



Australian Government



PENGELOLAAN TAILING

*Praktik Kerja Unggulan dalam Program
Pembangunan Berkesinambungan untuk
Industri Pertambangan*

Agustus 2016



PENGELOLAAN TAILING

*Praktik Kerja Unggulan dalam Program
Pembangunan Berkesinambungan untuk
Industri Pertambangan*

Agustus 2016

Peringatan (Disclaimer)

Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan.

Publikasi ini telah dikembangkan oleh kelompok kerja yang terdiri dari para ahli, perwakilan industri, pemerintah serta non-pemerintah. Upaya dari semua anggota kelompok kerja sangat dihargai.

Pandangan dan pendapat yang diutarakan dalam publikasi ini tidak mencerminkan pandangan dari Pemerintah Australia atau Menteri Luar Negeri, (Minister for Foreign Affairs) Menteri Perdagangan dan Penanaman Modal (Minister for Trade and Investment) dan Menteri Sumber Daya dan Australia Utara (Minister for Resources and Northern Australia).

Meskipun berbagai upaya yang pantas telah dilakukan untuk memastikan isi publikasi ini berdasarkan pada fakta-fakta yang benar, Persemakmuran tidak menerima pertanggungjawaban dalam hal keakuratan atau kelengkapan materi, dan tidak bertanggung jawab atas kerugian atau kerusakan apa pun yang mungkin timbul secara langsung atau tidak langsung melalui penggunaan, atau mengandalkannya pada isi publikasi ini.

Para pengguna buku pegangan ini harus ingat bahwa buku ini dimaksudkan sebagai rujukan umum dan tidak dimaksudkan untuk menggantikan kebutuhan nasihat profesional yang relevan dengan situasi khusus dari masing-masing pengguna. Rujukan pada perusahaan atau produk dalam buku pegangan ini tidak boleh dianggap sebagai dukungan Pemerintah Australia bagi perusahaan-perusahaan tersebut atau produk-produknya.

Dukungan bagi Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan (LPSPD) diberikan oleh program bantuan Australia yang dikelola oleh Departemen Luar Negeri dan Perdagangan (Department of Foreign Affairs and Trade), karena nilai laporan dalam memberikan studi bimbingan dan kasus praktis untuk digunakan dan diterapkan di negara-negara berkembang.

Gambar sampul: Memaksimalkan penggunaan air ulang lewat Pabrik Penanganan dan Persiapan Batubara di pertambangan Moranbah North Anglo American di Queensland. Air dikumpulkan dan disimpan dalam beberapa bendungan untuk digunakan kembali.

© Commonwealth of Australia 2016

Karya ini berhak cipta. Selain dari menggunakan sebagaimana yang diizinkan berdasarkan *Undang-Undang Hak Cipta 1968*, tidak ada bagian yang dapat digandakan dengan proses apa pun tanpa izin tertulis sebelumnya dari Persemakmuran. Permintaan dan pertanyaan terkait penggandaan dan hak-hak harus ditujukan ke Commonwealth Copyright Administration, Attorney-General's Department, Robert Garran Offices, National Circuit, Canberra ACT 2600 atau diposting di www.ag.gov.au/cca

Agustus 2016.

Daftar Isi

SAMBUTAN	vi
PRAKATA	viii
1.0 PENDAHULUAN	1
1.1 Konteks	1
1.2 Apakah tailing dan fasilitas penyimpanan tailing itu?	2
1.3 Sasaran pembaca	2
1.4 Struktur buku pegangan	3
2.0 PENGEMBANGAN BERKELANJUTAN DAN TAILING	4
2.1 Pendorong bisnis	5
2.2 Penyebab riwayat kegagalan TSF	6
2.3 Nilai-nilai masyarakat	7
2.4 Konteks peraturan	8
3.0 PENDEKATAN BERBASIS RISIKO LoM	9
3.1 Risiko dan analisis risiko	9
3.2 Metode-metode analisis risiko	10
3.3 Pedoman berbasis risiko	11
3.4 Mengelola perubahan	11
3.5 Efektifitas ongkos dan risiko	12
3.6 Kriteria kewajiban dan criteria penyelesaian	13
4.0 PEMBUANGAN DAN PENYIMPANAN TAILING	13
4.1 Pengeringan dan pengentalan tailing	14
4.2 Metode pembuangan tailing	16
4.3 Transportasi tailing	21
4.4 Jenis-jenis fasilitas penyimpanan tailing permukaan	22
4.5 Penyimpanan tailing di dalam pit	28
4.6 Urukan tailing di bawah tanah	32
4.7 Perbandingan pembuangan tailing dan metode penyimpanan	33
4.8 Minimisasi tailing, pemrosesan ulang dan penggunaan ulang	36
5.0 PERENCANAAN DAN DESAIN	37
5.1 Tahap-tahap perencanaan, penelitian dan desain	38
5.2 Pertimbangan perencanaan dan desain	39
5.3 Pertimbangan perencanaan dan risiko desain	40
5.4 Pertimbangan desain TSF	43
5.5 Aspek-aspek desain	49

6.0 BANGUNAN	57
6.1 Risiko bangunan	57
6.2 Pengelolaan bangunan	58
6.3 Catatan bangunan	58
6.4 Bangunan tanggul penahan air TSF	59
6.5 Bangunan untuk penutupan, rehabilitasi dan purna perawatan operasi	62
7.0 OPERASI	64
7.1 Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan	65
7.2 Risiko operasional	66
7.3 Pengendalian pengoperasian	67
7.4 Tinjauan dan pelaporan tahunan	76
8.0 REHABILITASI DAN PERAWATAN PURNA OPERASI	77
8.1 Risiko penutupan	77
8.2 Tujuan penutupan	83
8.3 Keterlibatan masyarakat	85
8.4 Neraca air pasca-penutupan tailing	85
8.5 Bentuk lahan pasca-penutupan	86
8.6 Pemantauan dan pemeliharaan perawatan purna operasi	95
9.0 KESIMPULAN DAN ARAHAN MASA DEPAN	98
9.1 Kesimpulan	99
9.2 Pengarahan masa depan	101
REFERENSI	103
SITUS WEB DAN TAUTAN (LINK)	106
PEDOMAN LAIN	107
GLOSARIUM	108

STUDI KASUS:	
Studi Kasus: Dua pendekatan bisnis	6
Studi Kasus: Pembuangan kental yang terpusat di Sunrise Dam, Western Australia	23
Studi Kasus: Pembuangan sisa kental dan budidaya di kilang alumina Alcoa in Western Australia	25
Studi Kasus: Urukan tailing pasta di Tanami, Northern Territory	29
Studi Kasus: Penyimpanan tailing di dalam pit di Granites Gold Mine, Northern Territory	31
Studi Kasus: Rehabilitasi TSF di Benambra Mine, Victoria	78
Studi Kasus: Rehabilitasi Kolam B di Henty Gold Mine, Tasmania	81
Studi Kasus: Revegetasi langsung dari fasilitas penyimpanan tailing di Kidston Gold Mine, Queensland	89
Studi Kasus: Perencanaan penutupan TSF di Mt McClure, Western Australia	95

SAMBUTAN

Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan dikelola oleh komite pengarah yang diketuai oleh Departemen Perindustrian, Inovasi dan Sains (Department of Industry, Innovation and Science) Pemerintah Australia. Ketujuh belas tema yang ada di dalam program dikembangkan oleh kelompok kerja pemerintah, industri, penelitian, akademik dan masyarakat. Buku pegangan praktik kerja unggulan ini tidak mungkin dapat diselesaikan tanpa kerjasama dan partisipasi aktif dari semua anggota kelompok kerja. Kami mengucapkan terima kasih kepada mereka yang disebutkan di bawah ini yang telah berpartisipasi dalam revisi buku pegangan praktik kerja unggulan *Pengelolaan tailing (Tailings management)* serta para pemberi pekerjaan (employer) yang telah menyetujui untuk menyediakan waktu dan keahlian mereka untuk program ini:

KONTRIBUTOR	ANGGOTA	KONTAK
	Professor David Williams Chair—Tailings Management Working Group School of Civil Engineering The University of Queensland, Brisbane Qld 4072	D.Williams@uq.edu.au
	Professor Andy Fourie School of Civil & Resource Engineering The University of Western Australia, Perth WA 6009	andy.fourie@uwa.edu.au
	Andrew Minns Andrew Minns Consulting 99 Sir Donald Bradman Drive, Hilton SA 5033	andrewjminns@gmail.com
	Peter Scott General Manager, Australia O'Kane Consultants Limited, 193 Given Terrace, Paddington Qld 4064	pscott@okc-sk.com
	Rory Haymont General Manager, Australia Trajectory PO Box 980 Subiaco WA 6904	rory.haymont@trajectory.net.au

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada mereka yang berkontribusi dalam studi kasus dan meninjau buku pegangan yang direvisi ini, juga anggota komite pengarah dan para pemberi pekerjaannya yang telah menyetujui untuk menyediakan waktu dan keahlian mereka untuk program ini:

KONTRIBUTOR	ANGGOTA	KONTAK
	<p>David Brett Principal Engineer, Mine Waste & Water Management GHD, 2 Salamanca Square, Hobart TAS 7000</p>	<p>David.Brett@ghd.com</p>
	<p>Dr Jeff Taylor Director - Senior Principal Environmental Geochemist Earth Systems, Suite 17, 79-83 High Street, Kew Vic. 3101</p>	<p>jeff.taylor@earthsystems.com.au</p>
	<p>Dr Gary Bentel Independent Geotechnical, Tailings & Risk Consultant Perth WA</p>	<p>gary.bentel@aapt.net.au</p>
	<p>Dr Peter Chapman Associate, Golder Associates Pty Ltd, Level 3, 1 Havelock Street, West Perth WA 6005</p>	<p>pchapman@golder.com.au</p>

PRAKATA

Buku pegangan dalam seri *Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan (Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry)* telah diterbitkan untuk berbagi pengalaman dan keahlian Australia yang terkemuka di dunia dalam pengelolaan dan perencanaan tambang. Buku pegangan ini memberikan pedoman praktis tentang aspek-aspek ekonomi dan sosial dari semua tahapan ekstraksi mineral, mulai dari eksplorasi ke konstruksi, operasi dan hingga akhirnya penutupan tambang.

Australia adalah pemimpin dunia di bidang pertambangan, dan keahlian nasional kita telah digunakan untuk memastikan bahwa buku-buku pegangan ini memberikan bimbingan masa kini dan berguna pada praktik kerja unggulan.

Departemen Perindustrian, Inovasi dan Sains Australia telah memberikan manajemen teknis dan koordinasi untuk buku pegangan, bekerjasama dengan industri swasta dan para mitra pemerintah negara bagian. Program bantuan luar negeri Australia, yang dikelola oleh Departemen Luar Negeri dan Perdagangan, telah bersama-sama mendanai pembaharuan buku pegangan ini sebagai pengakuan terhadap peran utama dari sektor pertambangan dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan mengurangi kemiskinan.

Pertambangan adalah industri global, dan perusahaan-perusahaan Australia merupakan investor aktif serta penjelajah di hampir semua provinsi pertambangan di seluruh dunia. Pemerintah Australia mengakui bahwa industri pertambangan yang lebih baik berarti lebih banyak pertumbuhan, lapangan kerja, investasi dan perdagangan, dan bahwa manfaat ini harus mengalir melalui standar hidup yang lebih tinggi untuk semua orang.

Sebuah komitmen yang kuat untuk praktik kerja unggulan dalam pembangunan berkesinambungan sangat penting untuk keunggulan pertambangan. Dengan menerapkan praktik kerja unggulan memungkinkan perusahaan untuk memberikan nilai bertahan, menjaga reputasi mereka atas kualitas dalam iklim investasi yang kompetitif, dan memastikan dukungan yang kuat dari masyarakat setempat dan pemerintah. Memahami praktik kerja unggulan juga penting untuk mengelola risiko dan memastikan bahwa industri pertambangan memberikan potensi penuh.

These handbooks are designed to provide mine operators, communities and regulators with essential information. They contain case studies to assist all sectors of the mining industry, within and beyond the requirements set by legislation.

Kami merekomendasikan buku-buku pegangan *Praktik kerja unggulan* ini kepada Anda dan berharap Anda akan menemukan bahwa buku-buku tersebut praktis untuk digunakan.



Senator The Hon Matt Canavan

Menteri Sumber Daya dan
Australia Utara



The Hon Julie Bishop MP

Menteri Luar Negeri

1.0 PENDAHULUAN

Buku pegangan ini adalah versi *Pengelolaan tailing* yang telah direvisi dan diperbarui, yang diterbitkan oleh Departemen Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya Pemerintah Australia pada tahun 2007.

1.1 Konteks

Buku pegangan ini membahas tema pengelolaan tailing dalam Program Pembangunan Berkelanjutan Praktik Kerja Unggulan. Tujuan program ini adalah untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang mempengaruhi pengembangan berkelanjutan dalam industri pertambangan serta untuk menghasilkan informasi dan studi kasus yang menggambarkan dasar-dasar yang lebih berkelanjutan untuk operasi pertambangan.

Fasilitas penyimpanan tailing (Tailing Storage Facilities/TSF) permukaan adalah salah satu warisan budaya yang paling nampak dari operasi pertambangan, yang setelah penutupan dan rehabilitasi diminta agar tetap stabil dan tidak menghasilkan dampak yang akan selamanya merugikan lingkungan. TFS yang dirancang atau dikelola dengan buruk atau mengakibatkan meningkatnya biaya penutupan dan dampak yang terus berlanjut pada lingkungan, dan merupakan risiko selamanya terhadap kesehatan dan keselamatan publik.

TSF perlu dirancang, dibangun dan dioperasikan dengan standar tertinggi, dengan memperhitungkan kebutuhan akhirnya untuk penutupan dan rehabilitasi. Rencana penutupan dan rehabilitasi semakin mempengaruhi lokasi TSF dan pemilihan metode pembuangan tailing, sehingga dapat meminimalkan biaya penutupan, risiko masa depan untuk lingkungan dan warisan budaya untuk generasi mendatang. Seperti dijelaskan dalam Bagian 3, desain TSF harus dipadukan dalam rencana usia hidup tambang (LoM), sehingga solusi risiko yang paling hemat biaya dan berterima untuk penutupan dapat dikembangkan.

Strategi optimal pengelolaan tailing sangat khusus pada lokasi tertentu. Untuk alasan ini, telah disajikan berbagai pendekatan pengelolaan tailing. Khususnya, akan disorot dan dibahas aspek teknis utama dari penentuan lokasi, desain, bangunan, operasi dan penutupan.

Lokasi TSF, metode pembuangan, pendekatan terhadap pengelolaan air dan tujuan penutupan jangka panjang perlu didefinisikan secara jelas. Analisis keuangan dan teknis dari pilihan harus mengakomodir masalah sosial dan masyarakat tentang permasalahan lingkungan, estetika dan budaya. Demikian juga keputusan awal penentuan lokasi dan desain pembuangan, strategi pengelolaan tailing, penyimpanan dan penutupan yang diusulkan harus dikomunikasikan kepada pihak otorita dan masyarakat.

Sejumlah lokasi tambang bersejarah di Australia membawa warisan budaya negatif dampak lingkungan dan sosial dari TSF yang tidak dirancang dan dioperasikan untuk mencapai penutupan yang sukses; misalnya, Mt Lyell, Mt Morgan dan Rum Jungle. Dampak berkaitan dengan praktik pembuangan yang kurang patut, rembesan terkontaminasi dan dampak terkait ke permukaan air dan air tanah, serta erosi tailing dan batter luar. Lokasi-lokasi warisan budaya sejarah tidak mencerminkan pengelolaan tailing praktik kerja unggulan saat ini yang dituangkan dalam buku ini, meskipun operator mereka mungkin telah memenuhi praktik kerja unggulan saat itu.

1.2 Apakah tailing dan fasilitas penyimpanan tailing itu?

Tailing adalah kombinasi dari butiran halus (biasanya berukuran endapan dalam kisaran 0,001-0,6 mm) bahan padat yang tersisa setelah logam mulia dan mineral telah diekstraksi dari bijih yang ditambang, bersama-sama dengan air yang digunakan dalam proses pemulihan. Karakteristik fisik dan kimiawi tailing bervariasi dengan sifat bijih dan metode pengolahan. Pengelolaan tailing merupakan masalah pengelolaan proses limbah mineral.

