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

T E K N O

Volume 24, No. 96, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Studi Performa Sistem Pengelolaan Heap Leach Pad, Spent Ore, Dan Waste Dump Pada Pertambangan Emas J Resources Bolaang Mongondow

Francelino A. Sabanari[#a], Hendra Riogilang[#b], Herawaty Riogilang[#c]

[#]*Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]francelinosabanari027@student.unsrat.ac.id, [b]hendra.riogilang@unsrat.ac.id, [c]herawaty_riogilang@unsrat.ac.id

Abstrak

PT. J Resources Bolaang Mongondow (JRBM) merupakan perusahaan tambang emas di Sulawesi Utara yang menerapkan metode Dynamic Heap Leach Cyanidation, yang menghasilkan limbah padat berupa spent ore. Limbah tersebut dikelola melalui tiga fasilitas utama, yaitu Heap Leach Pad (HLP), sistem kolam pengelolaan air bertahap, dan waste dump. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ketiga fasilitas tersebut, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan geoteknik dam tailing, serta menilai kesesuaian pengelolaan tailing JRBM terhadap regulasi lingkungan yang berlaku. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-evaluatif dengan data primer berupa observasi lapangan, wawancara, dan sampel kualitas air, serta data sekunder berupa dokumen desain teknis, laporan pemantauan lingkungan, dan data curah hujan. Data dianalisis melalui evaluasi stabilitas lereng metode kesetimbangan batas, analisis frekuensi curah hujan rencana, evaluasi kesesuaian baku mutu kualitas air, serta pemetaan matriks kepatuhan regulasi. Hasil analisis stabilitas lereng waste dump menunjukkan bahwa faktor keamanan (FS) pada kondisi gempa masih memenuhi syarat SNI 7571:2010 pada kemiringan 3H:1V (FS 1,23), tetapi tidak terpenuhi pada kemiringan 2H:1V (FS 0,90). Analisis antarmuka geomembran HLP menunjukkan FS kondisi gempa hanya 0,50 pada permukaan geomembran halus, namun meningkat menjadi 1,33–1,65 pada permukaan bertekstur. Analisis curah hujan rencana metode Gumbel periode ulang 25 tahun menghasilkan nilai 195,59 mm/hari dengan debit limpasan 2,133 m³/detik, sejalan dengan kriteria desain saluran pengelak yang diterapkan JRBM. Hasil pemantauan kualitas air pada compliance point secara umum memenuhi baku mutu (Cu <2 ppm dan CN <0,5 ppm). Evaluasi kepatuhan menunjukkan bahwa JRBM secara umum telah memenuhi regulasi nasional dan standar internasional (GISTM, ICMC), meskipun kapasitas drainase eksternal di area penyangga permukiman masih memerlukan penguatan, sebagaimana terindikasi dari kejadian banjir lumpur di Desa Bakan pada Februari 2026.

Kata kunci: Heap Leach Pad, Spent Ore, Waste Dump, stabilitas geoteknik, kualitas air, regulasi lingkungan, pertambangan emas

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Industri pertambangan emas memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional, salah satunya melalui operasi PT J Resources Bolaang Mongondow (JRBM) di Sulawesi Utara yang telah beroperasi sejak tahun 2013. Proses penambangan di JRBM menghasilkan tailing berupa spent ore yang mengandung sisa bahan kimia pelindian, termasuk logam berat dan sianida, sehingga berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Untuk menangani limbah tersebut, JRBM mengoperasikan fasilitas Heap Leach Pad (HLP), sistem kolam pengelolaan air bertahap, dan waste dump sebagai tempat penimbunan batuan penutup dan spent ore.

Salah satu tantangan utama pada fasilitas penimbunan limbah tambang adalah kestabilan struktur lereng, karena penumpukan material yang terus bertambah meningkatkan tekanan pada tubuh timbunan dan berpotensi memicu kegagalan lereng apabila tidak dianalisis secara cermat. Kondisi ini diperberat oleh karakteristik wilayah Sulawesi Utara yang memiliki curah hujan tinggi

dan aktivitas tektonik aktif, sehingga pengelolaan air dan analisis geoteknik menjadi dua aspek yang saling terkait dalam menjaga keberlanjutan fasilitas.

