelataran sampai ke dekat bangunan, sedangkan pecahan pasangan batu dan paving berserak di lereng hingga ke tepi air (Gambar 1). Salah satu sudut bangunan kehilangan tumpuan tanah sehingga harus ditopang sementara.



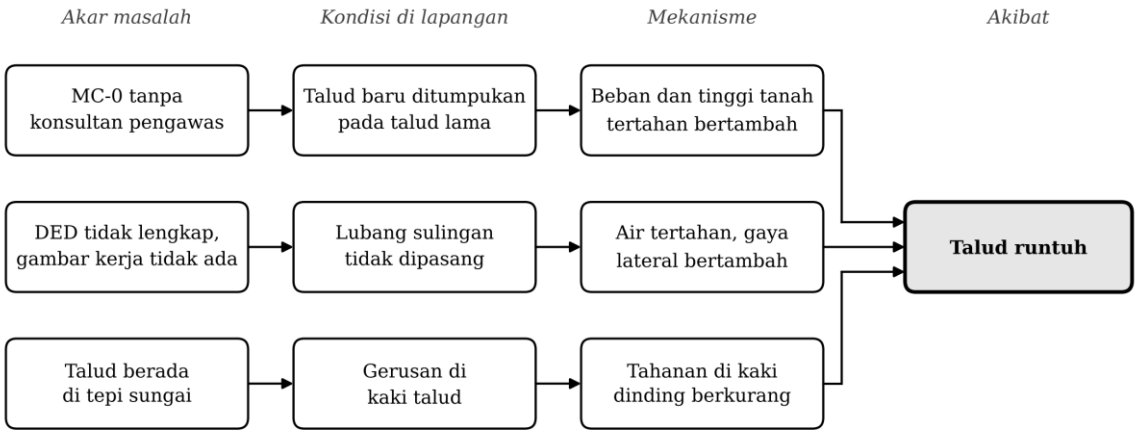
Gambar 1. Kondisi Talud: (a) dan (b) Sebelum Runtuh, (c) Saat Runtuh

4.2 Faktor Penyebab

Lima faktor teridentifikasi dari pengamatan lapangan. Tabel 3 memasangkan setiap faktor dengan temuan dan acuan pembandingnya, sedangkan Gambar 2 memperlihatkan urutan sebab-akibatnya.

Tabel 3. Faktor Penyebab, Temuan Lapangan, dan Acuan Pembanding

No.	Tahap	Faktor	Temuan lapangan	Acuan pembanding
1	Persiapan kontrak	MC-0 tanpa konsultan pengawas	Pemeriksaan kondisi awal lapangan hanya dihadiri PPK dan kontraktor pelaksana karena konsultan pengawas tidak diberi tahu	Perpres 16/2018 jo. Perpres 46/2025 Pasal 11 ayat (1) huruf i; Peraturan LKPP 12/2021
2	Perencanaan	Gambar perencanaan (*Detail Engineering Design*, DED) tidak lengkap dan gambar kerja tidak dibuat	Potongan tidak lengkap; detail talud serta tampak depan, samping, dan belakang tidak ada; kontraktor pelaksana tidak menyusun *shop drawing*	Perpres 16/2018 jo. Perpres 46/2025 Pasal 11 ayat (1) huruf c; Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) Pasal 7.9.1 butir 2
3	Pelaksanaan	Talud yang baru ditumpukkan pada talud lama *(existing condition)*	Titik awal pekerjaan keliru sehingga talud lama *(existing condition)* menjadi tumpuan talud baru	Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) Pasal 7.9.3 butir 1; Persamaan (2) dan (4)
4	Pelaksanaan	Lubang sulingan tidak ada	Air tanah tertahan di belakang dinding dan tanah di sekitarnya melunak	Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) Pasal 7.9.3 butir 4
5	Lingkungan lokasi	Gerusan aliran air sungai di kaki talud	Elevasi puncak talud turun karena tanah fondasi terkikis aliran	Udomchai dkk. (2018)



Gambar 2. Urutan Sebab-Akibat Keruntuhan Talud

Pemeriksaan bersama awal menetapkan kondisi lapangan yang menjadi dasar pengukuran, jadwal, dan titik mulai pekerjaan. Pada proyek ini pemeriksaan tersebut berlangsung tanpa konsultan pengawas karena pengguna jasa tidak menyampaikan pemberitahuan. Keputusan tentang posisi talud akhirnya diambil tanpa pihak yang bertugas memeriksa kesesuaian pekerjaan dengan gambar. Kehadiran pengawas pada tahap ini berkaitan dengan pengendalian kontrak yang menjadi tugas PPK.