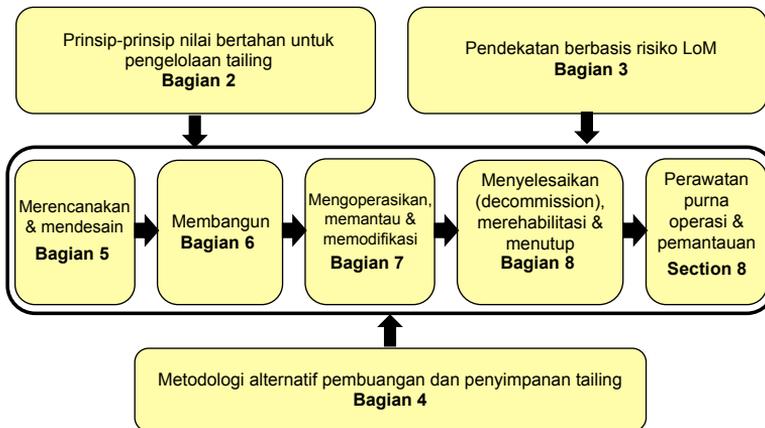
Tailing dapat disimpan dalam berbagai cara, tergantung pada sifat fisik dan kimiawi, lokasi topografi, kondisi iklim, peraturan dan kendala lingkungan, dan konteks sosial ekonomi di mana operasi tambang dan pabrik pengolahan berada. Tailing paling sering diangkut dalam bentuk lumpur (slurry) ke permukaan fasilitas penyimpanan, yang dapat menempati hingga setengah daerah gangguan pada operasi pertambangan, dan merupakan fokus utama buku ini. Tailing juga dapat disimpan dalam pit dan lahan limbah terpadu (DMP 2013). Persyaratan dasar TSF adalah untuk memberikan tempat penyimpanan tailing yang aman, stabil, non-polusi dan ekonomis, yang mengandung risiko kesehatan dan keselamatan publik serta dampak sosial dan lingkungan yang cukup rendah dan dapat diabaikan selama operasi dan setelah penutupan tambang.

Buku pegangan ini membahas pendekatan sistematis berbasis risiko terhadap pengelolaan tailing. Ini memberikan contoh bendungan, pembuangan dan rehabilitasi tailing, dan poin-poin ke tren masa depan dalam pengelolaan tailing. Ini tidak memberikan pertimbangan khusus pada metode penempatan tailing di perairan sungai, laut dangkal atau laut dalam. Metode tersebut tidak didukung oleh regulasi lingkungan atau ketentuan batimetri Australia.

1.3 Sasaran pembaca

Target utama buku pegangan ini adalah manajemen tambang di lapangan, tingkat penting untuk menerapkan praktik kerja unggulan di operasi penambangan. Buku pegangan ini juga relevan bagi mereka yang menaruh minat pada praktik kerja unggulan di industri pertambangan, termasuk petugas lingkungan, konsultan pertambangan, pemerintah dan regulator, organisasi non-pemerintah (LSM), masyarakat tambang dan mahasiswa. Para pembaca dianjurkan untuk menerima tantangan untuk terus berusaha meningkatkan kinerja industri pertambangan dalam hal pengelolaan tailing dengan menerapkan prinsip-prinsip yang dijabarkan dalam buku ini.

1.4 Struktur buku pegangan



Buku pegangan ini meliputi prinsip-prinsip kunci pencapaian nilai bertahan¹ melalui desain dan pengelolaan TSF berbasis risiko melalui semua tahap siklus hidup tailing, termasuk perencanaan dan desain, bangunan, operasi (menggabungkan pemantauan dan modifikasi yang diperlukan), dekomisioning (menggabungkan rehabilitasi dan penutupan atau penyelesaian kerja), dan perawatan purna operasi. Hal ini penting untuk mencakup semua aspek penyimpanan tailing LoM, yang mungkin melibatkan sejumlah TSF, masing-masing dikembangkan secara bertahap, seperti yang ditentukan oleh cadangan bijih dan harga komoditas yang berubah.

Bagian 2 menyoroti pentingnya menerapkan kerangka pengembangan berkelanjutan yang luas untuk pengelolaan tailing dan termasuk diskusi tentang pendorong bisnis, pelajaran yang didapat, nilai-nilai masyarakat dan konteks peraturan. Bagian 3 membahas perlunya pendekatan berbasis risiko LoM untuk pengelolaan tailing guna mencapai hasil yang berkelanjutan, yang mencakup risiko dan analisis risiko, metode analisis risiko, pedoman yang tepat, mengelola perubahan, dan efektivitas-biaya-dan-risiko. Bagian 4 meliputi pengeringan tailing, metodologi alternatif pembuangan dan penyimpanan, dan minimalisasi tailing, daur ulang dan digunakan kembali.

Bagian 5 sampai 8 menyajikan desain, bangunan, operasi, dan penutupan TFS. Bagian 5 tentang perencanaan penyimpanan tailing dan aspek desain, termasuk latar belakang dan kondisi dasar, perencanaan dan risiko desain, rencana LoM dan kriteria desain, serta aspek-aspek desain. Bagian 6 meliputi aspek bangunan TSF, termasuk risiko bangunan dan dokumen catatan bangunan. Bagian 7 membahas aspek operasional efektivitas, termasuk pengelolaan tailing praktik kerja unggulan, risiko operasional, pengendalian operasional, dan pelaporan. Bagian 8 mencakup penutupan dan rehabilitasi TSF, termasuk risiko penutupan, tujuan penutupan, kriteria dekomisioning, keterlibatan masyarakat, neraca air tailing penutupan, bentuk lahan penutupan dan kebutuhan perawatan pasca-penutupan.

Bagian 9 kesimpulan singkat dan arah masa depan.

Prinsip fundamental yang mendasari tanggung jawab dan praktik kerja unggulan pengelolaan tailing yang efektif agar dapat mencapai penutupan dan dekomisioning yang efektif.² Hal ini merupakan tujuan penting karena membahas aspek kewajiban jangka panjang TFS. Jika aspek tersebut tidak diperhitungkan secara memadai dan dini, maka akan dapat menambahkan ongkos-ongkos pembersihan dan biaya pemeliharaan untuk proyek yang signifikan dan terus berlanjut setelah penghasilan dari produksi mineral telah berhenti.

¹ Sebagaimana didefinisikan dalam *Nilai bertahan: kerangka kerja industri mineral Australia untuk bangunan berkelanjutan* (MCA 2004).

² Lihat dalam seri buku pegangan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a).

2.0 PENGEMBANGAN BERKELANJUTAN DAN TAILING

Pesan-pesan kunci

- *Nilai bertahan*, meliputi prinsip-prinsip bangunan berkelanjutan dan desain untuk penutupan, mendasari izin sosial industri pertambangan untuk beroperasi.
- Kegagalan atau buruknya kinerja suatu TSF dapat berdampak negatif yang cukup besar pada masyarakat dan lingkungan sekitarnya, serta dampak yang mendalam pada inti perusahaan dan kemampuan untuk mengembangkan proyek-proyek masa depan.
- Penyebab utama insiden tailing yang dilaporkan adalah kurangnya pengendalian neraca air, kepatuhan yang tidak memadai untuk merancang, pengendalian bangunan yang buruk, dan kurangnya pemahaman tentang fitur utama yang mengendalikan operasi yang aman.
- Awal dan kelanjutan konsultasi, berbagi informasi dan dialog dengan pemangku kepentingan yang diperlukan selama tahap desain, operasi dan penutupan.
- Metode penyimpanan tailing praktek kerja unggulan berusaha untuk menghilangkan risiko berpotensi bencana yang terkait dengan pelepasan lumpur tailing dari TSF oleh pengeringan tailing sebelum pengendapan dan dengan meminimalkan bendungan air di TSF tersebut.
- Kepatuhan terhadap pedoman industri yang diakui seperti yang dikeluarkan oleh Dewan Nasional Australia untuk Bendungan Besar (ANCOLD 2012a) dan dengan peraturan pemerintah yang berlaku menetapkan platform (pelantar) kinerja minimum untuk pengelolaan tailing yang berkelanjutan.
- Dari tahap perencanaan paling dini, penutupan berkelanjutan TSF membutuhkan penggabungan desain penutupan bentuk lahan yang akan mencapai kriteria dekomisioning yang telah disepakati dan memastikan tata guna lahan pasca-penambangan yang berkelanjutan, fungsi ekologis, atau keduanya.
- Transportasi dan penyimpanan tailing kering dapat lebih disukai daripada transportasi dan penyimpanan lumpur tailing konvensional, jika praktis dan berkelanjutan.

Guna menyediakan kerangka kerja untuk mewujudkan dan melaksanakan komitmen industri pertambangan untuk pengembangan berkelanjutan, Dewan Mineral Australia (MCA) yang mengembangkan *Nilai bertahan: kerangka kerja industri mineral Australia untuk bangunan berkelanjutan* (MCA 2004). Nilai bertahan mendukung diambalnya kebijakan untuk memastikan bahwa kegiatan saat ini di sektor mineral tidak membahayakan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Hal ini secara khusus ditujukan untuk mendukung perusahaan agar melampaui kepatuhan terhadap peraturan dan untuk meningkatkan izin sosial mereka untuk beroperasi. Buku pegangan ini mencerminkan pendekatan *Nilai bertahan* kerangka kerja berbasis risiko berkelanjutan.

Nilai bertahan: prinsip-prinsip untuk pengelolaan tailing

- Menerapkan sistem manajemen lingkungan berfokus pada perbaikan yang berkesinambungan untuk meninjau, mencegah, mengurangi atau memperbaiki dampak lingkungan yang merugikan.
- Memberikan penyimpanan dan pembuangan tailing yang aman dengan memadukan penyimpanan tailing dan perencanaan penutupan fasilitas ke dalam perencanaan aset hidup.
- Merehabilitasi lahan yang terganggu atau digunakan oleh operasi sesuai dengan tata guna lahan pasca-penambangan yang tepat.
- Berkonsultasi dengan pihak yang berkepentingan dan terkena dampak dalam identifikasi, penilaian dan pengelolaan semua yang penting dalam kesehatan, keselamatan, dampak lingkungan dan sosial ekonomi.
- Menginformasikan pihak yang berkemungkinan terkena dampak risiko yang signifikan dari pertambangan, mineral dan operasi logam serta tindakan yang akan diambil untuk mengelola potensi risiko secara efektif.

Sumber: Berdasarkan Kerangka kerja nilai bertahan MCA

2.1 Pendorong bisnis

Kasus bisnis untuk menerapkan praktik kerja unggulan dalam pengelolaan tailing sangat menarik. Kegagalan atau buruknya kinerja suatu TSF dapat berdampak besar pada inti perusahaan. Dalam kasus ekstrim, kegagalan TSF telah sangat mengikis nilai saham karena pasar mengantisipasi biaya untuk pembersihan dan gugatan kelompok (*class action*), penangguhan operasi dan mungkin penutupan tambang. Selain itu juga hilangnya reputasi perusahaan dan dicabutnya izin sosial untuk beroperasi. Biaya sistem pengelolaan tailing praktik kerja unggulan lebih dari imbalan oleh penurunan risiko insiden besar.

Insiden signifikan TSF di seluruh dunia yang dilaporkan terus meningkat sekitar dua per tahun, dan insiden berjumlah sama mungkin tidak dilaporkan. Bukti dari kegagalan TSF yang terkenal,³ seperti Aberfan pada tahun 1966, Merriespruit pada tahun 1994, Los Frailes pada tahun 1998, Kolontar pada 2010 dan Mount Polley pada 2014, menunjukkan bahwa kegagalan besar TSF tidak hanya dapat menyebabkan kematian, namun dapat (biasanya) mengakibatkan kerugian sepertiga dari kumpulan modal pasar, biaya pembersihan dan kerugian langsung yang lebih dari US\$100juta (dolar tahun 2014) dan biaya kemungkinan tuntutan kelompok hingga dua kali lipat (Vick 2014), dengan 60% rata-rata kemungkinan penutupan permanen tambang.

Pada bulan Mei 2016, BHP Billiton digugat secara hukum sejumlah US\$58 milyar di Brazil, setelah bobolnya bendungan tailing menewaskan 19 orang. Pengumuman gugatan bertepatan dengan penurunan 8% di harga saham perusahaan pada ASX.⁴

Analisis ekonomi konvensional dapat meminimalkan belanja modal awal dan menanggukkan biaya rehabilitasi. Analisis nilai sekarang (NPV) memberi diskonto (*discounts*) biaya berjalan (*current*) saat pengeluaran di masa depan pada pengelolaan penutupan, rehabilitasi dan pasca-penutupan. Oleh karena itu, jika perspektif ekonomi jangka pendek ini diambil dengan tanpa memperhitungkan biaya sosial dan lingkungan jangka panjang, hanya sedikit motivasi untuk berinvestasi lebih besar di tahap pengembangan guna menghindari atau mengurangi pengeluaran pada tahap penutupan. Walaupun demikian, terdapat sejumlah alasan, untuk menerapkan praktik kerja unggulan pada tahap awal pengembangan dan untuk merancang dan mengoperasikan TSF untuk mencapai hasil penutupan optimal.

Merancang dan mengoperasikan untuk mencapai penutupan TSF yang sukses dapat menghindari pengeluaran pekerjaan penggalian tanah yang signifikan untuk membangun kembali bentuk lahan dan sistem drainase yang

³ Lihat Proyek Uranium WISE, *Kronologi kegagalan bendungan tailing utama*, Maret 2016, <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>.

⁴ 'Jaksa Brasil mengajukan gugatan \$58 milyar terhadap perusahaan tambang milik BHP Billiton terhadap tumpahan bendungan yang fatal', Berita ABC, 4 Mei 2016, <http://www.abc.net.au/news/2016-05-04/brazil-files-billion-dollar-lawsuit-against-vale-bhp-for-dam/7381824>.

stabil. Rehabilitasi progresif, di mana mungkin selama operasi, memungkinkan biaya rehabilitasi dikurangi dengan menghilangkan penanganan ganda, memungkinkan pekerjaan untuk diselesaikan, sementara tersedia arus kas dan pengelolaan dan sumber daya operasional. Rehabilitasi progresif TSF memungkinkan berbagai pilihan rehabilitasi untuk diujicobakan dan dievaluasi terhadap kriteria dekomisioning sebelum penutupan, berpotensi mengurangi biaya peraturan yang berkelanjutan. Dengan menunjukkan keberhasilan pencapaian kriteria dekomisioning, pengelolaan tailing praktik kerja unggulan juga meminimalkan waktu yang dibutuhkan untuk pemantauan dan pemeliharaan pasca-penutupan. Studi kasus berikut ini menjelaskan dua pendekatan bisnis untuk perencanaan TSF.

Studi kasus: Dua pendekatan bisnis

Pendekatan upaya minimal and biaya awal modal minimal

TSF mungkin tidak sengaja menjadi terlalu kecil dan dengan demikian tidak dapat menangani throughput (hasil keluaran) tambang yang meningkat, yang mengakibatkan penimbunan tailing underconsolidated (disipasi air posi masih terjadi), berdensitas rendah dan berkekuatan lemah. Volume penyimpanan yang lebih besar pada akhirnya diperlukan untuk tailing. Tailing akan terus mengkonsolidasi dalam kurun waktu lama, sehingga kemungkinan dibutuhkan sumur pemulihan tanah untuk menangkap rembesan yang terkontaminasi untuk waktu yang panjang setelah penutupan. Akses ke permukaan tailing untuk tujuan rehabilitasi akan tertunda sampai tailing memperoleh kekuatan yang cukup untuk trafficking (pergerakan lalu lintas), dan settlement (proses stabilisasi) yang sedang berlangsung akan menunda penempatan sistem-sistem penutup. Pekerjaan penggalian tanah (earthwork) besar mungkin diperlukan untuk mengendalikan permukaan limpasan, dan sistem drainase dapat dipengaruhi oleh stabilisasi yang berbeda-beda sebagai konsolidasi tailing. Akibatnya, perusahaan pertambangan akan dipandang dengan kecurigaan oleh regulator dan pemangku kepentingan lain serta reputasi dan kapasitas untuk mendapatkan perizinan penambangan di masa depan akan rusak.

Pendekatan praktik kerja unggulan

Pertimbangan bentuk lahan akhir TSF mempengaruhi penentuan lokasi, ukuran, geometri, persyaratan pengendalian rembesan, dan strategi deposisi tailing. Operator akan terlatih baik dalam mengelola fasilitas sebagaimana dimaksud oleh perencana desain. Setiap variasi yang signifikan dalam atau perubahan pada throughput bijih, penggunaan parameter reagen, neraca air atau tailing dinilai untuk mengidentifikasi implikasi risikonya dan untuk menginformasikan keputusan. Pada penutupan, TSF akan dibentuk, dan jika perlu dengan pelindung/penguat, untuk drainase permukaan alami dan untuk mencapai tingkat erosi serupa dengan bentuk lahan alami di daerah. Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan, mencakup pengeringan (dewatering), pembuangan tailing dalam lapisan tipis untuk memfasilitasi konsolidasi dan pengeringan, pengelolaan air permukaan yang baik, serta drainase bawah dan, pengelolaan rembesan, jika sesuai, mengakibatkan konsolidasi yang memadai dan tailing stabil. Hal ini memungkinkan akses ke permukaan untuk tujuan rehabilitasi dengan penundaan yang minimal. Desain dan pengendalian rembesan yang memadai meniadakan kebutuhan untuk pengumpulan air tanah berjangka panjang. TSF adalah tempat pameran (showcase) bagi pengelolaan tailing yang bertanggung jawab, membangun kredibilitas bagi pemilik tambang dengan pemangku kepentingan dan reputasi untuk praktik pertambangan yang berkelanjutan, membantu perkembangan pertambangan yang diusulkan di masa depan.