Meskipun JRBM telah memperoleh penghargaan PROPER Hijau dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2024 sebagai pengakuan atas komitmen pengelolaan lingkungannya, tantangan di lapangan tetap ada. Kejadian banjir lumpur di Desa Bakan pada Februari 2026 yang diberitakan media menunjukkan bahwa sistem drainase di area sekitar tambang masih memerlukan perhatian lebih lanjut. Pengelolaan tailing di Indonesia diatur antara lain melalui Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, sehingga kepatuhan JRBM terhadap regulasi tersebut penting untuk dievaluasi. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja fasilitas pengelolaan limbah JRBM, faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan geoteknik fasilitas penimbunan, serta kesesuaiannya terhadap regulasi lingkungan yang berlaku.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja fasilitas pengelolaan limbah tambang emas (Heap Leach Pad, Spent Ore, dan Waste Dump) di JRBM?
2. Apa saja faktor yang memengaruhi kestabilan geoteknik fasilitas Heap Leach Pad dan Waste Dump?
3. Apakah pengelolaan tailing di JRBM sudah sesuai dengan regulasi lingkungan yang berlaku?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan geoteknik fasilitas Heap Leach Pad dan Waste Dump, serta menganalisis dampak potensial faktor-faktor tersebut terhadap kestabilan keseluruhan fasilitas.
2. Menilai kesesuaian pengelolaan tailing di JRBM terhadap regulasi lingkungan yang berlaku, termasuk regulasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

1.4. Lingkup Penelitian

1. Penelitian dibatasi pada fasilitas pengelolaan limbah di Blok Bakan, yaitu Heap Leach Pad (HLP), sistem kolam pengolahan (PLS Pond hingga Polishing Pond), serta waste dump (IPD Main Ridge, IPD Durian, dan South Magazine).
2. Data teknis dan lingkungan dibatasi pada periode pengambilan data lapangan September 2025–Februari 2026, ditambah data sekunder berupa laporan pemantauan lingkungan PT JRBM tahun 2022–2023 dan dokumen desain Feasibility Study (FS) Approved serta FS Revisi 2020.
3. Analisis stabilitas geoteknik bersifat evaluatif-deskriptif berdasarkan data desain serta hasil pemantauan piezometer dan inclinometer yang tersedia, dan bukan merupakan pemodelan numerik baru.
4. Parameter kualitas air yang dianalisis dibatasi pada pH, Total Suspended Solid (TSS), Total Dissolved Solid (TDS), konsentrasi tembaga (Cu), serta sianida bebas dan sianida WAD.
5. Evaluasi kepatuhan regulasi dibatasi pada peraturan nasional yang berlaku di Indonesia serta standar internasional yang secara eksplisit diadopsi JRBM, yaitu Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) dan International Cyanide Management Code (ICMC).