DED tidak memuat potongan lengkap, detail talud, dan tampak. Gambar detail talud itulah yang biasanya menetapkan ukuran fondasi, kemiringan muka dinding, dan letak lubang sulingan. Kekosongan itu seharusnya tertutup oleh gambar kerja kontraktor, tetapi gambar kerja tidak disusun. Temuan ini sejalan dengan Lopez dkk. (2010) tentang kesalahan desain yang lahir dari beberapa faktor yang saling bergantung, dan dengan Immanuel dan Yuwono (2020) tentang peran kematangan gambar kerja. Pada kasus ini rantainya dapat diikuti: informasi yang tidak ada dalam DED tidak dilengkapi dalam gambar kerja, lalu tidak dapat diperiksa pengawas karena tidak ada acuan pembanding.

Talud lama dijadikan tumpuan talud baru. Susunan ini menambah beban vertikal pada fondasi lama yang kondisinya tidak diperiksa dan sekaligus menambah tinggi tanah tertahan. Tinggi talud lama tidak terdokumentasi, sehingga pengaruhnya diperlihatkan dengan perbandingan. Dengan parameter pada Tabel 2, Persamaan (2) memberi gaya aktif 12 kN/m untuk tinggi 2 m dan 48 kN/m untuk tinggi 4 m, sedangkan momen gulingnya naik dari 8 kN·m/m menjadi 64 kN·m/m. Tinggi yang berlipat dua menghasilkan gaya empat kali dan momen delapan kali, padahal lebar dasar dinding lama tidak berubah. Albab dkk. (2025) memperoleh pola serupa dari simulasi dinding pasangan batu kali pada tanah lempung lunak: setiap tambahan tinggi 0,5 m menurunkan faktor keamanan 5,61% sampai 6,53%, dan faktor keamanan 1,5 hanya terpenuhi sampai tinggi 3,5 m.

Tanpa lubang sulingan, air hujan dan air tanah yang masuk ke timbunan tidak mempunyai jalan keluar. SNI 8460:2017 mencatat kenaikan tekanan air pori akibat hujan berkepanjangan dan gangguan sistem drainase sebagai salah satu penyebab longsor pada lereng (BSN, 2017). Besar pengaruhnya terhadap gaya lateral dihitung pada Subbab 4.3.

Talud berada di tepi sungai, dan penurunan elevasi puncaknya menunjukkan bahwa tanah di bawah fondasi terkikis aliran. Gerusan mengurangi tahanan dan daya dukung di kaki dinding pada saat gaya dorong dari belakang bertambah. Gabungan rembesan dari belakang dan gerusan dari depan ini serupa dengan temuan Udomchai dkk. (2018) pada pelindung tebing Sungai Pasak. Debit dan kecepatan aliran tidak tercatat, sehingga kedalaman gerusan tidak dapat dihitung.