2.2 Penyebab riwayat kegagalan TSF

Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan di Australia telah dikembangkan menarik pelajaran dari kegagalan dan insiden TFS di seluruh dunia. Bulletin 121 (2001) Komisi Internasional untuk Bendungan Besar (ICOLD) memberikan laporan komprehensif penyebab utama kegagalan TSF dan mengidentifikasi insiden yang meliputi:

- kurangnya pengendalian neraca air
- kepatuhan untuk merancang yang kurang memadai
- pengendalian bangunan yang buruk
- kurangnya pemahaman secara umum tentang fitur yang mengendalikan operasi yang aman.

Kegagalan dinding penahan tailing adalah (dalam urutan prevalensi) karena:

- ketidakstabilan lereng
- pembebanan gempa
- luberan
- fondasi tidak memadai
- rembesan.

Insiden tailing tampaknya lebih umum di mana bangunan hulu dikerjakan, dibandingkan dengan bangunan hilir (lihat Bagian 5.3), terutama di daerah seismik aktif. Dinding bendungan tailing dibangun dengan menggunakan metode hilir yang dilakukan mirip dengan tanggul penahan air.

Bulletin 121 (2001) COLD juga menyimpulkan bahwa perencanaan dan pengelolaan TSF yang sukses dapat memperoleh keuntungan yang besar dari:

- keterlibatan pemangku kepentingan
- penelitian menyeluruh dan penilaian risiko
- dokumentasi yang komprehensif
- pengelolaan tailing terpadu ke dalam perencanaan tambang, operasi dan penutupan.

Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan yang dijelaskan dalam buku ini mencerminkan perkembangan industri mineral Australia menuju desain berbasis risiko dan pengelolaan TSF, yang sejauh ini telah berhasil meminimalkan insiden tailing yang serius di negara ini.

2.3 Nilai-nilai masyarakat

Tantangan utama bagi perusahaan pertambangan untuk mendapatkan kepercayaan dari masyarakat di mana mereka beroperasi dan memperoleh dukungan dan izin dari pemangku kepentingan untuk melaksanakan bisnis pertambangan. 'Izin sosial untuk beroperasi' hanya dapat diperoleh dan dipertahankan jika proyek pertambangan direncanakan, diimplementasikan dan dioperasikan dengan memasukkan konsultasi yang bermakna dengan para pemangku kepentingan, khususnya dengan masyarakat tuan rumah. Proses pengambilan keputusan, termasuk di mana mungkin proses desain teknis, harus melibatkan kelompok kepentingan yang relevan, dari tahap awal konseptualisasi proyek sampai LoM dan seterusnya.

Konsultasi pemangku kepentingan, berbagi informasi dan dialog harus terjadi di seluruh tahap dari desain, operasi dan penutupan TSF, sehingga sudut pandang, keprihatinan dan harapan dapat diperhitungkan untuk semua aspek perencanaan dan pelaksanaan. Keterlibatan berkala dan bermanfaat antara perusahaan dan masyarakat yang terkena dampak sangat penting untuk mengembangkan kepercayaan dan mencegah konflik.

'Prinsip pencegahan' harus diperhitungkan pada saat mempertimbangkan dampak operasi tambang, khususnya TSF. Prinsip menyatakan bahwa di mana ada ancaman bahaya serius atau permanen pada orang atau lingkungan yang diidentifikasi dengan jelas, kurangnya kepastian ilmiah yang lengkap janganlah digunakan sebagai alasan untuk menunda tindakan pencegahan hal-hal yang membahayakan orang atau degradasi lingkungan. Sebuah pendekatan proaktif untuk mengurangi risiko melalui pengembangan dan implementasi pengendalian rekayasa yang tepat harus diambil di mana ada ketidakpastian yang signifikan dalam kaitannya dengan kemungkinan atau konsekuensi dari dampak-dampak lingkungan yang signifikan.⁵

5 Prinsip-prinsip dan praktik kerja unggulan untuk keterlibatan pemangku kepentingan dibahas dalam buku pegangan praktik kerja unggulan *Keterlibatan dan pengembangan masyarakat (Community engagement and development)* (DIIS 2016b) dan *Bekerja dengan masyarakat Pribumi (Working with Indigenous communities)* (DIIS 2016c).

2.4 Konteks peraturan

Tanggung jawab utama untuk regulasi tailing dan regulasi TSF di Australia bersandar pada pemerintah negara bagian dan teritori. Sedangkan persyaratan peraturan bervariasi antara yurisdiksi (wilayah hukum), prinsip-prinsip umum yang berlaku, mencakup berikut ini:

- Tanggung jawab regulasi untuk penimbunan tailing dan pengelolaan (termasuk rehabilitasi dan penutupan) berada pada departemen pertambangan atau badan perlindungan lingkungan.
- Tanggung jawab untuk pengendalian pencemaran dan regulasi pelepasan air TSF berada pada badan perlindungan lingkungan.
- Fokus regulasi adalah memastikan bahwa metode pengelolaan tailing dan TSF aman, stabil dan non-polusi selama operasi, dan bahwa TSF tetap aman, stabil dan tidak menimbulkan polusi setelah penutupan (ini memerlukan pertimbangan yang berkelanjutan dari desain penutupan, bangunan dan perawatan purna operasi sepanjang siklus hidup TSF).

Para regulator saat ini mengharapkan semua pengajuan desain TSF menunjukkan tanpa keraguan bahwa hasil yang berkelanjutan akan tercapai selama operasi dan setelah penutupan dengan aplikasi desain berbasis risiko praktik kerja unggulan yang:

- sepenuhnya menilai risiko yang terkait dengan penyimpanan tailing pada lokasi tertentu
- membandingkan kesesuaian semua metode penyimpanan tailing yang tersedia, khususnya yang melibatkan pengeringan tailing dan/atau meniadakan kebutuhan untuk bendungan kelebihan air dalam TSF
- menunjukkan bahwa metode penyimpanan tailing yang dipilih akan mengelola semua risiko dalam tingkat yang berterima dan serendah mungkin (ICOLD 2013).

Di beberapa negara bagian, regulasi desain, bangunan dan pengelolaan TSF yang sedang berlangsung dapat dilindungi oleh undang-undang khusus. Beberapa yurisdiksi mengeluarkan pedoman pengelolaan tailing mereka sendiri.⁶ Misalnya, di New South Wales, Komite Keselamatan Bendungan mengawasi regulasi tailing bendungan di bawah *UU Keselamatan Bendungan 1978*. Di Western Australia, Departemen Pertambangan dan Perminyakan telah mengembangkan kode praktik (DMP 2013) untuk TSF dengan tujuan:

- memenuhi persyaratan perizinan pertambangan dan undang-undang terkait pertambangan
- menunjukkan bahwa TSF aman, stabil, tahan erosi dan non-polusi
- memastikan keterlibatan praktisi yang kompeten
- memenuhi persyaratan kesehatan dan keselamatan kerja untuk operasi TSF yang lebih luas.

Di mana tindakan pengelolaan tailing cenderung berdampak signifikan pada masalah penting lingkungan nasional, tindakan tersebut tunduk pada penilaian yang ketat dan proses perizinan di bawah *UU Perlindungan Lingkungan dan Konservasi Keanekaragaman Hayati Persemakmuran 1999* (EPBC Act). Hal-hal yang tercakup dalam EPBC Act adalah warisan budaya nasional alami, spesies terancam dan lahan basah penting internasional.

Kepatuhan terhadap peraturan pemerintah mendirikan platform kinerja minimal bagi industri pertambangan dalam kaitannya dengan pengelolaan tailing.

⁶ Lihat bagian referensi di bagian akhir buku pegangan ini.

3.0 PENDEKATAN BERBASIS RISIKO LOM

Pesan-pesan kunci

- Fasilitas penyimpanan tailing harus dirancang, dioperasikan, ditutup dan direhabilitasi untuk memastikan risiko keamanan bagi operator serta kesehatan umum dapat diabaikan, dan dampak-dampak masyarakat dan lingkungan rendah dan berterima.
- Pendekatan desain berbasis risiko menyediakan kerangka kerja untuk mengelola ketidakpastian dan perubahan yang terkait dengan TSF.
- Para pemangku kepentingan, termasuk masyarakat dan regulator, berharap perencana desain TSF untuk mengidentifikasi semua risiko yang terkait dengan penyimpanan tailing di tempat tertentu dan untuk menunjukkan bahwa metode penyimpanan tailing yang dipilih akan dikelola dalam tingkat yang berterima dan serendah mungkin.
- Strategi pengelolaan tailing alternatif, khususnya yang meniadakan kebutuhan untuk waduk berpermeabilitas rendah dan meminimalkan kelebihan air yang tersimpan melalui pengeringan tailing atau pengelolaan air permukaan yang baik, perlu dievaluasi secara menyeluruh untuk biaya dan efektivitas-risiko selama masa siklus penuh TSF, termasuk setelah penutupan.
- Pengoperasian pengelolaan tailing berbasis risiko membutuhkan pengamatan kinerja yang berkesinambungan dan pemantauan dan respons yang cepat untuk setiap indikator yang menuntun ke kegagalan atau kemungkinan dampak, sehingga memastikan semua risiko dikelola secara efektif bahkan dalam situasi yang selalu berubah.

Prinsip-prinsip pengelolaan tailing praktik kerja unggulan didukung oleh pendekatan berbasis risiko untuk perencanaan, desain, bangunan, operasi, penutupan dan rehabilitasi TSF. Dalam pendekatan ini, rencana perlu disesuaikan untuk mengelola TSF secara efektif selama siklus hidup penuh, dengan rincian yang memadai untuk mengelola potensi risiko dalam batas yang berterima. TSF dengan kategori konsekuensi tinggi memerlukan kecermatan yang lebih ketat pada tahap desain, pengendalian kualitas yang lebih besar selama bangunan, dan lebih memperhatikan manajemen risiko, sistem perencanaan tindakan darurat dan dokumentasi selama tahap operasional dan penutupan.

3.1 Risiko dan analisis risiko

Ada banyak definisi risiko. *Pengelolaan lingkungan praktik terbaik di bidang pertambangan* (Environment Australia 1999) mendefinisikan bahaya (hazard) sebagai penyebab potensi kerugian/kecelakaan (harm); menggambarkan risiko memiliki dua dimensi—kemungkinan dan konsekuensi; dan mendefinisikan risiko sebagai kemungkinan kerugian/kecelakaan.

Analisis risiko memungkinkan kuantifikasi pilihan dan dari kemungkinan tersebut, konsekuensi dan biaya kegagalan. Suatu 'peringkat risiko' diperoleh dengan produk kemungkinan dan konsekuensinya.

AS/NZS ISO 31000:2009 (yang menggantikan AS/NZS 4360:2004) menyarankan proses penilaian risiko sebagai berikut:

- Menetapkan konteks—secara geografis, sosial dan lingkungan—serta memutuskan kriteria desain.
- Mengidentifikasi bahaya—apa yang dapat terjadi, di mana dan kapan, dan bagaimana dan mengapa?
- Analisis risiko—mengidentifikasi kendali yang ada dan menentukan kemungkinan dan konsekuensi, dan karenanya tingkat risiko.
- Mengevaluasi risiko—membandingkannya dengan kriteria desain, melaksanakan analisis sensitivitas untuk menyoroti kedua risiko utama dan yang tidak penting, menetapkan prioritas, dan memutuskan apakah risiko perlu diatasi.
- Menanggulangi risiko yang dipilih—mengidentifikasi dan menilai pilihan, mempersiapkan dan melaksanakan rencana pengolahan, serta menganalisis dan mengevaluasi risiko residual.

Memayungi proses ini adalah kebutuhan untuk berkomunikasi dan berkonsultasi dengan para pemangku kepentingan, dan untuk memantau dan meninjau TSF tersebut. *Manajemen risiko* ISO 31000 memberikan prinsip-prinsip, kerangka kerja dan proses untuk mengelola risiko. Hal ini dapat digunakan oleh organisasi apa saja, terlepas dari ukuran, kegiatan atau sektor. Menggunakan ISO 31000 dapat membantu organisasi meningkatkan kemungkinan mencapai tujuan, meningkatkan identifikasi peluang dan ancaman, dan efektif dalam mengalokasikan dan menggunakan sumber daya untuk penanganan risiko. ISO 31000 tidak dapat digunakan untuk tujuan sertifikasi, tetapi memberikan pegangan untuk program audit internal atau eksternal. Organisasi yang menggunakannya dapat membandingkan praktik manajemen risiko dengan patokan yang diakui secara internasional, memberikan prinsip-prinsip yang logis untuk manajemen yang efektif dan tata kelola perusahaan.

3.2 Metode-metode analisis risiko

Berbagai metode analisis risiko digunakan oleh konsultan desain dan perusahaan pertambangan yang berbeda, tergantung pada skala dan kompleksitas risiko tailing yang sedang dievaluasi atau dinilai. Jenis utama dari metode analisis risiko adalah:

- Evaluasi risiko kualitatif—mencakup identifikasi bahaya, kemungkinan, konsekuensi, peringkat risiko dan tindakan perbaikan. Evaluasi risiko kualitatif biasanya digunakan untuk desain yang kurang kompleks dan permasalahan operasional.
- Metode semi-kuantitatif dan kuantitatif—memberi kemungkinan untuk bahaya yang terdefinisi jelas dan terukur. Metode ini (lihat ANCOLD 2012a) digunakan untuk konsekuensi kegagalan bendungan yang lebih tinggi dalam keadaan yang lebih kompleks, dan terkadang memerlukan sejumlah besar data yang dikumpulkan untuk mendukung keterkaitan probabilistik rumit yang dapat menyebabkan bencana kegagalan bendungan.

Metode semi-kuantitatif dan kuantitatif mengandalkan menetapkan nilai numerik untuk kemungkinan dan konsekuensi. Metode kuantitatif yang paling umum digunakan adalah metode analisis pohon kesalahan/peristiwa (fault/event tree) (FTA/ETA) berdasarkan berkemungkinan (diringkas, misalnya, oleh Williams tahun 1997, Bowden et al. 2001 dan Williams 2001, yang juga menyediakan studi kasus), yang diatur sebagai serangkaian kesalahan dan peristiwa (kejadian), biasanya dalam kertas kerja (spreadsheet). Dalam menerapkan metode ini, peristiwa kunci atau hasil pertama harus diidentifikasi, seperti kegagalan TSF dengan potensi hilangnya nyawa dan/atau kerusakan properti. Ini merupakan puncak pohon peristiwa. Penyebab atau modus kegagalan yang mungkin menyebabkan peristiwa utama ini kemudian diidentifikasi. Mereka membentuk puncak dari cabang-cabang pohon kesalahan. Masing-masing penyebab ini memiliki berbagai kontribusi sub-penyebab, beberapa di antaranya berkontribusi lebih dari satu penyebab.

3.3 Pedoman berbasis risiko

Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan mensyaratkan agar TSF dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan direhabilitasi untuk mengelola semua risiko dalam tingkat yang berterima dan serendah mungkin untuk memastikan kinerja yang memenuhi atau melampaui persyaratan peraturan dan kriteria yang telah disetujui melalui konsultasi dengan pemangku kepentingan utama.

Pedoman bendungan tailing: perencanaan, perancangan, bangunan, operasi dan penutupan (Guidelines on tailings dams: planning, design, construction, operation and closure) (ANCOLD 2012a) memberikan dasar yang baik untuk desain berbasis risiko dari sistem tailing. Dengan input kolaborasi dari konsultan ahli desain TSF, perwakilan perusahaan pertambangan dan regulator, pedoman ANCOLD menyediakan kerangka kerja prinsip-prinsip manajemen, kebijakan manajemen dan daftar periksa untuk menerapkan kerangka sepanjang siklus hidup dari TSF.

3.4 Mengelola perubahan

Sistem tailing berbasis risiko harus memastikan bahwa perubahan keadaan dapat dikelola secara efektif. Perubahan dapat melibatkan rutin dan yang terantisipasi yang ditimbulkan, ekspansi tak terduga atau membawa serangkaian fasilitas TFS yang benar-benar baru, metodologi pembuangan baru atau jenis bijih. Mengelola perubahan tersebut harus menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan, desain, bangunan, penutupan dan rehabilitasi TSF. Ulasan rekan ahli geoteknis independen (netral) dan bendungan, termasuk oleh tim ahli untuk bendungan yang lebih kompleks, adalah komponen penting dalam manajemen risiko yang efektif.