2. Metode Penelitian

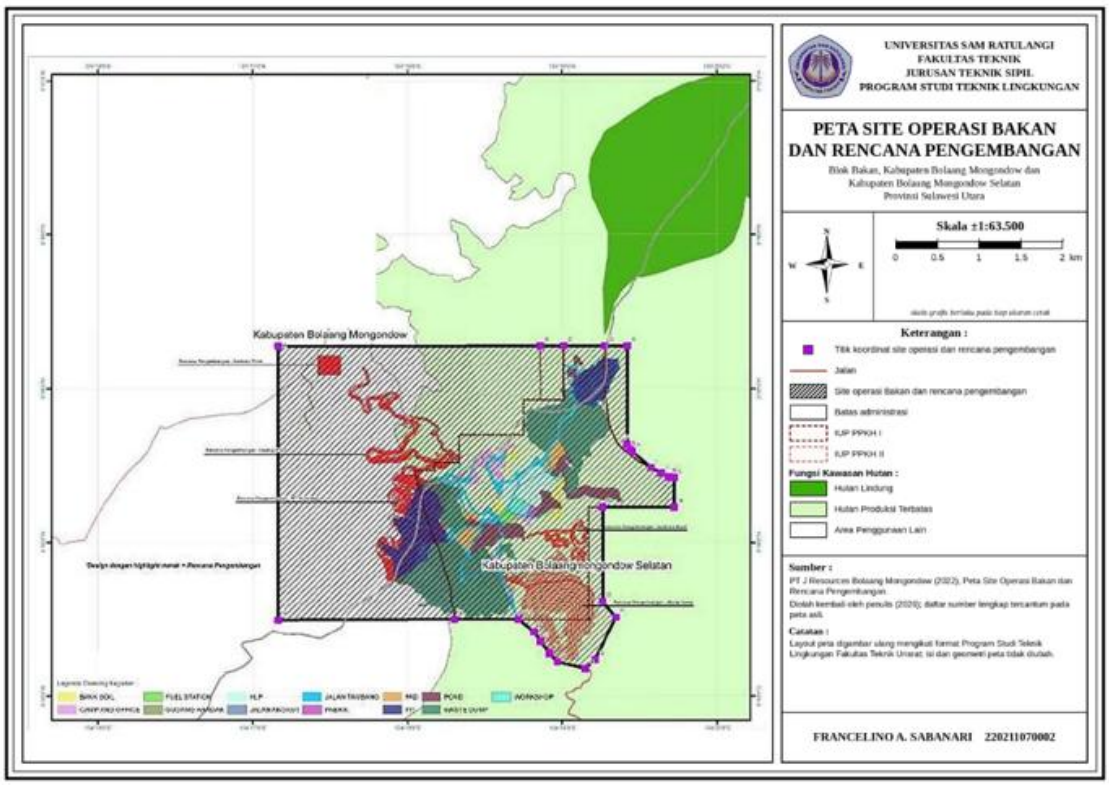
2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi lapangan dan analisis teknis. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi eksisting dan kinerja fasilitas pengelolaan limbah JRBM secara faktual, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis parameter teknis dan lingkungan, seperti stabilitas lereng, debit air limpasan, serta kualitas air di sekitar fasilitas. Hasil analisis dievaluasi terhadap standar nasional dan internasional, antara lain Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, PP No. 22

Tahun 2021, SNI 7571:2010, dan Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM).

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Tambang Emas J Resources Bolaang Mongondow (JRBM), Blok Bakan, Kecamatan Lolayan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Fasilitas pengelolaan limbah berada pada area pegunungan dengan topografi curam dan curah hujan tinggi. Air hasil pengolahan dialirkan melalui rangkaian kolam pengendapan, kolam pengolahan, dan kolam akhir (polishing pond) sebelum dibuang ke Sungai Dumagin melalui titik penaatan (compliance point).



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Citra satelit Google Maps, diakses Agustus 2026; diolah kembali oleh penulis (2026)

2.3. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi hasil observasi langsung kondisi fisik fasilitas pengelolaan limbah, sampel kualitas air di sekitar fasilitas, serta pengukuran topografi dan debit air limpasan. Data sekunder meliputi data teknis desain fasilitas dari PT JRBM, data curah hujan tahunan dari BMKG Kotamobagu, dokumen Laporan Pemantauan Lingkungan PT JRBM tahun 2022–2023, serta standar regulasi nasional dan referensi akademik terkait pengelolaan tailing.

2.4. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan terhadap kondisi fisik tanggul, drainase, dan indikasi rembesan; wawancara dengan Departemen Environment dan Geoteknik PT JRBM; pengambilan sampel air di titik inlet, outlet, dan badan sungai sekitar fasilitas yang dianalisis mengacu pada SNI 6989:2019 dan Permen LH No. 5 Tahun 2014; serta studi dokumen berupa laporan lingkungan dan literatur ilmiah terkait desain dan pengelolaan fasilitas penimbunan limbah tambang.

2.5. Teknik Analisis Data

Analisis stabilitas lereng waste dump dan antarmuka geomembran HLP dilakukan dengan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) berdasarkan parameter sudut geser dalam material, sudut lereng, serta nisbah tekanan air pori, mengacu pada kriteria faktor keamanan (FS) minimum SNI 7571:2010, yaitu FS statis ≥ 1,5 dan FS pseudostatik (gempa) ≥ 1,1. Analisis hidrologi dilakukan melalui pengolahan data curah hujan harian maksimum bulanan menggunakan metode frekuensi Gumbel dan metode Normal untuk memperoleh curah hujan rencana pada berbagai periode ulang, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung debit air limpasan dengan rumus rasional. Evaluasi kualitas air dilakukan dengan membandingkan hasil pemantauan terhadap baku mutu air limbah pertambangan emas. Evaluasi kepatuhan regulasi dilakukan dengan memetakan praktik pengelolaan fasilitas JRBM terhadap ketentuan dalam peraturan perundang-undangan nasional dan standar internasional yang diadopsi perusahaan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum Fasilitas Pengelolaan Limbah JRBM