4.3 Pengaruh Air Terperangkap terhadap Gaya Lateral

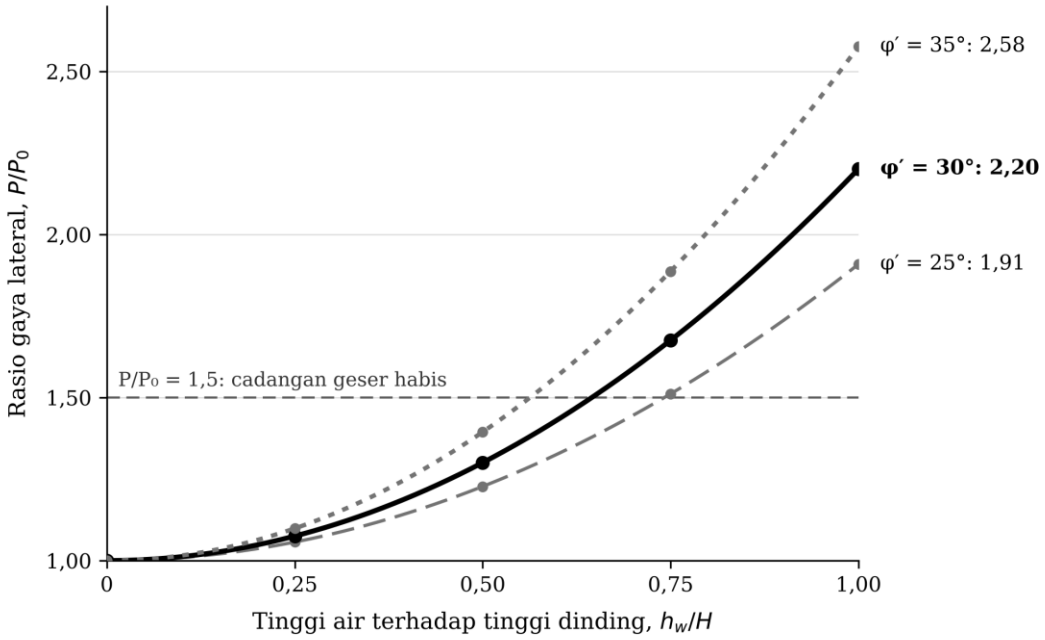
Untuk $\varphi' = 30°$, Persamaan (1) memberi $K_a = \tan^2(30°) = 0{,}333$. Pada kondisi terdrainase, Persamaan (2) menghasilkan $P_a = ½ \times 0{,}333 \times 18 \times 4^2 = 48{,}0$ kN/m. Bila air tertahan sampai puncak dinding ($h_w = 4$ m), berat volume terendam menjadi $\gamma' = 20 - 9{,}81 = 10{,}19$ kN/m³. Suku tanah pada Persamaan (3) bernilai $½ \times 0{,}333 \times 10{,}19 \times 4^2 = 27{,}2$ kN/m dan suku air $½ \times 9{,}81 \times 4^2 = 78{,}5$ kN/m, sehingga gaya total menjadi 105,7 kN/m. Hasil untuk kelima tinggi air disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Gaya Lateral dan Momen Guling per Meter Panjang Dinding (H = 4 m, $\varphi' = 30°$)

h_w (m)	h_w/H	Gaya tanah (kN/m)	Gaya air (kN/m)	Gaya total P (kN/m)	P/P_0	Momen guling M_o (kN·m/m)	M_o/M_0
0	0	48,0	0	48,0	1,00	64,0	1,00
1	0,25	46,7	4,9	51,6	1,08	65,2	1,02
2	0,50	42,8	19,6	62,4	1,30	73,6	1,15
3	0,75	36,3	44,1	80,4	1,68	96,4	1,51
4	1,00	27,2	78,5	105,7	2,20	140,9	2,20

Keterangan: P_0 dan M_0 adalah gaya total dan momen guling pada kondisi terdrainase ($h_w = 0$).

Air setinggi dinding menaikkan gaya lateral menjadi 2,20 kali kondisi terdrainase. Tekanan air sendiri menyumbang 78,5 kN/m, yaitu 74% dari gaya total dan 1,64 kali gaya tanah pada kondisi terdrainase. Gaya tanah memang turun dari 48,0 menjadi 27,2 kN/m karena tanah terendam lebih ringan, tetapi penurunan itu jauh lebih kecil daripada tambahan dari air yang bekerja utuh tanpa dikalikan K_a. Kenaikannya tidak sebanding lurus dengan tinggi air: air setengah tinggi dinding menambah gaya 30%, sedangkan air tiga perempat tinggi dinding menambah 68%.