Situasi yang berubah dapat menyebabkan peningkatan dampak lingkungan dan risiko kegagalan, dan kemungkinan tanggapan sebagai berikut:

- Meningkatkan throughput pabrik pengolahan dan/atau LoM—membutuhkan peninggian dan/atau perluasan TSF yang sudah ada dan/atau bangunan fasilitas baru. Peningkatan laju generasi tailing akan membutuhkan perizinan dan bangunan fasilitas penyimpanan untuk diusulkan agar memberikan tailing yang memadai dan kapasitas air hujan (stormwater) pada waktunya untuk mencegah timbulnya masalah.
- Perubahan sifat atau sumber bijih dan/atau perubahan cut-off grade (COG)—mungkin melibatkan penggilingan yang lebih halus, yang kemungkinan besar akan meningkatkan kebutuhan penyimpanan tailing dan menghasilkan endapan tailing yang lebih basah, dan lebih lembut. Kehilangan rangkaian pengolahan akan memiliki dampak yang sama. Perubahan pada desain lapisan pelindung pada penutupan dan langkah-langkah air mungkin diperlukan saat bijih yang berlawanan diperkenalkan ke TSF.
- Perubahan pada proses—berpotensi mengubah tingkat generasi tailing, konsentrasi padatan dan/atau sifat fisik dan kimiawinya.
- Menipisnya sumber air—kemungkinan peningkatan pengeringan tailing sebelum dibuang untuk memulihkan lebih banyak air untuk digunakan kembali sebelum hilang di penguapan dan rembesan.
- Curah hujan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari biasanya—membutuhkan sistem pengelolaan air diubah secara signifikan. Curah hujan yang lebih rendah dari curah hujan normal dapat memerlukan sumber pasokan tambahan air hasil pengolahan. Curah hujan yang lebih tinggi dari curah hujan normal dapat memerlukan peninggian dinding untuk membuat kapasitas tambahan penyimpanan air, membangun fasilitas penyimpanan air yang terpisah, atau pengolahan air tambang untuk memungkinkan dilepaskan ke lingkungan.
- Persyaratan perizinan dan harapan masyarakat yang berubah—dapat berubah seiring waktu.
- Penutupan tambang dan TFS sebelum waktunya (premature) atau tiba-tiba—mungkin mengakibatkan endapan tipis tailing melalui jejak (footprint) besar, membutuhkan pengelolaan dan rehabilitasi yang mahal. Kemungkinan dan implikasi dari penutupan dini (prematur) harus dipertimbangkan selama tahap operasional.

3.5 Efektifitas ongkos dan risiko

Strategi alternatif penyimpanan dan biaya penutupan tailing biasanya dapat dengan akurat dihitung untuk dimasukkan ke dalam analisis keuangan (lihat, misalnya, Bentel 2009) yang memungkinkan perbandingan tertimbang alternatif efektifitas ongkos dan risiko. Desain dan strategi TFS tercakup dalam perbandingan efektifitas keuangan dan risiko tersebut yang mencakup pertimbangan yang tepat dari pendapat dan kekhawatiran pemangku kepentingan.

Daya tarik pengurangan biaya tailing dalam jangka pendek harus ditimbang secara berhati-hati terhadap kemungkinan peningkatan biaya lingkungan dan sosial serta risiko pada penutupan dan seterusnya. Proses pengambilan keputusan membutuhkan evaluasi yang kuat dan fleksibel dari biaya dan risiko penyimpanan, operasi dan penutupan TSF di seluruh siklus hidup TSF.

Risiko kesehatan dan keselamatan publik dan dampak sosial dan lingkungan yang luas dari TSF perlu dipertimbangkan, termasuk situasi di mana pencemar dapat dilepaskan ke lingkungan dalam jangka panjang. Harus ada juga tingkat kepercayaan yang tinggi bahwa desain yang diusulkan akan memungkinkan keberhasilan penutupan fasilitas. Jika hal ini tidak dilakukan secara menyeluruh dan obyektif, dan jika tidak dilakukan tindakan di seluruh siklus hidup tambang untuk mengurangi kewajiban pasca-penutupan potensial, biaya mitigasi kewajiban tersebut dapat melebihi keuntungan dan manfaat lain yang masih harus dibayar selama LoM (Bentel 2009).

3.6 Kriteria kewajiban dan criteria penyelesaian

Penutupan TSF permukaan memberikan kompleksitas yang signifikan, termasuk kriteria desain pasca-penutupan yang setidaknya urutan besarnya lebih besar dari kriteria desain operasional (ANCOLD 2012a), membuat kriteria dekomisioning jauh lebih sulit untuk dicapai. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan risiko desain penutupan dan kriteria desain dari tahap awal proyek sehingga penutupan yang sukses dapat difasilitasi melalui desain, operasi dan pemeliharaan praktik kerja unggulan.

4.0 PEMBUANGAN DAN PENYIMPANAN TAILING

Pesan-pesan kunci

- Metode pembuangan dan penyimpanan tailing adalah fungsi tingkat pengeringan pra-pembuangan yang diterapkan pada tailing (apakah di pabrik pengolahan atau di TSF sebelum pembuangan), dan mencakup pembuangan lumpur, pembuangan pengentalan dan pasta, susun kering dan pembuangan gabungan dengan limbah butiran kasar.
- Pembuangan dan penyimpanan umum lumpur tailing dalam TSF permukaan dapat mengakibatkan peresapan (infiltration) yang lebih besar pada fondasi bawahnya yang terjadi secara alami hanya karena curah hujan semata.
- Sistem pengurasan (decant) untuk pengumpulan supernatan air tailing dari lumpur konvensional dan pembuangan tailing kental, serta curah limpasan hujan dari tangkapan TSF, termasuk pusat, perimeter, dan kurasan mengambang.
- Tailing dapat disimpan dalam fasilitas permukaan, disimpan dalam pit atau digunakan sebagai urukan di rongga (void) tambang bawah tanah.
- Topografi lokasi TSF permukaan menentukan apakah penyimpanan lembah atau penyimpanan gili lingkaran yang diperlukan.
- Transportasi tailing dengan memompa dalam saluran jaringan pipa tetap metode yang paling umum digunakan, biasanya melibatkan pengoptimalan pengentalan tailing sehingga masih dapat dipompa menggunakan pompa sentrifugal dan jaringan pipa tekanan rendah, sementara masih cukup mengalir pada pelepasan untuk memastikan penyebaran yang efektif dari tailing di seluruh TSF tanpa gerakan berlebihan dari pelepasan jaringan pipa.
- Dinding atau bendungan TSF permukaan dapat dibangun, biasanya dalam serangkaian tahapan, dengan metode hilir, tengah atau hulu, garis tengah (pusat) atau hilir, menggunakan bahan urukan, limbah tambang atau tailing yang dipanen.

4.1 Pengeringan dan pengentalan tailing

Peningkatan jumlah operasi pertambangan menerapkan pengeringan untuk memproduksi tailing kental dan pasta (Gambar 1) dan ini cenderung menjadi lebih luas di masa depan. Keterbatasan masa lalu untuk keberhasilan transportasi tailing yang kental adalah biaya atau kurang tepatnya teknologi flokulan dan pengental. Saat ini, teknologi pengental telah berkembang jauh melampaui pengental konvensional untuk menghasilkan kepadatan aliran bawah yang tinggi, dan biaya pengentalan telah jauh berkurang. Pengental ini berkisar dari pengental sistem deep bed (biasanya digunakan untuk lumpur merah) sampai ke pasta atau tangki dalam pengental yang dikembangkan untuk produksi urukan tailing pasta bersemen untuk aplikasi bawah tanah (Potvin et al. 2005).

Gambar 1: Tailing pasta: (left) urukan semen bawah tanah; (right) pembuangan permukaan



Konsentrasi padatan yang dicapai pada pengeringan bervariasi untuk tailing yang berbeda, karena distribusi ukuran partikel, kandungan mineral tanah liat, bentuk partikel, mineralogi, gaya elektrostatik dan flokulan dosis bervariasi. Tabel 1 memperlihatkan beberapa konsentrasi lumpur dan pasta padat (rasio massa padat ke massa padat ditambah air) khas untuk berbagai jenis tailing.

Tabel 1: Konsentrasi lumpur dan pasta padat yang biasa

JENIS-JENIS TAILING	PASOKAN % PADAT	PASTA % PADAT
Lumpur bauksit merah	25	45
Tailing metal dasar	40	75
Tailing batubara	25-30	-
Tailing emas	45	72
Lendiran pasir mineral	15	24
Tailing nikel	35	45 sampai dengan 55

Sumber: Williams & Williams (2004).

Karena konsentrasi padatan sangat bervariasi dari tailing lumpur, kental dan pasta dari sumber bijih yang berbeda, konsistensi tailing dari konsentrasi padatan yang berbeda lebih baik diukur dari segi perilaku fisiknya. Kerucut uji kekenyalan (slump) terkadang digunakan untuk menggambarkan konsistensi tailing kental atau pasta untuk meningkatkan konsentrasi padatan (Gambar 2). Karakteristik fisik tailing dapat digambarkan secara kuantitatif oleh tegangan luluhnya (yield stress), seperti yang dijelaskan dalam Jewell & Fourie (2006).

Gambar 2: Konsistensi tailing: (kiri) lumpur densitas tinggi; (tengah) pasta dengan kekenyalan tinggi; (kanan) pasta dengan kekenyalan rendah



Pada pelepasan, lumpur tailing memisahkan diri, dengan partikel yang lebih kasar dan partikel dengan berat jenis lebih tinggi yang ditimbun (deposited) di pantai atas, dan menghasilkan air supernatan berjumlah besar yang membawa partikel yang lebih halus dan partikel dengan berat jenis lebih rendah ke kolam penguras air. Pemisahan dan pengendapan hasil partikel dalam lengkungan signifikan dari profil pantai (menjadi lebih datar di bagian lebih ke bawah pantai). Tailing yang kental menunjukkan beberapa segregasi, menetap dan merembes (bleed) pada penempatan, disertai oleh beberapa kelengkungan profil pantai. Tailing pasta memiliki konsistensi non-segregasi (tidak memisahkan diri), tidak mengendapkan (non-settling) yang melepaskan hanya sejumlah kecil air setelah penempatan.

Keuntungan menggunakan tailing kental atau pasta mencakup:

- kualitas air ditingkatkan dan proses pemulihan bahan kimiawi di pabrik pengolahan
- berpotensi mengurangi volume penyimpanan tailing, meskipun volume tailing lumpur dapat dikurangi secara dramatis oleh pengeringan
- mengurangi rembesan
- bentuk lahan yang lebih stabil.

Keuntungan tersebut merupakan pertimbangan utama untuk bangunan berkelanjutan dan mencerminkan harapan masyarakat. Jewell & Fourie (2006) memberikan referensi yang komprehensif dan definitif tentang teknologi ini.

Tailing dapat dibawa ke keadaan 'seperti-zat padat' dengan sentrifugasi atau filtrasi (Gambar 3), menghasilkan konsistensi yang berpotensi pergerakan lalu lintas dengan truk atau konveyor. Untuk tailing tertentu, baik dari teknik ini dapat menghasilkan kue berkadar air yang sama atau pun persentase padatan, tetapi tekanan yang lebih besar diterapkan dalam proses penyaringan akan membuat 'struktur' yang membuat kue filtrasi (filtration cake) lebih mudah diangkut dan dikelola (Gambar 3).

Gambar 3: Konsistensi tailing: (kiri) diputar (centrifuged); (kanan) disaring

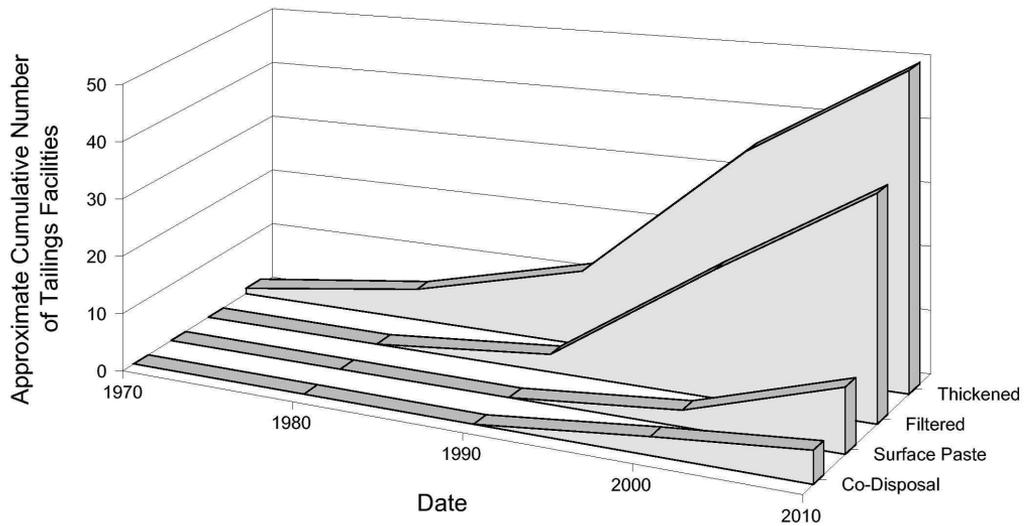


4.2 Metode pembuangan tailing

Metode pembuangan tailing meliputi pembuangan lumpur tailing, kental dan pasta, susun kering dan pembuangan gabungan dengan limbah butiran kasar, termasuk batubara kasar sisa tambang, scat atau slag peleburan metal, dan batuan sisa atau rusak.

Pemilihan metode pembuangan tailing yang tepat dan optimal untuk suatu proyek tertentu merupakan fungsi sejauh mana pengeringan pra-pembuangan diterapkan pada tailing, yang pada gilirannya merupakan fungsi reologi dan transportabilitas dari tailing, reaktivitas kimiawi dan biologi tailing, kebutuhan air kembali, kualitas air hasil pengolahan dan kesesuaian untuk daur ulang ke pabrik pengolahan, dan ketersediaan air baku untuk pengolahan. Pemilihan ini juga dipengaruhi oleh kondisi iklim lokasi, topografi, jarak ke dan elevasi lokasi TSF yang dipilih relatif terhadap tanaman, dan ketentuan yang diberlakukan oleh regulator. Ada kecenderungan yang meningkat di seluruh dunia terhadap pra-pembuangan tailing kental dan saringan, dengan beberapa peningkatan permukaan pembuangan tailing dan pasta pembuangan gabungan tailing dan limbah butiran kasar, seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 4.

Gambar 4: Tren dalam pengentalan, penyaringan dan pembuangan tailing



Sumber: setelah Davies (2011).

4.2.1 Pembuangan lumpur tailing

Tailing biasanya dipompa sebagai lumpur dalam jaringan pipa dan dibuang di bawah air (sub-aerially) menjadi TSF permukaan (Gambar 5). Konsistensi lumpur (% padatan massa) tergantung pada jenis tailing, distribusi ukuran partikel dan berat jenis, dan sejauh mana pengentalan di pabrik pengolahan. Lumpur tailing biasanya dipompa pada 25% padatan (untuk tailing batubara berat jenis rendah) untuk lebih dari 50% (untuk tailing batu keras berlogam), seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Pada konsentrasi padatan rendah, volume air tailing tahunan dapat berkali lipat curah hujan tahunan di daerah beriklim kering seperti di Australia. Oleh karena itu, pembuangan tailing lumpur menjadi TSF permukaan berpotensi mengakibatkan hilangnya air secara bertahap lebih besar melalui penguapan dan rembesan jika tidak dikendalikan dan dikelola dengan baik. Rembesan ke fondasi bawahnya dan melalui dinding TSF dapat berpotensi jauh lebih besar daripada terjadi hanya secara alami karena curah hujan saja, terutama pada iklim kering.

Pembuangan lumpur mungkin dari titik pelepasan sekali saja, atau, lebih disukai, dari keran (spigots) majemuk. Keran majemuk memiliki keunggulan dibandingkan titik pelepasan tunggal, mencakup:

- produksi pantai tailing lebih rata
- pencapaian kendali yang lebih besar ke arah pantai tailing dan karenanya atas arah air supernatan dan limpasan permukaan menuju ke kolam pengurasan
- penimbunan tumpukan tailing yang tipis dan terkendali, dan pemutaran penimbunan tailing untuk memfasilitasi konsolidasi dan pengeringan di seluruh kedalaman tailing yang disimpan
- fasilitasi peninggian hulu, bersama dengan potensi untuk menggunakan tailing kering, berbutir kasar, ditimbun di dekat dinding untuk peninggian dinding.