JRBM mengoperasikan tambang emas terbuka di Blok Bakan dengan metode Dynamic Heap Leach Cyanidation berkapasitas pengolahan sekitar 6,5 juta ton bijih per tahun. Limbah hasil pengolahan dikelola melalui sistem kolam bertahap mulai dari PLS Pond hingga Polishing Pond sebagai compliance point, dengan baku mutu discharge Cu <2 ppm dan CN <0,5 ppm. Spesifikasi teknis fasilitas utama JRBM disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Fasilitas Pengolahan dan Pengelolaan Limbah PT JRBM

Parameter	Keterangan
Lokasi operasi	Kec. Lolayan, Kab. Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara
Metode pengolahan emas	Dynamic Heap Leach Cyanidation
Kapasitas pengolahan	±6,5 juta ton bijih/tahun
Luas Heap Leach Pad (HLP)	16,52 Ha (FS Approved) → 19,21 Ha (FS Revisi 2020)
Lapisan pelindung HLP & kolam	Clay liner + HDPE liner
Sistem kolam pengolahan	PLS Pond → ILS Pond → BLS Pond → Storm Water Pond → Detox Pond → Polishing Pond (CP)
Baku mutu discharge	Cu <2 ppm, CN <0,5 ppm
Sistem pemantauan geoteknik	Piezometer dan inclinometer real-time; sumur pantau hulu-hilir
Sertifikasi lingkungan	ICMC; PROPER Hijau KLHK 2024

Sumber: PT J Resources Bolaang Mongondow (2024), diolah oleh penulis

3.2. Desain dan Kinerja Fasilitas Heap Leach Pad (HLP)

Pada fasilitas HLP, bijih emas yang telah melalui tahap crushing dan agglomerasi ditumpuk setinggi 6–10 meter di atas hamparan yang dilapisi clay liner dan HDPE liner untuk mencegah rembesan larutan sianida ke air tanah. Desain HLP mengalami revisi pada tahun 2020 seiring meningkatnya kapasitas produksi, dengan luas bukaan bertambah dari 16,52 Ha menjadi 19,21 Ha, atau meningkat sekitar 16,3%, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Perluasan HLP turut meningkatkan potensi limpasan larutan sianida yang harus ditampung sistem kolam, sehingga kapasitas Storm Water Pond dan sistem drainase perlu disesuaikan. Penggunaan lapisan ganda clay liner dan HDPE liner sesuai SNI 7571:2010 dan GISTM merupakan langkah kritis untuk mencegah kontaminasi air tanah, mengingat integritas sistem liner merupakan faktor penentu utama dalam mencegah kegagalan fasilitas penyimpanan tailing (Azam dan Li, 2010).

Tabel 2. Perbandingan Desain Heap Leach Pad (HLP) Blok Bakan

Parameter	FS Approved	FS Revisi 2020
Luas bukaan HLP	16,52 Ha	19,21 Ha (+16,3%)
Lapisan pelindung	Clay liner + HDPE liner	Clay liner + HDPE liner (dipertahankan)
Sistem pengaliran larutan	Drainage layer + collection pipe → PLS Pond	Drainage layer + collection pipe → PLS Pond (dioptimalkan)

Sumber: PT J Resources Bolaang Mongondow (2020, 2024), diolah oleh penulis



Gambar 2. Fasilitas Heap Leach Pad PT JRBM Blok Bakan (tampak udara)
Sumber: PT J Resources Bolaang Mongondow (2024)

3.3. Desain dan Kinerja Fasilitas Waste Dump

Waste dump JRBM berfungsi menampung batuan penutup dan spent ore, terbagi atas beberapa lokasi di Blok Bakan yang juga mengalami revisi desain pada tahun 2020, sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Perubahan paling signifikan adalah munculnya fasilitas South Magazine seluas 72,31 Ha dengan elevasi akhir 840 mRL, meningkat dari kisaran 810–825 mRL pada desain sebelumnya.