Gambar 3. Rasio Gaya Lateral terhadap Kondisi Terdrainase untuk Tiga Nilai Sudut Geser Dalam

Uji kepekaan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa simpulan tersebut tidak bergantung pada pilihan sudut geser. Pada air setinggi dinding, rasio gaya lateral adalah 1,91 untuk $\varphi' = 25°$ dan 2,58 untuk $\varphi' = 35°$. Rasio lebih besar pada tanah yang lebih kuat karena gaya tanah terdrainasenya lebih kecil, sementara gaya air sama besar.

Arti angka ini bagi keamanan dinding dapat diperkirakan tanpa mengetahui dimensinya, dengan mengandaikan gaya penahan tetap. Gaya dorong mencapai 1,5 kali nilai terdrainase ketika air naik sampai 2,6 m atau 65% tinggi dinding, sedangkan momen gulingnya mencapai dua kali

pada tinggi air 3,8 m atau 94% tinggi dinding. Dinding yang direncanakan untuk kondisi terdrainase dengan cadangan keamanan 1,5 terhadap geser karena itu kehilangan seluruh cadangan tersebut pada tinggi air yang pertama, dan dinding dengan cadangan 2 terhadap guling kehilangan cadangannya pada tinggi air yang kedua. Pada air setinggi dinding, kedua cadangan itu tinggal 0,68 dan 0,91. Perkiraan ini belum memasukkan gaya angkat di dasar dinding dan pelunakan tanah fondasi yang akan memperkecil gaya penahan. Sebaliknya, kohesi dan gesekan antara tanah dan dinding yang diabaikan akan memperkecil gaya dorong.

Tinggi air di belakang talud saat kejadian tidak terukur. Simpulan yang dapat ditarik dari hitungan ini terbatas pada hal berikut: pada dinding tanpa lubang sulingan, air yang naik sampai sekitar dua pertiga tinggi dinding sudah menghabiskan cadangan keamanan geser sebesar 1,5. Kalalo dkk. (2017) meninjau air tanah sampai puncak fondasi sehingga besaran yang turun adalah daya dukung. Pada dinding tanpa lubang sulingan, air naik di belakang badan dinding sehingga gaya dorong ikut bertambah.

4.4 Penanganan Darurat

Lima langkah darurat dikerjakan oleh pengawas dan kontraktor pelaksana untuk mencegah longsor susulan (Tabel 5 dan Gambar 4).

Tabel 5. Langkah Penanganan Darurat dan Mekanisme yang Dikendalikan

No.	Langkah	Pelaksanaan	Mekanisme yang dikendalikan
1	Penutupan dengan terpal	Permukaan tanah yang terbuka ditutup terpal	Infiltrasi hujan dan erosi permukaan pada bidang runtuh
2	Parit pengalih sementara	Air permukaan dialihkan menjauhi area runtuh	Membuat jalur aliran baru agar tidak memperparah area yang terdampak longsoran
3	Pengalihan aliran sungai	Aliran dialihkan dengan alat berat untuk memperoleh area kerja yang kering di kaki talud	Gerusan di kaki talud dan genangan di area kerja
4	Susunan boulder di tepi sungai	Batu berukuran besar disusun di kaki lereng	Hanyutnya butiran tanah oleh rembesan, dengan air tetap dapat keluar
5	Penopang bambu	Titik yang berisiko longsor susulan dan sudut bangunan ditopang	Keselamatan pekerja dan bangunan selama perbaikan