Sistem pengurasan untuk pengumpulan air supernatan dari pembuangan tailing lumpur dan kental konvensional, serta limpasan curah hujan dari daerah tangkapan TSF, termasuk penguras yang terletak di pusat, melingkar dan mengambang.

4.2.2 Pembuangan tailing kental dan pasta

Pengentalan tailing di pabrik pengolahan sebelum dibuang memungkinkan air hasil pengolahan untuk didaur ulang langsung kembali ke pabrik, mengurangi kehilangan air dan mengurangi kebutuhan air baku tanaman. Berbagai teknologi pengentalan tersedia; yang paling umum diterapkan dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Teknologi pengentalan yang biasa diterapkan

KONSISTENSI TAILING	PERSYARATAN PERALATAN PENGENTALAN
Lumpur (slurry)	Pengental konvesional atau tingkat tinggi
Kental	Pengental dengan sistem kompresi tinggi
Pasta dengan kekenyalan tinggi	Pengental sistem deep bed
Pasta dengan kekenyalan rendah atau kue saringan	Saringan

Sumber: Williams & Williams (2004).

Tailing kental mengurangi jumlah air yang dikirim ke TSF. Hal ini pada gilirannya akan mengurangi risiko luberan dan mengurangi kehilangan rembesan dan penguapan. Selanjutnya, juga mengurangi risiko kegagalan tanggul penahan air TSF dengan menurunkan ketinggian kolam dan mengurangi permukaan air tanah (phreatic) dalam tanggul. Pelepasan tailing kental juga memungkinkan kendali yang lebih baik dari kolam penguras dan mengembalikan sistem air. Di mana tailing dibuang ke fasilitas penyimpanan permukaan, sudut pantai penimbunan curam sementara tailing dilepaskan pada konsistensi lebih kental, dan pengurangan kadar air, pada gilirannya, mengurangi risiko bendungan. Hubungan khusus antara konsistensi penempatan dan sudut rata-rata pantai untuk tailing yang dipompa diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Hubungan yang biasa antara konsistensi penempatan dan sudut rata-rata pantai

KONSISTENSI PENEMPATAN	SUDUT PANTAI (%)
Lumpur/slurry	Sampai dengan 1
Kental	1 sampai dengan 3
Pasta dengan kekenyalan tinggi	3 sampai dengan 6
Pasta dengan kekenyalan rendah ^a	6 sampai dengan 10

^a Perhatikan bahwa bahkan tailing pasta dengan kekenyalan tinggi jarang diproduksi untuk pembuangan permukaan, dan diketahui pernah ada pelepasan pasta dengan kekenyalan rendah ke TSF permukaan.

Gambar 5 memperlihatkan pembuangan lumpur tailing secara konvensional

Gambar 5: Pembuangan lumpur tailing secara konvensional



4.2.3 Susun kering

Susun kering yang benar membutuhkan penyaringan tailing flokulasi, biasanya di bawah tekanan atau mungkin di bawah vakum (Davies 2011), untuk menghasilkan produk yang diangkut dan dapat disusun menggunakan teknik transportasi bahan 'kering' dan pembuangan. Istilah susun kering (dry stacking) terkadang disalahgunakan saat mengacu pada teknik pembuangan tailing kental dan/atau pasta yang tidak memindahkan tailing dalam keadaan kering.

Drum, piring horizontal atau vertikal ditumpuk dan sabuk horizontal merupakan metode filtrasi tekanan paling umum. Kedua gradasi tailing dan mineraloginya merupakan penentu penting dalam desain filtrasi. Secara khusus, proporsi tinggi dari mineral tanah liat cenderung membatasi filtrasi efektif, seperti halnya beberapa mineral sisa (residu), misalnya aspal di tailing pasir minyak. Hal ini penting untuk mengantisipasi mineralogi dan perubahan penggilingan yang dapat terjadi selama LoM sebagai operasi pertambangan bergerak melalui berbagai tubuh bijih.

Tailing yang telah disaring diangkut dengan truk atau konveyor, dan kemudian dapat ditempatkan, disebar, dan dipadatkan untuk membentuk tailing 'dry stack' jenuh, padat dan stabil, dalam beberapa kasus, seperti tailing geokimia jinak, tidak memerlukan bendungan untuk retensi dan tidak ada tailing terkait kolam (Gambar 6).

Gambar 6: Tailing susun kering dan saringan diangkut dengan konveyor and dipadatkan oleh bulldoser.



Filtrasi dan susunan tailing biasanya diperhitungkan di daerah-daerah yang sangat gersang di mana konservasi air sangat penting, terutama di daerah gurun Chili dan Peru, tetapi juga di Western Australia, barat daya Amerika Serikat, bagian gersang Amerika Selatan, beberapa bagian Afrika, dan daerah Kutub Kanada dan Rusia, di mana penanganan tailing sangat sulit di musim dingin yang beku. Filtrasi meningkatkan pemulihan reagen proses, dan susun kering memberikan metode peningkatan stabilitas seismik penimbunan tailing basah. Susun kering juga dapat mengatasi lokasi topografi dan pondasi kondisi sulit, atau lokasi yang sangat dibatasi, yang membuat bendungan tailing konvensional sangat sulit untuk dibangun. Susun kering juga memfasilitasi rehabilitasi, termasuk rehabilitasi progresif, sehingga mengurangi risiko dan kewajiban penutupan. Dua pendorong utama filtrasi dan susun kering tailing saat ini telah menjadi pemulihan air hasil pengolahan yang langka dan kondisi topografi dan pondasi yang sulit.

4.2.4 Pembuangan gabungan limbah butiran kasar dan tailing

Pembuangan gabungan limbah butiran kasar dan tailing dari tambang menyediakan cara untuk mengurangi volume atau jejak yang dibutuhkan untuk menyimpan limbah yang terpisah yaitu dengan cara pengurukan tailing ke ruang rongga antara limbah butiran kasar. Endapan yang lebih stabil juga terbentuk, dengan manfaat ekonomi, sosial dan lingkungan yang nyata. Tantangan utama pembuangan gabungan adalah menemukan metode yang aman, praktis dan ekonomis dari pencampuran dua aliran limbah. Secara logistik, dapat sulit untuk mencampur dua operasi dari truk angkut besar membuang limbah batu dan pelepasan jaringan pipa lumpur, terutama karena permukaan timbunan terus menerus bergerak. Salah satu operasi pembuangan gabungan yang berhasil melibatkan pengisian pit terbuka setelah menyelesaikan akhir-pembuangan batuan sisa jinak dari puncak di satu ujung dan penimbunan tailing jinak kental dari ujung yang lain (Williams 2002; Gambar 7).

Gambar 7: Pembuangan gabungan batuan sisa dan tailing kental dalam tambang terbuka yang telah selesai.



Di pertambangan batubara, ada kemungkinan untuk menggabungkan butiran kasar dan halus yang dibuang dari pencucian batubara serta memompa dan membuang aliran ini (Gambar 8). Campuran pembuangan gabungan menyediakan satu bagian atas pantai berbutiran kasar, yang dapat dilalui lalu lintas dan membentuk satu bagian atas luar dinding bendungan yang stabil untuk keseimbangan pemisahan butiran halus. Meskipun pembuangan gabungan yang dipompa membutuhkan volume besar air yang dipindahkan, sistem tersebut tidak kehilangan lebih banyak air dibandingkan dengan pembuangan lumpur tailing semata.

Gambar 8: Limbah pencucian batubara yang dibuang secara gabungan



4.2.5 Pembuangan limbah kasar dan tailing yang terpadu

Campuran batuan sisa dan tailing pasta terpadu (Gambar 9) dapat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan penyegel di lapisan penutup limbah tambang yang berpotensi pencemaran. Untuk aplikasi ini, tailing dan batuan sisa yang dipilih harus jinak secara geokimia (geochemically benign). Batuan sisa biasanya terbatas pada ukuran tertinggi 100 mm dengan penghancuran dan penyaringan. Pembatasan ukuran ini memfasilitasi

pencampuran dan memastikan konsistensi campuran yang baik. Batuan sisa dapat dikombinasikan dengan lumpur tailing, dengan tailing kering (dan dicampur secara mekanis) atau dengan tailing pasta.

Limbah butiran kasar dan butiran halus yang terpadu mencapai kepadatan tinggi dan konduktivitas hidrolik rendah, membuat campuran tepat untuk digunakan sebagai bahan penyegel. Ini memiliki aplikasi tertentu di lokasi tambang di mana pasokan tanah liat alami untuk tujuan penyegel terbatas atau tidak ada, dan mencapai konduktivitas hidrolik setidaknya sebanding dengan, dan sering lebih rendah dari yang dicapai oleh tanah liat alami yang dipadatkan.

Gambar 9: Limbah butiran kasar dan butiran halus yang terpadu dalam laboratorium



Batuan sisa sering digunakan sebagai bahan bangunan tanggul penahan air TSF. Pembuangan limbah butiran kasar dan tailing terpadu, di mana timbunan batuan sisa dan TSF digabungkan dalam bentuk lahan tunggal, merupakan perpanjangan dari hal ini. Limbah batu digunakan untuk membentuk enkapsulasi (pencungkupan timbunan) lebar ke mana tailing dibuang. Tailing dapat dikeringkan untuk membatasi hilangnya air untuk enkapsulasi limbah batu berbutir kasar, dan batuan sisa dapat didorong secara progresif ke dalam tailing untuk memfasilitasi pencungkupan (capping) timbunan. Ini mungkin menguntungkan untuk menenggelamkan batuan sisa bawah tailing lumpur yang berpotensi membentuk asam guna membatasi oksidasi.

4.3 Transportasi tailing

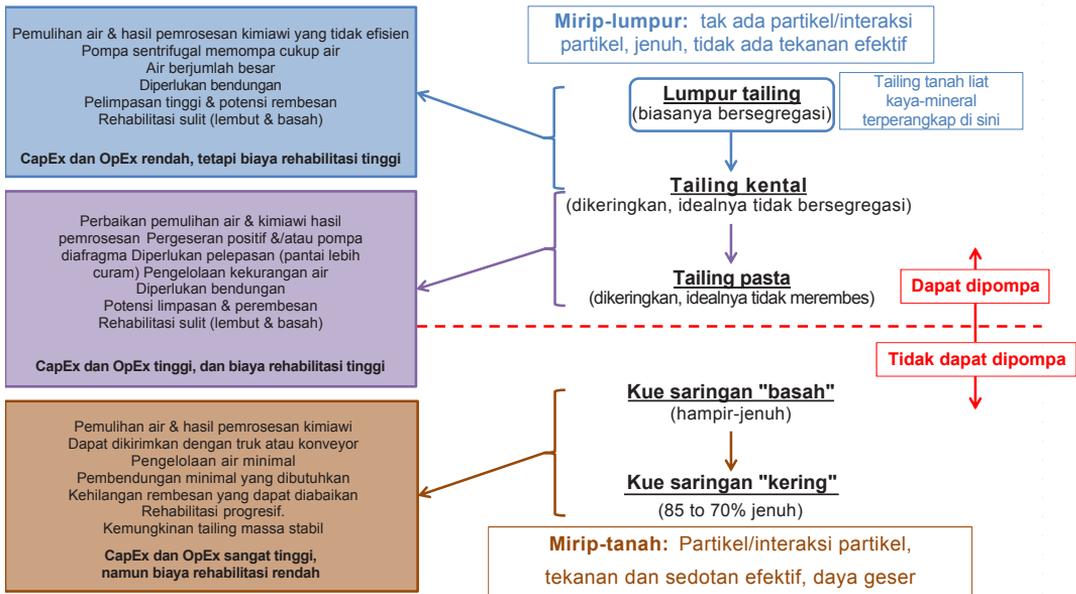
Transportasi tailing dengan memompa dalam jaringan pipa tetap metode yang paling umum digunakan. Semakin kental tailing yang dihasilkan di pabrik pengolahan, semakin sulit dan mahal untuk mengangkutnya dengan memompa, dan pengelolaan pelepasan juga dapat meningkat karena pantai tailing kental di sudut yang lebih curam, membutuhkan gerakan yang lebih sering dari jaringan pipa pelepasan.

Transportasi tailing dengan memompa umumnya melibatkan optimalisasi pengentalan tailing sehingga tailing dapat dipompa menggunakan pompa sentrifugal dan jaringan pipa tekanan rendah, sementara masih cukup mengalir pada pelepasan untuk memastikan distribusi tailing yang efektif dan siap di seluruh TSF. Hal ini dikarenakan biaya modal dari perpindahan pompa positif untuk mengangkut tailing kental atau pasta dapat menjadi lebih tinggi tingkat besarnya (order of magnitude) daripada kapasitas setara sistem pompa sentrifugal untuk tailing yang kurang kental.

Gambar 10 mengilustrasikan berbagai pilihan untuk tailing kental yang dapat dipompa dan tapisan tailing yang tak dapat dipompa. Tergantung pada jarak memompa dan kepala, tailing kental biasanya dapat dipompa menggunakan pompa sentrifugal. Perkembangan terakhir memungkinkan untuk memompa tailing dengan tegangan leleh lebih dari 100 Pa menggunakan pompa sentrifugal, dan kemungkinan perbaikan lebih lanjut. Namun, pasta tailing cenderung membutuhkan kekuatan semakin besar dari pompa pemindahan positif dan

erosi jaringan pipa bertekanan tinggi untuk pengiriman ke TSF permukaan. Aliran gravitasi dapat digunakan untuk memberikan tailing pasta bersemen untuk pengurukan tanah, dan dapat digunakan untuk menyampaikan tailing pasta ke permukaan penyimpanan, dengan menempatkan pengental di lokasi yang ditinggikan.

Gambar 10: Rangkaian kesatuan (continuum) tailing



Sumber: diadaptasi dari Davies and Rice (2004).

Sementara biaya modal pompa dengan pemindahan positif dapat jauh lebih tinggi dari sistem pompa sentrifugal berkapasitas setara, sistem pasta dapat memberikan manfaat biaya usia sistem (life-of-system), termasuk persyaratan pengolahan air untuk produksi (make-up water) yang berkurang, kemudahan rehabilitasi dan pengurangan rembesan pasca-penutupan.

Jika merupakan biaya efektif untuk mengeringkan tailing ke kue saringan basah atau kering, tailing diangkut dengan truk atau konveyor ke TSF, dan di situ dapat 'ditumpuk' atau dijadikan satu dengan pembuangan limbah butiran kasar.

4.4 Jenis-jenis fasilitas penyimpanan tailing permukaan

TSF permukaan mencakup:

- penyimpanan di lembah melibatkan pembuangan tailing di bagian hilir menuju dinding bendungan air di mana ditempatkan penguras untuk mengumpulkan air supernatan, atau bagian hulu menjauhi dinding bendungan dengan fasilitas penguras yang terletak di ujung hulu (struktur pengalihan signifikan umumnya diperlukan untuk mengalihkan air tawar hulu ke sekitar tempat penyimpanan)
- pembuangan dari perimeter atau dinding bendungan 'lingkar' di lahan relatif datar, biasanya dengan fasilitas pengurasan berlokasi di pusat
- pembuangan ke serangkaian sel atau 'paddock' (padang), dengan penimbunan tailing berputar antara sel-sel untuk memfasilitasi penggabungan dan pengeringan

- pembuangan kental yang terpusat (central thickened discharge (CTD)) di lahan relatif datar, dengan air supernatan terkumpul di balik dinding bendungan lingkar atau di saluran lingkar kedap air atau fasilitas penyimpanan khusus (Williams 2000; lihat studi kasus pertama di bawah)
- pembuangan sel-sel dalam gabungan dengan pengeringan dengan penguapan yang ditingkatkan secara mekanis, seperti 'pertanian' lumpur merah pada industri alumina (lihat studi kasus kedua di bawah dan Bagian 7.3.4).

Studi kasus: Pembuangan kental yang terpusat di Sunrise Dam, Western Australia

Tambang Emas Sunrise Dam, dimiliki dan dioperasikan oleh Anglo Gold Ashanti dan terletak 55 km sebelah selatan Laverton di Western Australia, mulai beroperasi pada tahun 1997. Sebuah gaya-paddock TSF untuk lumpur tailing berdensitas-menengah konvensional ditugaskan untuk throughput desain 1,5 juta ton per tahun (mtpa). Satu peninggian hilir dilakukan pada tahun 1998 sebelum dekomisioning dari TSF pada tahun 1999. Throughput desain yang dijadwalkan meningkat dari 2 metrik ton per tahun di 2000 menjadi 3 metrik ton per tahun pada tahun 2003, dan keputusan dibuat guna mengentalkan tailing untuk konsentrasi padatan yang lebih tinggi dan mengubah ke metode pembuangan kental yang terpusat (CTD) (central thickened discharge) pembuangan tailing di lokasi baru.