Tabel 3. Perbandingan Desain Waste Dump Blok Bakan

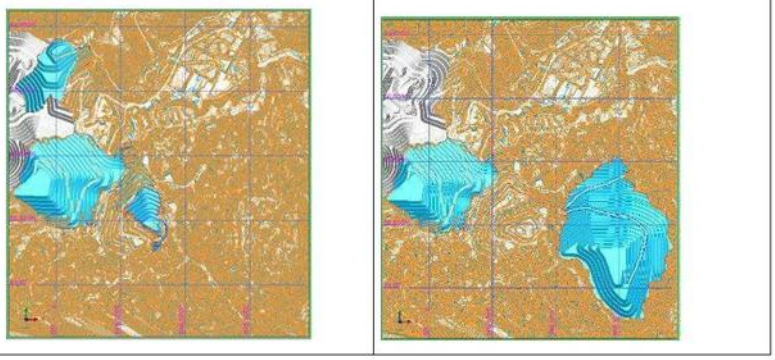
Fasilitas	FS Approved	FS Revisi 2020
WD Durian	18,6 Ha / 810 mRL	Diintegrasikan ke South Magazine
IPD Main Ridge	13,8 Ha / 805 mRL	Tidak berubah
IPD Durian	43,7 Ha / 825 mRL	41,86 Ha / 825 mRL
South Magazine	-	72,31 Ha / 840 mRL (baru)

Sumber: PT J Resources Bolaang Mongondow (2020, 2024), diolah oleh penulis

Total material yang direncanakan dipindahkan di Blok Bakan mencapai sekitar 65,79 juta ton, sedangkan kapasitas total waste dump dirancang menampung 81,21 juta ton, sehingga terdapat margin kapasitas sekitar 23% terhadap kebutuhan. Material NAF (Non-Acid Forming) dikapsulasi pada sel khusus agar mudah dipantau, sedangkan material PAF ditimbun kembali ke dalam pit (in-pit dumping). Peningkatan elevasi akhir pada South Magazine mengimplikasikan penambahan volume timbunan dan potensi tekanan geoteknik yang lebih tinggi pada lereng waste dump, sehingga pengelolaan drainase berjenjang menjadi faktor krusial untuk mencegah erosi dan air asam tambang (Santamarina dkk., 2019).

Tabel 2.9. Desain *Waste Dump* Blok Bakan

Desain *Waste Dump* FS Approved	Desain *Waste Dump* FS Revisi 2020
a. WD Durian Luas bukaan *Waste dump* 18,6 Ha Elevasi akhir *Waste dump* 810 mRL b. IPD Main Ridge Luas bukaan *Waste dump* 13,8 Ha Elevasi akhir *Waste dump* 805 mRL c. IPD Durian Luas bukaan *Waste dump* 43,7 Ha Elevasi akhir *Waste dump* 825 mRL	IPD Durian Luas bukaan Waste dump 41,86 Ha Elevasi akhir Waste dump 825 mRL South Magazine Luas bukaan Waste dump 72,31 Ha Elevasi akhir Waste dump 840 mRL



Gambar 3. Perbandingan Desain Waste Dump Blok Bakan (FS Approved vs FS Revisi 2020)
Sumber: PT J Resources Bolaang Mongondow (2024)

3.4. Analisis Curah Hujan Rencana dan Debit Limpasan

Analisis frekuensi curah hujan harian maksimum bulanan periode 2006–2019 di wilayah tambang Blok Bakan menghasilkan nilai rata-rata 108,37 mm/hari dengan standar deviasi 33,98 mm. Curah hujan rencana dihitung dengan metode Gumbel dan metode Normal untuk berbagai periode ulang, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Curah Hujan Rencana dan Debit Limpasan pada Periode Ulang Desain

Metode	Periode Ulang	Curah Hujan Rencana	Debit Limpasan (Q)
Gumbel	25 tahun	195,59 mm/hari	2,133 m^3/detik
Normal	10 tahun	187,55 mm/hari	2,045 m^3/detik

Sumber: diolah dari Meliane dkk. (2021)

Nilai curah hujan rencana metode Gumbel periode ulang 25 tahun sejalan dengan kriteria desain saluran pengelak (diversion channel) di sekeliling waste dump Durian, Osela, dan Main Ridge yang menggunakan kejadian Average Recurrence Interval (ARI) 25 tahun, dengan risiko hidrologi 18,46%, lebih rendah dibandingkan metode Normal (40,59%) untuk asumsi umur sarana 5–10 tahun. Debit limpasan hasil analisis diperoleh pada daerah tangkapan hujan seluas 19,74 Ha dengan koefisien limpasan 0,90, yang mencerminkan kondisi area gali-timbun berlereng curam dengan tutupan vegetasi minimal. Dengan demikian, kriteria desain saluran pengelak yang diterapkan JRBM memiliki dasar hidrologi yang dapat diverifikasi terhadap data curah hujan terukur di lokasi tambang.