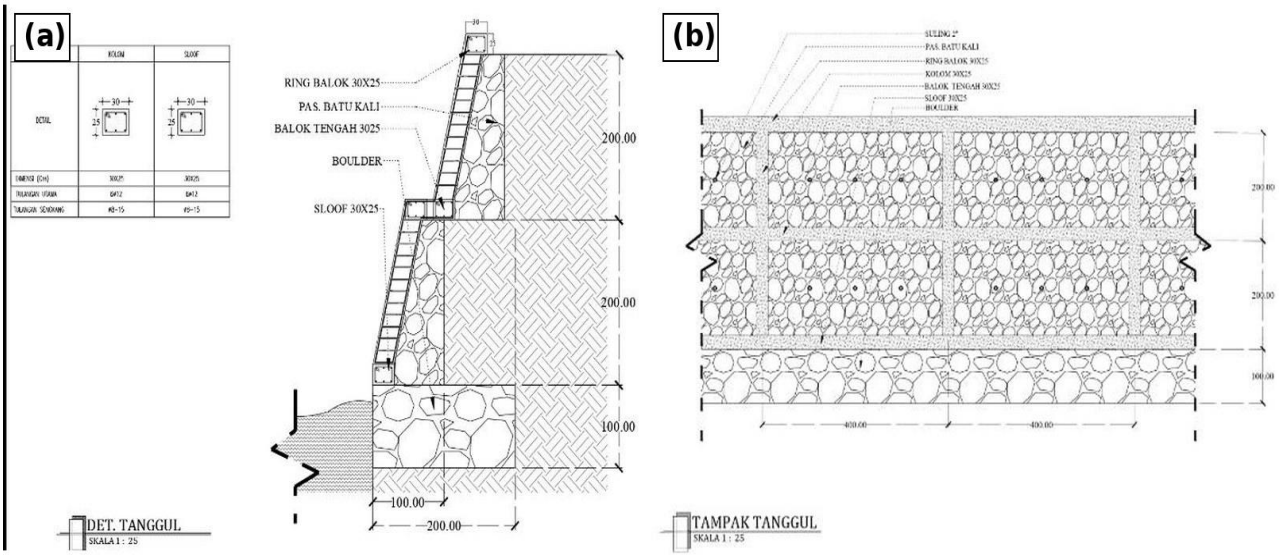


Gambar 4. Penanganan Darurat: (a) Penutupan Terpal, (b) Pengalihan Aliran Sungai, dan (c) Penopang Bambu pada Bangunan

Urutan langkah itu mengikuti mekanisme pada Subbab 4.2. Terpal dan parit pengalih memutus pasokan air ke timbunan, yaitu sumber beban yang dihitung pada Subbab 4.3. Susunan boulder menahan butiran tanah agar tidak hanyut terbawa rembesan tanpa menutup jalan keluar air. Pengalihan aliran sungai menjauhkan arus dari kaki talud sekaligus memberi area kerja yang kering; langkah ini di lapangan disebut *dewatering*. Penopang bambu bersifat sementara dan kapasitasnya tidak dihitung. Pekerjaan di bawah lereng yang belum stabil tergolong berisiko, dan pengendalian risikonya mengikuti SMKK (Kementerian PUPR, 2021).

4.5 Rekonstruksi

Gambar redesain konsultan perencana (Gambar 5) mengganti susunan lama dengan empat unsur. Fondasi berupa susunan boulder selebar 2,00 m dan setinggi 1,00 m. Di atasnya berdiri dua tingkat pasangan batu kali masing-masing setinggi 2,00 m, dengan tingkat atas mundur dari tingkat bawah. Pasangan batu diikat rangka beton bertulang yang terdiri atas sloof, balok tengah, ring balok, dan kolom berukuran 30 × 25 cm; kolom berjarak 4,00 m, dengan tulangan utama 6Ø12 dan sengkang Ø8 berjarak 15 cm pada kolom dan sloof. Pipa sulingan 2 inci dipasang pada kedua tingkat.



Gambar 5. Gambar Redesain Talud: (a) Potongan dan (b) Tampak

Unsur-unsur tersebut berkaitan langsung dengan faktor pada Tabel 3. Fondasi boulder menggantikan talud lama sebagai tumpuan dan menempatkan material yang lebih tahan gerusan di kaki dinding. Susunan bertingkat membagi tinggi tanah tertahan sehingga setiap tingkat memikul gaya yang lebih kecil; menurut Persamaan (2), dinding setinggi 2 m menerima seperempat gaya dinding setinggi 4 m. Rangka beton bertulang mengikat pasangan batu agar bekerja sebagai satu kesatuan. Pipa sulingan memberi jalan keluar bagi air di belakang dinding.