Lokasi CTD TSF terletak di garis drainase regional dengan daerah tangkapan seluas 60km². Air bawah tanah tidak terbatas dan biasanya berkedalaman 5m dari permukaan. Saluran pengalihan limpasan diperlukan untuk mengelola arus besar dari curah hujan siklon. Lokasi di lereng melandai pada gradien sekitar 0,2%. Daerah desain CTD TSF seluas 300 ha pada tahun 1999 dan pada 2005 meningkat menjadi 330 ha.

CTD TSF terdiri dari area penyimpanan tailing dan kolam penyimpanan air hujan. Fitur lain termasuk jalan urukan dari lingkaran ke pusat TSF, di mana terletak beberapa poin pelepasan tailing, dan kolam kecil berlapis yang terletak di dalam kolam penyimpanan air hujan untuk mengumpulkan rembesan air tailing. Air dipompa kembali dari kolam berlapis ke pabrik pengolahan.

Bentuk CTD TSF adalah kerucut berprofil rendah. Pada tahun 2005, ketinggian di puncak sekitar 15 m. Untuk tailing massa kering tahunan 3,6 metrik ton per tahun, desain asli untuk menyediakan kapasitas penyimpanan sampai dengan tahun 2009, dengan perluasan TSF CTD menyediakan kapasitas penyimpanan sampai akhir LoM.

Pabrik pengolahan menggunakan pemisahan gravitasi dan teknologi karbon-dalam-pelindian (carbon-in-leach (CIL)) untuk mengekstraksi emas dari bijih. Tailing kental sekitar 64% padatan menggunakan dua pengental tingkat tinggi (berdiameter 24 m), dan dua pasang pompa sentrifugal mengangkut tailing berjarak 3 km. Sebuah saluran pengumpulan rembesan telah dibangun sekitar setengah bagian selatan dari TSF untuk tujuan mencegah dan menurunkan permukaan air yang berdekatan pada fasilitas tersebut.

Parameter tailing adalah

Gravitas khusus:	2,85	Batas cairan:	23%
Batas densitas penyusutan	1,47 t/m ³	Ambang batas pemisahan:	39% padat
Densitas awal endapan:	1,2 t/m ³	D ₈₀ :	0,075 mm
Klasifikasi tanah:	Lumpur berpasir (ML) (sandy silt)	Air salin:	>200,000 μS/cm



Pandangan bidang CTD TSF (kiri); pandangan sepanjang jalan dari lingkaran CTD TSF (kanan)

Tailing ditimbun sebagai lapisan sangat tipis dan penguapan pengeringan signifikan, meskipun agak terhambat karena sifat hipersalin air tailing. Akibatnya, permukaan air tanah tetap pada atau sedikit di atas permukaan tanah asli. Rembesan yang paling lazim di sekeliling kerucut CTD di mana air rembesan tailing dan limpasan air hujan dapat menumpuk, yang telah memerlukan tindakan drainase internal tambahan.

Kemiringan tailing pantai dekat dengan nilai desain asli 1,5%. Namun, variasi operasional telah menyebabkan pengembangan pantai cekung; sepertiga atas menjadi 2%, tengah ketiga 1,5%, dan lebih rendah ketiga 1%.

Pada tahun 2005, beberapa poin pelepasan ditempatkan di sekitar puncak kerucut CTD. Tujuannya adalah untuk mengurangi laju aliran pembuangan dan dengan demikian meningkatkan kemiringan pantai dan meningkatkan efisiensi penyimpanan.

Tidak ada fasilitas CTD di Australia selama ini yang ditutup dan direhabilitasi. Pembuangan kental yang terpusat di endapan tailing relatif rendah-elevasi meliputi jejak yang sangat luas. Jika lapisan penutup diperlukan untuk tujuan rehabilitasi, akan diperlukan penyediaan keuangan untuk volume bahan penutup yang sesuai dan dalam jumlah yang sangat besar.

Studi kasus: Pembuangan sisa kental dan budidaya di kilang alumina Alcoa in Western Australia

Alcoa memiliki tiga kilang di Western Australia, di Kwinana, Pinjarra dan Wagerup, dengan kapasitas gabungan sekitar 9 Mtpa alumina. Selama proses penyulingan, larutan soda kaustik ditambahkan ke bauksit untuk melarutkan alumina, memungkinkan pemisahan alumina (dalam larutan) dari residu tidak reaktif. Meskipun residu dicuci untuk memulihkan dan mendaur ulang kaustik, residu tetap di tingkat residu kaustik, dan memiliki pH alkalin (basa) sekitar 13,5.

Sejak pertengahan tahun 70-an, Alcoa telah secara ekstensif dan kolaboratif mengembangkan peningkatan praktik pembuangan dan penyimpanan residu. Komitmen perusahaan telah melihat transisi dari pembuangan basah tradisional ke pertanian residu kental, metode yang dikembangkan dan diimplementasikan di tiga kilang Alcoa Western Australia melalui akhir tahun 80-an. Metode ini membutuhkan area pengeringan aktif besar dan waktu yang cukup untuk pertanian, menyalurkan dan mengeringkan residu untuk kepadatan kering dan daya geser yang akan memungkinkan peninggian endapan lanjutan.



Pertanian residu kental untuk membantu drainase dan desikasi (pengawetan dengan proses pengeringan).

Alcoa sedang mengevaluasi filtrasi tekanan sebagai metode alternatif untuk mencapai residu kepadatan kering yang diinginkan. Konsep yang diusulkan melibatkan penyaringan dan residu susun sehingga menjaga area pengeringan minimal tidak lagi menjadi faktor penting.

Sementara daerah residu pengeringan aktif umumnya tidak terlihat di luar operasi, Alcoa berkomitmen untuk merehabilitasi tanggul paling luar dari area penyimpanan agar berpenampilan senormal mungkin. Rehabilitasi tanggul penahan air bertujuan untuk menghasilkan ekosistem mandiri, yang dapat memakan waktu bertahun-tahun untuk membangunnya. Saat tanggul eksternal diangkat untuk isi residu kasar, bagian tanggul baru secara progresif direhabilitasi, memfasilitasi rehabilitasi selama residu pengeringan.

Uji coba lapangan dan penelitian untuk mengoptimalkan kinerja revegetasi dilakukan di tempat penyimpanan residu dari ketiga kilang Western Australia. Pekerjaan ini bervariasi dari uji coba lapangan skala besar, seperti daerah demonstrasi di Pinjarra, ke uji di atas meja laboratorium oleh universitas lokal, antar negara dan internasional. Penelitian ini bertujuan untuk lebih memahami dinamika air-hara-tanaman-residu-pasir untuk meningkatkan strategi rehabilitasi dan revegetasi dan kinerja.



Revegetasi di lereng luar tanggul penahan air penyimpanan residu.

Strategi penutupan arus di tiga wilayah residu kilang Alcoa memiliki tiga tujuan utama. Daerah residu dinonaktifkan harus memiliki kemampuan yang akan digunakan untuk kepentingan masyarakat yang produktif, aman dan berstruktur mandiri dalam jangka panjang dan memungkinkan akses residu untuk penggunaan alternatif di masa depan.

Alcoa juga telah mendukung penelitian luas dalam pada kemungkinan penggunaan residu bauksit yang menguntungkan. Residu bauksit paling menjanjikan adalah produk sampingan Red Sand™ dan Alkaloam®. Alcoa telah mengembangkan sistem karbonasi dan pencucian untuk memproses pasir residu guna menghasilkan batu hancuran merah yang disebut Red Sand™. Pengujian menunjukkan bahwa Red Sand™ dapat digunakan sebagai isian umum, pengurukan bangunan dan dasar jalan. Red Sand™ tidak saja hanya berpotensi untuk menjadi alternatif yang hemat biaya untuk pasir tujuan umum, tetapi juga memiliki drainase dan kekuatan karakteristik yang sangat baik. Pasir dari residu berpotensi komersial untuk menyediakan pengganti pasir tambang yang layak untuk persediaan semakin langka di wilayah lokal, sehingga mengurangi pembabatan semak alami untuk tambang pasir sementara juga mengurangi volume residu untuk disimpan.



Bangunan jalan oleh Main Roads Western Australia menggunakan Red Sand™.

Alkaloam® adalah perbaikan produksi tanah Alcoa yang lain. Pada tahun 1993, sebuah proposal ke pengadilan Alkaloam® di Peel-Harvey proyek daerah tangkapan dataran pantai telah disampaikan kepada Otoritas Perlindungan Lingkungan Western Australia oleh kemudian Departemen Pertanian dan kemudian mendapat izin (setelah tinjauan lingkungan publik). Sejak itu, uji coba telah secara konsisten menunjukkan bahwa menambahkan Alkaloam® ke tanah berpasir yang umum di daerah pesisir Western Australia membawa manfaat. Alkaloam® telah terbukti berhasil karena perbaikan tanah untuk defisiensi nutrisi, tanah asam sulfat, dan dapat meningkatkan produktivitas lahan pertanian. Alkaloam® meningkatkan pH tanah dengan cara yang sama seperti kapur pertanian. Sementara kapur tradisional dapat memakan waktu beberapa tahun untuk secara efektif mengurangi pH tanah, Alkaloam® dapat mencapai hasil ini hampir langsung.

Sementara Alcoa terus memperbaiki cara residu kilang alumina disimpan dan cara area penyimpanan dapat ditutup dan direhabilitasi, Alcoa juga cukup berupaya dalam mengatasi hambatan teknis dan peraturan untuk produksi dan penjualan produk-residu, sehingga residu bauksit dapat menjadi sumber daya yang berharga sampai ke masa depan.

4.5 Penyimpanan tailing di dalam pit

Penambangan terbuka (open-pit) menciptakan rongga, dan kelihatannya tempat menyimpan tailing yang secara lingkungan paling bertanggung jawab adalah di rongga yang dulunya sumber limbah,⁷ meskipun pembuangan tailing di tambang terbuka yang telah selesai mungkin mensterilkan sumber daya dan pit terbuka tunggal mungkin tidak ada untuk pembuangan tailing selama operasi penambangan aktif.

Tailing dapat ditempatkan di lubang terbuka yang telah diselesaikan sebagai lumpur, tebal atau saringan, atau dalam gabungan dengan batuan sisa. Penempatan di dalam pit sering memfasilitasi rehabilitasi (Gambar 11).

Di Western Australia (lihat studi kasus pertama di bawah) dan Northern Territory (lihat studi kasus kedua di bawah), telah ditunjukkan bahwa dapat menjadi ekonomis bagi tambang untuk meniadakan TSF dan menempatkan tailingnya di lubang terbuka yang telah selesai, terutama di mana tailing menimbulkan risiko masa depan lingkungan (seperti drainase air asam dan metal).⁸ Biasanya, dalam kasus ini tailing akan ditambang kembali, dikondisikan untuk konsistensi pasta dan kemudian dipompa atau dimasukkan dengan sistem gravitasi (gravitation-fed) ke dalam lubang. Sekop atau eskavator dan truk rehandling (penurunan muatan yang ada dalam palet) dapat digunakan untuk tailing yang telah cukup dikeringkan dan digabungkan.

Gambar 11: Pembuangan tailing ke dalam pit: (kiri) dalam operasi; (kanan) rehabilitasi



⁷ Tinjauan praktik kerja unggulan tentang pembuangan tailing ke dalam pit dalam Potvin et al. (2005).

⁸ Lihat juga studi kasus Woodcutters Mine *Drainase asam dan dan logam* dalam seri buku pegangan praktik kerja unggulan (DIIS 2016d).

STUDI KASUS: Urukan tailing pasta di Tanami, Northern Territory

Pada tahun 2011, Tanami Newmont Australia mengoperasikan pabrik pengurukan tailing pasta untuk pengurukan di operasi Dead Bullock Soak. Proses dasar pengurukan lombong (stope) bawah tanah dengan tailing pasta bersemen melibatkan tailing pemanen TSF gaya-paddock yang terletak di sewa guna mineral Granit, mengeringkan tailing, dan mengangkutnya 40 km ke pabrik pengurukan pasta pada sewa guna mineral Dead Bullock Soak.

Secara historis, agregat urukan semen (cemented aggregate fill (CAF)) digunakan untuk penimbunan lombong bawah tanah setelah pengurukan awal dengan limbah batu. Dalam tahun 2008, penggunaan CAF terhenti karena berkurangnya produktivitas dan meningkatnya biaya yang terkait dengan peningkatan kedalaman tambang bawah tanah.

Sejak tahun 2011, tailing yang dipanen telah ditimbun di daerah pengeringan yang telah disiapkan di Granit dan dikeringkan dengan kadar air total 7%-9% dengan melapiskan tailing ke gundukan menggunakan eskavator dan traktor scraper. Daerah pengeringan secara khusus dirancang untuk memenuhi standar Newmont dan persyaratan dari Kode Manajemen Sianida Internasional (International Cyanide Management Code) (UNEP-ICME 2009), yang mencakup permeabilitas rendah, pelapis tanah liat yang dipadatkan dengan ketebalan 300mm, ditindih oleh batu berketebalan 200mm mengisi lapisan perlindungan, dengan kepadatan tinggi kolam berlapis polietilena untuk penyimpanan limpasan, dan struktur air permukaan.

Setelah tailing dikeringkan dengan memadai, kemudian dimuat ke kereta pengangkut bijih ke jalan raya panjang dan diangkut oleh lori back-load ke Dead Bullock Soak, di mana tailing dibuang lewat sisi ke gundukan untuk reklamasi oleh loader dan dimuat ke dalam gerbong. Tailing kemudian disaring, dan air dan pengikat ditambahkan, sebelum pemompaan bawah tanah melalui salah satu dari dua lubang bor yang tersedia. Sistem barikade, biasanya terdiri batuan sisa, jala batu dan shotcrete, digunakan untuk memblokir bukaan untuk memfasilitasi penimbunan. Pasta mulai stabil sekitar enam jam setelah penempatan. Setelah terbentuk, pasta menjadi plastis (mudah dibentuk) dan tekanan hidrolik untuk dinding lombong tidak berlaku lagi.

Manfaat lingkungan utama yang terkait dengan penggunaan urukan tailing pasta di operasi Tanami Newmont adalah:

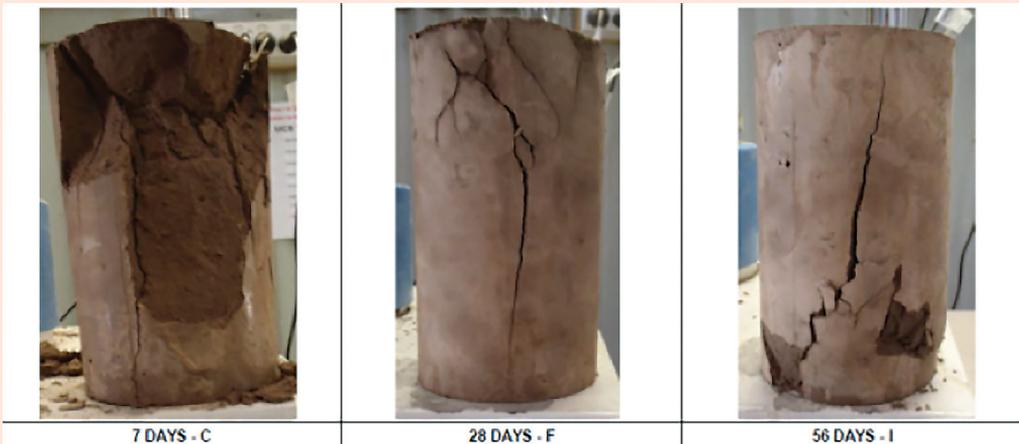
- pengurangan volume penyimpanan tailing permukaan dan jejak
- pengurangan risiko dan kewajiban terkait dengan TSF yang ada, dengan mengurangi ukuran mereka melalui tailing panenan
- dekomisioning penambangan pasir, yang diperlukan sebagai bagian dari operasi pengurukan CAF sebelumnya tetapi tidak diperlukan untuk pengurukan tailing pasta.



Pabrik pengolahan urukan.



Timbunan urukan tailing pasta.



Kekuatan tailing pasta.