3.5. Analisis Stabilitas Geoteknik Lereng Waste Dump dan Antarmuka Geomembran HLP

Analisis stabilitas lereng waste dump dilakukan pada tiga kondisi pembebanan, yaitu statis, jenuh air (dengan nisbah tekanan air pori r_u 0,3 dan 0,4), serta gempa, untuk material timbunan dengan sudut geser dalam 35°. SNI 7571:2010 mensyaratkan FS statis minimal 1,5 dan FS pseudostatik minimal 1,1. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa kemiringan lereng keseluruhan waste dump perlu dijaga pada kisaran 2,6H:1V (sekitar 21°) agar FS pada kondisi gempa tetap memenuhi syarat; pada kemiringan yang lebih curam (2H:1V), lereng tidak memenuhi syarat bahkan tanpa beban gempa. Nisbah tekanan air pori maksimum agar FS statis tetap terpenuhi pada lereng 3H:1V hanya sebesar 0,26, sehingga sistem sub soil drainage menjadi komponen penahan stabilitas, bukan sekadar pelengkap. Apabila drainase tersumbat dan timbunan menjadi jenuh, FS dapat turun dari 2,10 menjadi 1,40 sehingga tidak lagi memenuhi syarat SNI.

Analisis serupa diterapkan pada antarmuka geomembran dengan lapisan lempung di HLP pada kelandaian dasar 14% (sudut lereng 7,97°), dengan hasil disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Faktor Keamanan Lereng Timbunan Waste Dump pada Tiga Kondisi Pembebanan

Kemiringan Lereng	FS Statis (≥1,5)	FS Jenuh r_u 0,3	FS Jenuh r_u 0,4	FS Gempa (≥1,1)
3H:1V (18,43°)	2,10 aman	1,40 kurang	1,17 kurang	1,23 aman
2,5H:1V (21,80°)	1,75 aman	1,14 kurang	0,94 longsor	1,07 kurang
2H:1V (26,57°)	1,40 kurang	0,88 longsor	0,70 longsor	0,90 longsor

Sumber: hasil analisis penulis (2026)

Tabel 6. Faktor Keamanan Antarmuka Geomembran Heap Leach Pad pada Kelandaian Dasar 14 Persen

Jenis Permukaan Geomembran	FS Statis (≥1,5)	FS Gempa kh=0,20 (≥1,1)
Halus, sudut antarmuka 10°	1,26 tidak memenuhi	0,50 gagal total
Bertekstur, sudut antarmuka 25°	3,33 aman	1,33 aman
Bertekstur, sudut antarmuka 30°	4,12 aman	1,65 aman

Sumber: hasil analisis penulis (2026)

Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa apabila permukaan geomembran yang terpasang berjenis halus, FS antarmuka pada gempa desain hanya 0,50, yang berarti tumpukan bijih berisiko meluncur di atas lapisan kedapnya. Selisih antara kondisi aman dan gagal total pada kasus ini ditentukan oleh tekstur permukaan geomembran, bukan oleh ketebalannya, sehingga spesifikasi tekstur permukaan geomembran menjadi data teknis yang penting untuk dipastikan kesesuaiannya di lapangan. Temuan ini sejalan dengan Ali dkk. (2024) yang menekankan bahwa sistem liner HDPE tetap berpotensi mengalami degradasi akibat paparan bahan kimia jangka panjang, sehingga pemantauan berkala integritas liner menjadi penting.

3.6. Evaluasi Kapasitas Kolam dan Umur Layan Kolam Pengendap

Evaluasi ketahanan tanggul keliling kolam terhadap hujan rencana dilakukan dengan menghitung kenaikan muka air apabila pelimpah tidak berfungsi optimal, sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kenaikan Muka Air Kolam terhadap Luas Kolam pada Hujan Rencana Periode Ulang 25 Tahun