Tabel 6. Perbandingan Sistem Sulingan pada Rekonstruksi dengan Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)

Butir	Rekonstruksi	Pasal 7.9.3 Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)	Penilaian
Diameter pipa	2 inci (50,8 mm)	50 mm	Memenuhi
Jarak antar sumbu	Paling besar 1 sampai 1,5 m	Tidak lebih dari 2 m	Lebih rapat daripada batas
Bahan penyaring	Lapisan ijuk di belakang pipa	Kantung penyaring dan lapis rembes air mengikuti ketentuan drainase porous, bila disyaratkan	Fungsinya sama; kinerja ijuk belum diuji

Ukuran dan jarak pipa sulingan memenuhi acuan pembanding (Tabel 6). Tiga hal masih memerlukan tindak lanjut. Pertama, data uji tanah tidak termasuk dalam data kajian, sehingga stabilitas guling, geser, daya dukung, dan stabilitas global dinding hasil redesain perlu dihitung menurut SNI 8460:2017 setelah data tanah diperoleh. Kedua, pada dinding bertingkat, tingkat atas menambah beban pada zona di belakang tingkat bawah, sehingga pemadatan timbunan di zona itu perlu dikendalikan. Ketiga, kemampuan ijuk menahan butiran tanah tanpa tersumbat belum diuji pada proyek ini, dan elevasi baris sulingan terbawah perlu dibandingkan dengan muka air banjir sungai.

Proses pekerjaan rekonstruksi dan kondisi talud setelah selesai diperlihatkan pada Gambar 6. Susunan dua tingkat, balok beton di antara kedua tingkat, dan fondasi boulder di kaki dinding terlihat pada Gambar 6(c) dan 6(d).



Gambar 6. Rekonstruksi Talud: (a) dan (b) Proses Pekerjaan, (c) dan (d) Kondisi Setelah Rekonstruksi

Keruntuhan terjadi di dalam masa pelaksanaan pekerjaan: penanganan darurat dan rekonstruksinya dikerjakan oleh kontraktor pelaksana dan konsultan pengawas yang sama dalam kontrak yang sedang berjalan. Peristiwa ini karena itu berada dalam lingkup pelaksanaan kontrak, dan berbeda dari kegagalan bangunan yang menurut Pasal 1 angka 10 Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 dibatasi pada keadaan setelah penyerahan akhir hasil jasa konstruksi.

4.6 Keterbatasan Kajian

Kajian ini mempunyai empat keterbatasan. Parameter tanah pada perhitungan adalah asumsi dari literatur. Dimensi talud lama, tinggi air saat kejadian, curah hujan, dan debit sungai tidak tercatat. Stabilitas dinding hasil redesain belum dihitung. Pengamatan lapangan dilakukan oleh satu pihak, yaitu konsultan pengawas. Dengan keterbatasan tersebut, angka pada Tabel 4 menggambarkan besar pengaruh air pada dinding setinggi 4 m dan belum dapat dipakai untuk merekonstruksi kondisi saat talud runtuh.

5. Kesimpulan

1. Keruntuhan talud pada Proyek Pengembangan Kawasan Wisata Ranoreindang berasal dari lima faktor yang berantai. Pemeriksaan bersama awal tanpa konsultan pengawas dan gambar perencanaan yang tidak lengkap tanpa gambar kerja membuka jalan bagi tiga kondisi teknis: talud baru ditumpukan pada talud lama, lubang sulingan tidak dipasang, dan kaki talud tergerus aliran sungai.
2. Untuk tanah tertahan setinggi 4 m dengan $\varphi' = 30°$, air yang tertahan sampai puncak dinding menaikkan gaya lateral dari 48,0 kN/m menjadi 105,7 kN/m atau 2,20 kali, dan 74% gaya tersebut adalah tekanan air. Pada $\varphi' = 25°$ sampai 35° rasionya 1,91 sampai 2,58. Dinding yang direncanakan dengan cadangan keamanan 1,5 terhadap geser kehilangan seluruh cadangan itu ketika air mencapai sekitar 65% tinggi dinding.
3. Penanganan darurat memutus pasokan air ke timbunan dan mengamankan kaki lereng, searah dengan mekanisme runtuh yang teridentifikasi. Rekonstruksi memakai fondasi boulder,

dinding bertingkat berangka beton bertulang, dan pipa sulingan 2 inci berjarak paling besar 1 sampai 1,5 m, yang memenuhi ukuran dan jarak dalam Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).