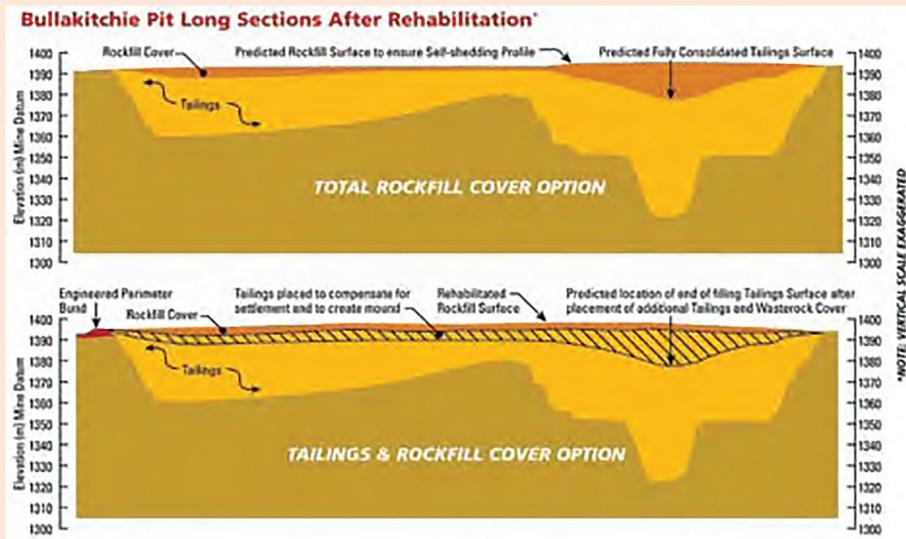
Studi kasus: Penyimpanan tailing di dalam pit di Granites Gold Mine, Northern Territory

Tambang emas Granites Gold Mine, yang dioperasikan oleh Newmont Australia Ltd, memiliki sejumlah pit percobaan (worked-out) yang secara progresif diisi dengan tailing. Bullakitchie Pit adalah pit pertama yang diisi. Para pemilik tanah tradisional dan Dewan Tanah Pusat (Central Land Council) membutuhkan pit di mana memungkinkan untuk diuruk. Strategi penutupan adalah untuk merehabilitasi pit guna bentuk lahan untuk bentuk lahan penapisan air (water-shedding). Sejumlah konsultasi diadakan setempat dengan pemangku kepentingan utama untuk mendapatkan kesepakatan tentang strategi penutupan sebelum pelaksanaannya. Jumlah batuan sisa yang diperlukan untuk membentuk penutup yang cocok, yang memungkinkan dekomisioning di masa depan, diperkirakan 350.000 m³. Untuk meningkatkan konsolidasi tailing dan mengurangi biaya dan persyaratan batuan sisa, secara berkala atas pit tersebut diisi dengan pelepasan tailing dari serangkaian standpipe (jaringan pipa ledeng) terletak di pusat, mengimbangi proses stabilisasi yang sedang berlangsung dan membentuk permukaan yang datar atau cembung dari penapisan curah hujan (rain-shedding) akhir permukaan tailing. Tailing sebentar-sebentar dialirkan dari tahun 2000 sampai 2002, dan permukaan tailing akhir kering membentuk kerak yang pergerakan lalu lintas. Rembesan dari timbunan tailing telah dipantau melalui lingkaran bor pemantauan. Dampak penempatan tailing dalam pit, sementara terukur, telah terbatas pada lingkaran (halo) terbatas di sekitar lubang.



Menciptakan profil cembung penapisan curah hujan dengan pelepasan tailing kental yang terpusat ke dalam Bullakitchie Pit.

Tailing dilepaskan pada laju yang lambat, dan lingkaran rendah tanggul bendungan diciptakan pada titik-titik yang rendah di sekelilingnya untuk meminimalkan risiko kelebihan air hujan saat hujan. Penggunaan tailing mengurangi jumlah limbah batuan sisa yang dibutuhkan sekitar 150.000 m³ dan yang diselamatkan sekitar \$350.000. Pit di masa depan akan direhabilitasi menggunakan prinsip yang sama. Bentuk lahan akhir, gundukan landai di atas pit terbuka asli, menyatu dengan lanskap sekitarnya yang tidak ditambang. Pada penutupan tambang akhir, empat pit di Granit semuanya akan telah ditutup dan diisikan ke permukaan tanah alami, tanpa rongga yang tersisa. Ini telah menjadi hasil yang positif bagi pemilik tradisional, yang menyatakan pilihan mereka atas pit-pit yang akan diuruk.



Bagian-bagian membujur (longitudinal) Bullakitchie Pit hanya untuk batuan, dan pilihan tailing and batuan (perhatikan bahwa skala sumbu vertikal dibesarkan).

4.6 Urukan tailing di bawah tanah

Umumnya, untuk alasan keamanan (potensi banjir dari pekerjaan), tailing lumpur tidak digunakan dalam pengisian bawah tanah. Tailing dapat digunakan untuk menguruk lombong bawah tanah sebagai komponen urukan hidrolik semen (biasanya terbatas fraksi kasar dari tailing) atau sebagai pasta bersemen seluruh tailing urukan. Landriault (1995) mempelopori penggunaan seluruh urukan tailing pasta bersemen di tambang logam bawah tanah Kanada. Dalam urukan pasta, distribusi ukuran partikel tailing dapat mempengaruhi setiap aspek dari karakteristik material, dari bagaimana urukan akan kering, bagaimana akan mengalir dalam sistem jaringan pipa, dan karenanya merupakan parameter penting dalam desain pabrik pengurukan pasta dan pengiriman pasta ke bawah tanah.

Tailing dengan butiran yang lebih halus, terutama butiran halus tersebut terdiri dari mineral tanah liat, yang semakin sulit untuk dikeringkan di pabrik pengolahan dan daya geser final yang semakin rendah tercapai dalam pengurukan tersebut. Sebagian besar dari tailing berbutir halus membutuhkan kapasitas pengeringan lebih besar dan penambahan lebih banyak semen, menambahkan biaya substansial. Oleh karena itu, partikel-partikel butiran halus dapat selektif dihapus dari tailing tersebut menggunakan siklon pengawalunauan (de-sliming) untuk meningkatkan kinerja tailing sebagai pasta urukan. Sebagian tertentu dari denda yang diperlukan untuk menghasilkan pasta yang stabil dan untuk memungkinkan transportasi yang melalui jaringan pipa tanpa partikel kasar mengendap keluar.

Sebuah tinjauan praktik kerja unggulan dalam penggunaan tailing untuk pengurukan tanah tersedia di Potvin et al. (2005).

4.7 Perbandingan pembuangan tailing dan metode penyimpanan

Beberapa keuntungan dan kerugian dari berbagai pembuangan tailing dan metode penyimpanan diringkas dalam Tabel 4. (Perhatikan bahwa seorang insinyur geoteknik dengan kualifikasi yang sesuai dan berpengalaman dalam tailing harus terlibat saat mempertimbangkan pembuangan dan penyimpanan tailing.)

Tabel 4: Keuntungan dan kerugian berbagai pembuangan tailing dan metode penyimpanan

PEMBUANGAN	PENYIMPANAN	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Lumpur/ slurry—pelepasan menuju dinding	Lembah	Memanfaatkan topografi alami untuk memberikan volume penyimpanan dengan biaya rendah Memaksimalkan volume penyimpanan untuk ketinggian dinding tertentu Sistem air balik dapat diperbaiki	Arus lembah alami akan terganggu Pondasi mungkin lembut Dinding bendungan air diperlukan untuk membatasi rembesan Penimbunan tailing lembut menempel di dinding dapat mempengaruhi stabilitas dinding Kehilangan akibat penguapan mungkin tinggi kecuali kolam penguras tetap kecil Potensi luberan oleh air dan/atau tailing (termasuk aksi seismik bawah tanah) Akan membutuhkan spillway (saluran pembuangan air berlebih) Air yang terkontaminasi sebelum dibuang ke lingkungan mungkin perlu pengolahan
Lumpur/ slurry— pembuangan menjauhi dinding	Lembah	Sebuah dinding bendungan air mungkin tidak diperlukan, air yang tersedia tidak pernah disimpan melekat di dinding Dengan pengelolaan yang baik dan kelonggaran (allowances) freeboard (batas ketinggian penyimpanan air) yang tepat, luberan seharusnya tidak terjadi selama operasi	Arus lembah alami akan terganggu Kerugian penguapan mungkin tinggi kecuali kolam penguras tetap kecil Sistem air balik harus bergerak hulu, di depan pantai tailing
Lumpur	Lingkaran	Dengan kurasan terletak di pusat, dinding bendungan penahan air tidak diperlukan, air yang disediakan tidak pernah disimpan melekat di dinding Jejak diminimalkan dengan peninggian lanjutan dari dinding bendungan lingkaran	Saluran drainase alami akan terganggu Kerugian penguapan yang tinggi kecuali kolam dangkal penguras tetap kecil Penutupan penguras yang terletak di tengah diperlukan untuk menghentikan rembesan yang sedang berlangsung di mana jaringan pipa melewati bawah dinding bendungan eksternal
Lumpur	Sel-sel	Dengan air kurasan yang terletak di pusat, dinding bendungan penahan air tidak diperlukan, air yang disediakan tidak pernah disimpan melekat di dinding Berputar di antara sel-sel memungkinkan konsolidasi dan pengeringan tailing dan dapat mengurangi rembesan Jumlah jejak dapat diminimalkan dengan meninggikan dinding bendungan sel-sel	Saluran drainase alami akan terganggu Penutupan penguras yang terletak di tengah diperlukan untuk menghentikan rembesan yang sedang berlangsung di mana jaringan pipa melewati bawah dinding bendungan eksternal

PEMBUANGAN	PENYIMPANAN	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Lumpur	Sel-sel on-off	Menggunakan penguapan dan pengeringan, dan mungkin drainase bawah dan rembesan melalui dinding berpori, untuk mengeringkan tailing yang ditimbun Tidak ada timbunan tailing sisa, dan karenanya mudah direhabilitasi ke tingkat tinggi fungsi lahan pasca-penutupan dan/atau penggunaan	Pemanenan dan penanganan kembali tailing kering dan rebangunan dinding sel menambah biaya operasi Kehilangan air tailing ke penguapan
Kental	Pembuangan kental terpusat (central thickened discharge (CTD)), pelepasan lembah bawah atau sel-sel	Pengentalan akan mengurangi air dan kehilangan proses kimiawi, volume air supernatan dan rembesan Pengentalan memungkinkan akses dipercepat untuk rehabilitasi CTD menciptakan bentuk lahan berprofil rendah, sering meluruhkan diri (self-shedding) sesuai dengan bentuk lahan alami di sekitarnya	Pengentalan dan pemompaan menimbulkan tambahan modal dan biaya operasi pada pembuangan lumpur Karena rendahnya sudut pemantaian (beaching angle) dari tailing kental, daerah jejak CTD akan luas, dengan implikasi untuk pengelolaan air permukaan dan rehabilitasi CTD mungkin memerlukan perimeter tanggul penahan air atau saluran penahan air Permukaan kerja mekanik sel membutuhkan pengeringan untuk pergerakan lalu lintas, yang mungkin mahal
Pasta	Kerucut	Produksi pasta akan mengurangi kehilangan air dan proses kimiawi, volume air supernatan dan rembesan Pasta memungkinkan akses lebih cepat untuk rehabilitasi Kerucut secara relatif berprofil rendah dan penapis-air, sering sesuai dengan bentuk lahan alami di sekitarnya	Produksi pasta dan pemompaan memakan biaya tambahan atas pembuangan lumpur Jejak kerucut akan besar, dengan implikasi untuk rehabilitasi Permukaan kerucut akan membutuhkan pengeringan untuk pergerakan lalu lintas
Diputar (centrifuged)	Kerucut	Pemutaran akan mengurangi air dan kehilangan proses kimiawi mirip dengan produksi pasta, mengurangi volume air supernatan, dan mengurangi rembesan Biasanya diangkut dengan konveyor Memungkinkan akses lebih cepat untuk rehabilitasi Kerucut berprofil rendah dan permukaan penapisan air, sering sesuai dengan bentuk lahan alami di sekitarnya	Pemutaran dan pemompaan atau konveyoring menimbulkan biaya tambahan atas pembuangan lumpur Jejak kerucut akan besar, dengan implikasi untuk rehabilitasi Permukaan kerucut akan membutuhkan desikasi untuk pergerakan lalu lintas

PEMBUANGAN	PENYIMPANAN	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Tersaring	Tumpukan	Filtrasi akan mengurangi air dan kehilangan proses kimiawi, dan hampir menghilangkan rembesan air supernatan Biasanya diangkut dengan truk angkut atau konveyor Memungkinkan pergerakan lalu lintas dan dipadatkan, memfasilitasi bangunan bentuk lahan dan rehabilitasi progresif	Filtrasi menimbulkan biaya tambahan atas pengentalan
Lumpur	Dalam pit (in-pit)	Menghilangkan kebutuhan untuk tambahan penyimpanan tailing permukaan Dapat dilakukan berdasarkan gravitasi Pemulihan air supernatan mungkin dengan pemompaan	Tingkat konsolidasi tailing dapat dikurangi, dan pengeringan permukaan dikurangi atau dihilangkan (jika di bawah air) Kegagalan untuk memulihkan air supernatan dan reagen proses menyebabkan kehilangan besar Pemulihan air supernatan mengharuskan pompa dalam pit dipelihara, dan pumping head (tinggi tekan pemompaan) harus dikuasai
Kental	Dalam pit	Menghilangkan kebutuhan untuk tambahan penyimpanan tailing permukaan Dapat dilakukan berdasarkan gravitasi Air supernatan berkurang mungkin tidak memerlukan pemulihan	Pengentalan menimbulkan biaya tambahan Tingkat konsolidasi tailing berkurang, dan pengeringan permukaan dikurangi atau dihilangkan (jika air)
Pasta bersemen	Bawah tanah	Dapat dilakukan berdasarkan gravitasi Air supernatan yang diproduksi sedikit, memungkinkan pengurukan cepat Memberi stabilitas untuk penambangan berikutnya di lombong yang bersebelahan	Produksi pasta dan penambahan semen menyebabkan biaya tinggi

4.8 Minimisasi tailing, pemrosesan ulang dan penggunaan ulang

Dalam rangka meminimalkan potensi risiko yang terkait dengan penyimpanan tailing, idealnya produksi tailing harus diminimalkan, setiap potensi untuk memproses ulang tailing harus dimanfaatkan, dan di mana mungkin harus dicari penggunaan tailing alternatif. Volume tailing merupakan fungsi dari throughput bijih run-of-mine (ROM), yang merupakan hasil rencana tambang. Cara untuk meningkatkan kadar bijih dan karenanya meminimalkan produksi tailing termasuk mengurangi pencairan bijih melalui peningkatan kendali dan teknik pertambangan yang lebih baik. Dalam banyak kasus, tailing memiliki nilai bawaan (inherent value) melalui pengolahan kembali atau melalui kegunaan industri lainnya. Tailing emas bersejarah adalah contoh utama dari perubahan teknologi yang menyediakan sarana untuk membuat pengolahan layak. Ini juga kasus untuk berbagai jenis tailing tambang. Pembuangan tailing dengan cara yang akan memulihkan tailing dan pengolahan kembali yang kurang layak atau tidak ekonomis, atau yang berpotensi mensterilkan bijih yang mungkin menjadi ekonomis untuk tambang dan proses di masa depan, sebaiknya dihindari. Namun, ini tidak boleh digunakan untuk membenarkan tidak adanya minimisasi atau rehabilitasi tailing.

Terdapat beberapa peluang untuk menggunakan beberapa tailing tertentu untuk keperluan industri atau lingkungan, sehingga mengurangi kebutuhan penyimpanan, termasuk:

- bagian halus dari fly-ash (abu terbang/serbuk abu) digunakan sebagai pozzolan dalam pembuatan semen
- bottom ash (limbah abu) stasiun pembangkit listrik digunakan sebagai urukan lembam bangunan
- lumpur merah dari industri alumina digunakan sebagai kondisioner tanah dan untuk membersihkan aliran air tercemar
- abu stasiun pembangkit listrik yang digunakan untuk mengisi rongga pertambangan batubara
- tailing batubara digunakan sebagai bahan bakar kelas rendah
- beberapa tailing digunakan sebagai bahan bangunan (misalnya, untuk peninggian hulu TFS).

Di mana operasi pengolahan, pemurnian atau peleburan mineral berlokasi di dalam wilayah industri, peluang sinergis mungkin ada di mana limbah sungai dari satu proses industri dapat menjadi masukan berharga untuk proses industri lainnya. Pendekatan 'ekologi industri' (juga disebut 'sinergi regional') ini kini sedang diberlakukan di area industry Gladstone (Queensland) dan Kwinana (Western Australia).⁹

⁹ Lihat *Proyek-proyek CSR*, Kelompok Rekayasa Berkelanjutan (Sustainable Engineering Group), Curtin University, <http://seg.curtin.edu.au/research/csrp/>.