Luas Kolam	Kenaikan Muka Air bila Pelimpah Tidak Berfungsi	Kenaikan Muka Air bila Pelimpah Melepas 60%
1 Ha	3,47 m (pasti melimpas)	1,39 m (melimpas)
2 Ha	1,74 m (melimpas)	0,69 m (kritis)
3 Ha	1,16 m (melimpas)	0,46 m (aman)
5 Ha	0,69 m (kritis)	0,28 m (aman)
8 Ha	0,43 m (aman)	0,17 m (aman)

Sumber: hasil analisis penulis (2026)

Dengan tinggi jagaan lazim 1,0 meter, kolam berluas di bawah 3 Ha berisiko mengalami limpasan atas tanggul apabila pelimpah gagal berfungsi, yang pada tanggul urukan tanah berarti risiko jebol, bukan sekadar tergenang. Selain kapasitas tampungan, umur layan kolam pengendap turut ditentukan oleh laju erosi permukaan waste dump di sekitarnya, sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Selisih umur layan kolam antara kondisi timbunan tervegetasi dan timbunan gundul mencapai empat kali lipat (24,4 tahun berbanding 6,1 tahun), sehingga program revegetasi bertahap pada area waste dump yang telah selesai ditimbun menjadi penentu langsung frekuensi pengerukan sedimen dan kapasitas efektif kolam pengendap. Temuan ini memberikan konteks kuantitatif terhadap kejadian banjir lumpur di Desa Bakan pada Februari 2026, yang

mengindikasikan perlunya penguatan kapasitas drainase eksternal di area penyangga permukiman.

Tabel 8. Umur Layan Kolam Pengendap 120.000 m³ terhadap Laju Erosi Permukaan

Laju Erosi Permukaan	Hasil Sedimen (ton/tahun)	Volume Sedimen (m³/tahun)	Umur Layan Kolam
50 ton/Ha/tahun (tervegetasi)	6.399	4.922	24,4 tahun
100 ton/Ha/tahun (sebagian terbuka)	12.797	9.844	12,2 tahun
200 ton/Ha/tahun (gundul)	25.594	19.688	6,1 tahun

Sumber: hasil analisis penulis (2026), luas waste dump 127,97 Ha

3.7. Evaluasi Kepatuhan terhadap Regulasi Lingkungan

Evaluasi kepatuhan dilakukan dengan membandingkan praktik pengelolaan fasilitas HLP, waste dump, dan sistem kolam JRBM terhadap regulasi nasional dan standar internasional yang berlaku, sebagaimana dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9. Evaluasi Kepatuhan Pengelolaan Fasilitas JRBM terhadap Regulasi

Regulasi/Standar	Aspek yang Diatur	Implementasi di JRBM
UU No. 32/2009 (PPLH)	Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup	Dokumen AMDAL; pelaporan pemantauan berkala ke KLHK
PP No. 22/2021	Baku mutu air, udara, dan tanah	Pemantauan kualitas air di 5 titik compliance point
Permen LH No. 5/2014	Baku mutu air limbah pertambangan	Pengecekan CP: Cu <2 ppm, CN <0,5 ppm, TSS, pH
SNI 7571:2010	Desain dan konstruksi bendungan tailing	Desain FS dan FS Revisi 2020 mengacu SNI; audit berkala
GISTM (ICMM, 2020)	Standar global pengelolaan tailing, zero harm	Pemantauan real-time piezometer/inclinometer
ICMC	Pengelolaan sianida secara aman	Sertifikasi ICMC; monitoring free CN & WAD CN bulanan

Sumber: diolah dari PT J Resources Bolaang Mongondow (2024)

Secara umum, JRBM telah mengimplementasikan persyaratan regulasi utama, sebagaimana tercermin dari perolehan PROPER Hijau KLHK 2024 dan sertifikasi ICMC untuk pengelolaan sianida. Sistem kolam bertahap yang diterapkan mencerminkan pendekatan barrier berlapis yang sesuai rekomendasi GISTM dan PP No. 22 Tahun 2021. Namun, kejadian banjir lumpur di Desa Bakan pada Februari 2026 menunjukkan bahwa kapasitas drainase eksternal di luar batas fasilitas resmi perlu dievaluasi ulang, khususnya dalam konteks kecenderungan peningkatan intensitas curah hujan ekstrem di Sulawesi Utara.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengidentifikasi empat faktor utama yang memengaruhi kestabilan fasilitas penimbunan JRBM, yaitu tekanan air pori akibat infiltrasi curah hujan tinggi, aktivitas tektonik, geometri lereng dan elevasi akhir timbunan yang meningkat pada revisi desain 2020, serta karakteristik material spent ore. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng waste dump pada kondisi gempa memenuhi syarat SNI 7571:2010 pada kemiringan 3H:1V (FS 1,23) tetapi tidak terpenuhi pada kemiringan 2H:1V (FS 0,90), sedangkan faktor keamanan antarmuka geomembran HLP sangat bergantung pada tekstur permukaannya, dari 0,50 (permukaan halus, gagal total) hingga 1,65 (permukaan bertekstur 30°). Penggunaan lapisan ganda clay liner dan HDPE liner, metode konstruksi rock-fill yang fleksibel terhadap guncangan seismik, serta sistem pemantauan geoteknik real-time terbukti menjadi langkah mitigasi yang relevan, meskipun potensi degradasi jangka panjang lapisan HDPE liner tetap perlu mendapat perhatian melalui pemantauan berkala.