4. Empat tindak lanjut disarankan. Pemeriksaan bersama awal dihadiri pengguna jasa, konsultan pengawas, dan kontraktor pelaksana, dengan hasil yang dituangkan dalam berita acara. Gambar kerja disetujui pengawas sebelum pekerjaan pasangan batu dimulai. Stabilitas dinding hasil redesain diverifikasi dengan data uji tanah setempat menurut SNI 8460:2017. Lubang sulingan diperiksa dan dibersihkan secara berkala.

Referensi

Albab, M. N. U., Mulyono, B., & Apriyono, A. (2025). Pengaruh ketinggian lereng dan intensitas hujan terhadap stabilitas dan biaya dinding penahan tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 9*(1), 48–62. https://jrsl.jurnal.unej.ac.id/index.php/JRSL/article/view/53699/15734

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional.

Binici, H., Temiz, H., Kayadelen, C., Kaplan, H., & Durgun, M. Y. (2010). Retaining wall failure due to poor construction and design aspects: A case study. *Electronic Journal of Construction Technologies, 6*(1), 46–61. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/206877

Das, B. M., & Sivakugan, N. (2019). *Principles of foundation engineering* (9th ed.). Cengage Learning.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2)* (Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 16.1/SE/Db/2020). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020

Fikri, A. M. (2021). Analisis pengaruh karakteristik tanah terhadap drainase sulingan pada dinding penahan tanah. *Jurnal Student Teknik Sipil, 3*(2), 387–395. https://jurnal.ummi.ac.id/index.php/JSTS/article/download/1659/901/4937

Immanuel, R., & Yuwono, B. E. (2020). Kematangan shop drawing sebagai penentu pekerjaan ulang (rework) proyek konstruksi. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (CESD), 3*(1), 42–48. https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/sipil/article/download/8023/5798/24330

Kalalo, M., Ticoh, J. H., & Mandagi, A. T. (2017). Analisis stabilitas dinding penahan tanah (Studi kasus: Sekitar areal PT. Trakindo, Desa Maumbi, Kabupaten Minahasa Utara). *Jurnal Sipil Statik, 5*(5), 285–294. https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/16320

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi* (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286). https://peraturan.bpk.go.id/Details/216875/permen-pupr-no-10-tahun-2021

Koerner, R. M., & Koerner, G. R. (2018). An extended data base and recommendations regarding 320 failed geosynthetic reinforced mechanically stabilized earth (MSE) walls. *Geotextiles and Geomembranes, 46*(6), 904–912. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.07.013

Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. (2021). *Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Nomor 12 Tahun 2021 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah melalui Penyedia* (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 593).

Lopez, R., Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Davis, P. R. (2010). Design error classification, causation, and prevention in construction engineering. *Journal of Performance of Constructed Facilities, 24*(4), 399–408. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000116

Mandiangan, J. D., Legrans, R. R. I., & Rondonuwu, S. G. (2023). Studi stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever pada oprit jembatan (Studi kasus: Jembatan Boulevard II). *TEKNO, 21*(85), 1555–1566. https://doi.org/10.35793/jts.v21i85.50373

Rahardjo, H., Ong, T. H., Rezaur, R. B., & Leong, E. C. (2007). Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133*(12), 1532–1543. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:12(1532)

Republik Indonesia. (2017). *Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi* (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 11).

Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2025 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah* (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 67). https://peraturan.bpk.go.id/Details/318647/perpres-no-46-tahun-2025

Udomchai, A., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Chinkulkijniwat, A., & Arulrajah, A. (2018). Failure of riverbank protection structure and remedial approach: A case study in Suraburi province, Thailand. *Engineering Failure Analysis, 91*, 243–254. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.04.040