Hasil evaluasi kepatuhan menunjukkan bahwa JRBM secara umum telah mengimplementasikan persyaratan regulasi utama dalam sistem operasionalnya, sebagaimana

tercermin dari perolehan PROPER Hijau KLHK 2024 dan sertifikasi ICMC, dengan praktik pengelolaan HLP, sistem kolam, dan waste dump yang merujuk pada UU No. 32 Tahun 2009, PP No. 22 Tahun 2021, Permen LH No. 5 Tahun 2014, SNI 7571:2010, dan GISTM. Meskipun demikian, masih terdapat ruang perbaikan pada kalibrasi berkala model neraca air dengan data curah hujan terkini serta penguatan kapasitas drainase eksternal di area penyangga permukiman, sebagaimana terindikasi dari kejadian banjir lumpur di Desa Bakan pada Februari 2026, guna mendukung penerapan prinsip zero harm yang diamanatkan GISTM secara lebih optimal.

Referensi

Ali, M. A. H., dkk. 2024. Numerical Simulation of Geophysical Models to Detect Mining Tailings' Leachates within Tailing Storage Facilities. Water, Vol. 16, Is. 5, hal. 753.

Azam, S. dan Li, Q. 2010. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. Geotechnical News, Vol. 28, Is. 4, hal. 50–54.

Badan Standardisasi Nasional. 2010. SNI 7571:2010 – Tata Cara Perencanaan Bendungan Tailing. BSN. Jakarta.

International Council on Mining and Metals (ICMM). 2020. Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM). ICMM. London.

International Cyanide Management Institute (ICMI). 2021. International Cyanide Management Code for the Manufacture, Transport and Use of Cyanide in the Production of Gold. ICMI. Washington, D.C.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (KESDM). 2009. Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. KESDM. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. KLHK. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. KLHK. Jakarta.

Meliane, I., Adnyano, A. A. I., dan Sumarjono, E. 2021. Analisis Curah Hujan dalam Merancang Saluran Terbuka di Sulawesi Utara. Mining Insight, Vol. 2, Is. 2, hal. 107–114.

PT J Resources Bolaang Mongondow. 2024. Dokumen Desain Feasibility Study Revisi dan Data Teknis Fasilitas Blok Bakan. PT JRBM. Bolaang Mongondow.

Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara. Jakarta.

Rico, M., Benito, G., Salgueiro, A. R., Diez-Herrero, A., dan Pereira, H. G. 2008. Reported Tailings Dam Failures: A Review of the European Incidents in the Worldwide Context. Journal of Hazardous Materials, Vol. 152, Is. 2, hal. 846–852.

Riogilang, H. 2016. Identifikasi Kandungan Merkuri pada Sistem Akuifer Bebas Hidrogeologi Desa Buyat. Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi, Vol. 3, Is. 1, hal. 10–18.

Santamarina, J. C., Torres-Cruz, L. A., dan Bachus, R. C. 2019. Why Coal Ash and Tailings Dam Disasters Occur. Science, Vol. 364, Is. 6440, hal. 526–528.

Suarasulut.com. 2026. Banjir Lumpur Kembali Terjang Bakan, Aktivis Soroti Manajemen Tambang dan Keabsahan AMDAL PT JRBM. Diakses 19 Agustus 2026, dari https://suarasulut.com/2026/02/24/banjir-lumpur-kembali-terjang-bakan-aktivis-soroti-manajemen-tambang-dan-keabsahan-amdal-pt-jrbm/