5.0 PERENCANAAN DAN DESAIN



Pesan-pesan kunci

- Latar belakang dan ketentuan dasar harus mapan jauh sebelum dimulainya operasi untuk penilaian dampak dan risiko lingkungan untuk menginformasikan kriteria penutupan.
- Sebagai bagian dari proses perencanaan dan desain TSF, penilaian dampak lingkungan dan risiko formal diperlukan untuk mengidentifikasi dan, bila sesuai, mengukur risiko yang perlu dicegah, dikurangi dan dikelola, termasuk perubahan dan penutupan.
- Lingkungan dan penilaian risiko harus mempertimbangkan lokasi TSF yang berbeda dan konfigurasi, yang mungkin memiliki risiko jangka panjang yang berbeda.
- Penilaian risiko juga digunakan selama evaluasi TSF pilihan untuk membantu dalam pemilihan lokasi dan desain TSF yang optimal.
- Perencanaan utama dan kendala desain pada TSF permukaan adalah pola iklim lokasi, topografi dan drainase; persaingan pengguna air dan tanah; dan mengurangi kadar bijih dan gilingan yang lebih halus, memproduksi butiran halus dalam jumlah yang semakin besar, memperendah kekuatan tailing.
- Air permukaan harus memperhitungkan tidak hanya peniadaan volume besar air yang dibuang setiap tahun dengan tailing lumpur, tetapi juga curah hujan ekstrim yang cepat meningkatkan volume air genangan di permukaan tailing.
- Diperlukan penelitian geokimia, reologi dan parameter geoteknik serta perilaku dan kapasitas lokasi tailing untuk mendukung vegetasi.
- Kriteria desain praktik kerja unggulan, persyaratan peraturan, pedoman dan nilai-nilai masyarakat harus diperhitungkan.
- Bobolnya bendungan TSF dan evaluasi risiko harus digunakan untuk menetapkan kategori konsekuensi kegagalan TSF (ANCOLD 2012b) dan, dengan menggunakan ini, kriteria desain TSF harus dibentuk dengan menggunakan proses berbasis risiko dan/atau persyaratan minimum yang dijabarkan dalam ANCOLD (2012a).
- Bendungan dan pengiriman tailing, serta pemulihan air tailing dan desain tailing untuk mencapai penutupan yang sukses juga harus diperhitungkan dalam tahap perencanaan dan desain.
- Integrasi desain TSF dan perencanaan ke dalam LoM seluruh lokasi diperlukan untuk memastikan bahwa tujuan pengoperasian dan kesehatan dan keselamatan publik, serta masyarakat dan lingkungan tercapai di seluruh hidup operasi tambang, termasuk penutupan.

5.1 Tahap-tahap perencanaan, penelitian dan desain

Tahap-tahap perencanaan, penelitian dan desain TFS meliputi kondisi dasar (untuk penilaian dampak lingkungan), kriteria desain, pra-kelayakan (pilihan identifikasi, evaluasi dan seleksi dari pilihan yang lebih disukai), kelayakan bankable (tahap pencarian pembiayaan untuk memindahkan proyek tersebut ke bangunan), informasi desain dan data, dan desain rinci.

Pada tahap penilaian dampak lingkungan, penting untuk mengukur sifat, kualitas, tingkat atau kuantitas dari setiap fitur lingkungan yang dapat dipengaruhi oleh kehadiran TSF sebelum itu dibangun. Ketentuan latar belakang yang perlu ditetapkan biasanya meliputi:

- kepemilikan lahan dan penggunaan, termasuk daerah warisan budaya
- penggunaan air bermanfaat
- keadaan iklim, termasuk curah hujan, penguapan, suhu, kelembaban dan angin
- kedekatan TSF untuk reseptor sensitif, seperti daerah yang dihuni, kegiatan pertanian, dan air permukaan atau fauna, flora atau ekosistem yang tergantung pada air-tanah
- kedekatan TSF untuk habitat bagi spesies yang terancam punah atau langka
- topografi permukaan, pola drainase dan hidrologi
- hidrogeologi, termasuk tingkat air tanah dan kualitas
- kadar air dan geokimia tanah pondasi dan batuan
- kualitas udara
- tingkat radiasi alami dan latar belakang, di mana tailing radioaktif harus disimpan
- nilai-nilai sosial, rekreasi, komersial dan warisan budaya yang mungkin akan terpengaruh oleh TSF.

Hal ini penting untuk mengidentifikasi data latar belakang yang diperlukan sebagai bagian dari proses perencanaan dan desain melalui kesehatan dan keselamatan publik, masyarakat dan proses berbasis risiko lingkungan jauh sebelum dimulainya operasi.

Selain itu, parameter dasar perlu ditetapkan, termasuk untuk:

- tailing atau bijih mineral dan geokimia
- distribusi ukuran dan komposisi partikel tailing
- pendekatan untuk deposisi dan konsentrasi padatan terkait
- parameter pengendalian, penimbunan dan konsolidasi tailing, di berbagai konsentrasi padatan
- kualitas cairan (liquor) tailing, air yang disimpan dan air rembesan yang diharapkan.

Kondisi latar belakang dan dasar ini penting—merupakan perbedaan antara parameter latar belakang dan tailing dan air yang membantu dalam menentukan indikator utama yang akan digunakan untuk mendeteksi pencemar yang dapat merusak tanah atau air tanah. Proses ini juga diperlukan untuk memungkinkan regulator untuk menyusun operasi ketentuan perizinan untuk fasilitas tersebut.

Jika parameter tailing yang diharapkan berubah selama masa operasi TSF yang disebabkan oleh karena perubahan jenis bijih atau kelas atau pemrosesan, perubahan harus dicatat di samping data asli, bersama dengan waktu yang diharapkan. Perubahan dapat mengakibatkan modifikasi desain dan rencana untuk TSF.

5.2 Pertimbangan perencanaan dan desain

Kendala utama dalam perencanaan dan desain pada TFS permukaan adalah pengaruh pola iklim di tempat, topografi dan drainase; kondisi pondasi, persaingan penggunaan air dan tanah; serta mengurangi kadar bijih dan penggilingan yang lebih halus, memproduksi tailing berbutir halus dalam jumlah yang semakin besar. Langkah pertama dalam perencanaan dan desain adalah pada penentuan tempat TSF. Jika semua pilihan tersebut tidak diperhitungkan dengan seksama, dapat terpilih lokasi TSF suboptimal, yang akan membatasi pilihan pengembangan, menyebabkan peningkatan biaya atau memastikan adanya konsekuensi jangka panjang dan perawatan purna operasi.

Aspek utama dari iklim yang perlu dipertimbangkan adalah curah hujan yang tinggi, yang dikelola melalui penyediaan freeboard atau spillway (jika diizinkan untuk dibuang ke lingkungan) yang memadai dan tepat waktu. Air telah menjadi sangat penting karena semakin berkurangnya air baku untuk pengolahan mineral dan kualitas air setelah hasil pengolahan, yang dapat dipengaruhi oleh drainase asam dan logam (DAL), salinitas, reagen proses sisa dan pencemar potensial lainnya. Volume air tertahan dalam tailing, kualitas air setelah pemrosesan dan ketersediaan air baku menentukan tingkat daur ulang ke pabrik pengolahan dan persyaratan penyimpanan air-kotor.

Semakin halus bijih digiling dan semakin banyak bijih tanah liat yang kaya mineral yang diproses akan mempengaruhi sejauh mana dan tingkat berapa tailing yang dihasilkan menjadi stabil dan melepaskan air supernatan. Hal ini juga akan menentukan kadar kepadatan (density) akhir tailing kering, sejauh mana dan di tingkat mana mengering pada paparan penguapan, dan akibatnya pada daya geser. Salinitas tailing dan air tailing juga sangat mengurangi laju penguapan dan pengeringan dari kolam penguras tailing dan tailing basah. Pencapaian kepadatan kering yang stabil menentukan tingkat peninggian dinding yang diperlukan untuk membendung tailing yang dihasilkan, terutama jika peninggian bergantung pada kekuatan tailing yang ditimbun sebelumnya. Daya geser yang dicapai dalam tailing menentukan dimungkinkannya atau tidaknya peninggian dinding hulu, dan kemudahan pencungkupan tailing untuk tujuan rehabilitasi pada penutupan. Desain sistem penutup tailing dan sumber bahan pencungkupan harus dikembangkan, bersama dengan ketentuan untuk pengumpulan rembesan dan pengolahan, jika perlu. Daya geser tailing di bawahnya juga menentukan potensi tata guna lahan pasca-penambangan atau fungsi TSF setelah penutupan.

Kondisi dan kendala desain atas operasi TSF tertentu dalam beroperasi dirangkum dalam Williams (2014):

- keadaan iklim dan topografi TSF, yang mempengaruhi limpasan curah hujan yang harus ditampung oleh TSF, pemilihan lokasi dan jenis TSF, dan pekerjaan drainase terkait
- kondisi pondasi yang cocok untuk mendukung tanggul penahan air TSF yang dibutuhkan
- tingkat hasil tailing dari pabrik pengolahan yang harus ditampung dalam TSF
- kebutuhan untuk mengelola dan menyimpan air tailing supernatan dan mendaur ulangnya bila memungkinkan
- kebutuhan untuk memenuhi persyaratan izin kualitas air yang dilepaskan, yang mungkin memerlukan kebutuhan untuk memantau rembesan TSF, dan untuk menyimpan air tailing supernatan berkualitas rendah di TSF, atau dalam penguapan atau kolam penyimpanan air yang terpisah
- kebutuhan untuk memaksimalkan kepadatan kering tetap tailing, dan karenanya meminimalkan kebutuhan untuk meninggikan dinding dan persyaratan volume penyimpanan tailing
- mungkin saat ini atau masa depan perlu memfasilitasi peninggian dinding hulu, mungkin dengan menggunakan tailing, serta meningkatkan densitas tailing kering dan daya geser untuk memfasilitasinya
- kebutuhan untuk merehabilitasi TSF pada penutupan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan mencapai penggunaan atau fungsi lahan pasca-penutupan yang direncanakan.

5.3 Pertimbangan perencanaan dan risiko desain

TSF memerlukan evaluasi risiko menyeluruh untuk mengidentifikasi dan, bila sesuai, mengukur risiko yang harus dikelola selama proses perencanaan dan desain, dan kemudian selama tahap bangunan, operasi dan penutupan berikutnya. Kategori konsekuensi kegagalan bendungan suatu TSF dapat berkisar dari 'sangat rendah' ke 'A tinggi' (ANCOLD 2012a, 2012b), tergantung pada populasi yang berisiko dan potensi tingkat keparahan kerusakan atau kerugian. Kategori konsekuensi kegagalan bendungan yang ditetapkan digunakan untuk menentukan kriteria desain; bangunan dan persyaratan pengawasan; dan manajemen risiko, inspeksi serta persyaratan dan frekuensi pelaporan.

Semakin tinggi kategori konsekuensi kegagalan bendungan, semakin ketat desain, pengawasan bangunan, manajemen risiko serta persyaratan perencanaan tindakan darurat dan respons. TSF berisiko tinggi sering dapat diaudit oleh badan otorita.

Pedoman negara bagian dan teritori memberikan metode tambahan menetapkan peringkat risiko untuk perencanaan dan desain TSF,¹⁰ meskipun sebagian badan otorita sekarang tunduk kepada ANCOLD (2012a) untuk penetapan kriteria minimal desain keadaan banjir dan gempa bumi ekstrim.

Hal ini penting untuk memadukan perencanaan TSF ke dalam perencanaan LoM seluruh lokasi yang lebih luas untuk memastikan agar pengoperasian tujuan kesehatan dan keselamatan publik, masyarakat, dan lingkungan terpenuhi di sepanjang kehidupan operasi, termasuk setelah penutupan.

Saat TSF dikembangkan secara bertahap untuk memenuhi kebutuhan produksi dan menyebarkan belanja modal, jadwal rinci perlu dipersiapkan. Jadwal harus mencakup:

- pemilihan waktu tahap-tahap baru atau modifikasi
- urutan dan pemilihan waktu untuk desain, penelitian dan perizinan
- estimasi biaya modal dan operasional, setiap tahun dan untuk setiap tahap
- desain dan jadwal untuk rehabilitasi progresif pada setiap tahap, di mana peluang muncul dengan sendirinya.

Perencanaan seperti ini memastikan anggaran yang memadai untuk pekerjaan tersebut, bahwa penelitian dan desain yang dilakukan tepat waktu, dan bahwa tersedia cukup waktu untuk bangunan (termasuk kontingensi peristiwa iklim ekstrim dan kapasitas penyimpanan tailing, air hasil pengolahan dan tambang yang terkena dampak limpasan hujan) untuk menyelesaikan bangunan dan melaksanakan setiap tahap atau modifikasi baru.

Pendekatan berbasis risiko diterapkan pada perencanaan terpadu dan desain tailing harus memiliki fleksibilitas yang memadai untuk menghadapi perubahan parameter dan kendala yang dimasukkan ke dalam perencanaan dan desain. Ini mencakup pertimbangan dan kelonggaran untuk kondisi iklim yang selalu berubah, perubahan tuntutan untuk volume penyimpanan tailing, perubahan sifat bijih dan karenanya sifat tailing, perubahan tuntutan untuk air, perubahan persyaratan peraturan dan harapan masyarakat, dan potensi untuk penutupan tambang sebelum waktunya.

Identifikasi tahap konsep dan evaluasi pilihan dalam perencanaan dan desain TSF dijabarkan dan digambarkan dalam skenario berikut.

¹⁰ Lihat bagian referensi buku pegangan ini.

Identifikasi dan evaluasi pilihan—tahap konseptual

Pilihan untuk tailing seringkali telah ditentukan terlebih dahulu karena:

- insinyur dan operator terlalu mengandalkan pengalaman mereka sebelumnya —mengabaikan teknologi baru dan kekhususan proyek
- nasihat terbatas yang dicari dari sejumlah ahli internal dan eksternal yang terbatas
- kendala pada belanja modal, sering didorong oleh perhitungan net present value (NPV) dengan 'faktor diskonto' tinggi yang cenderung menunda pembelanjaan.

Langkah yang paling penting dalam mengembangkan sistem tailing konseptual untuk sebuah proyek adalah untuk mengumpulkan suatu tim desain multidisiplin yang mampu menilai implikasi tailing lokasi LoM. Tim desain harus mengambil langkah-langkah berikut.

1. Menetapkan parameter pengoperasian

Studi konseptual harus berdasarkan data. Data harus mencakup rencana LoM; lokasi topografi; daerah daerah tangkapan hidrologi; hidrogeologi; sejarah curah hujan dan penguapan data; volume yang diproyeksikan dan laju produksi tailing, serta fisik, kimiawi dan reologi mereka; ketersediaan, kualitas dan harga air; parameter geoteknik dari bahan bangunan dan pondasi yang tersedia; dan data seismik.

Tim desain juga perlu:

- menyusun semua studi tailing sebelumnya
- mengidentifikasi dan mengukur pendorong kinerja utama (misalnya, permintaan air tawar, meminimalkan DAL atau generasi salin, atau mengurangi kebisingan dan dampak visual yang dialami komunitas terdekat)
- mengidentifikasi semua persyaratan peraturan dan undang-undang yang mengatur desain, operasi dan penutupan TSF di wilayah yuridiksi proyek
- mengidentifikasi inventarisasi sumber daya yang akan tersedia melalui pertambangan atau urukan untuk menutup dan merehabilitasi TSF, termasuk bahan pelindung, berbagai bahan penutup, bahan drainase dan tanah lapisan atas
- mengidentifikasi kekhawatiran masyarakat, termasuk limpasan, kuantitas dan kualitas air rembesan, debu, dan penggunaan atau fungsi lahan pasca-penutupan.

Dalam beberapa kasus, air dapat menjadi pertimbangan operasional utama, sementara dalam kasus lain penutupan dapat menjadi pertimbangan penentu.

2. Mengidentifikasi kemungkinan lokasi penyimpanan tailing

Lokasi penyimpanan tailing mungkin dapat mencakup tempat-tempat greenfield (padang hijau/rumput), TSF yang ada, rongga tambang saat ini dan masa depan, tanah pasta pengurukan, dan tempat penyimpanan batuan sisa. Saat meninjau pilihan penyimpanan tailing, tim desain harus mempertimbangkan:

- pilihan untuk memaksimalkan pemulihan air dan konsolidasi tailing
- rotasi pelepasan tailing antara beberapa sel penyimpanan untuk mengurangi laju kenaikan dan memaksimalkan kepadatan konsolidasi
- sterilisasi badan bijih.

- potensi masalah drainase atau salinitas dan visual DAL, kebisingan dan debu
- dampak dari bendungan tailing atau kegagalan jaringan pipa
- daerah tangkapan menuju ke TSF, atau pengalihan air bersih
- gangguan langsung atau dampak kedekatan (potensi rembesan, bayangan drainase atau pelepasan sedimen) di lingkungan, warisan budaya, kemudahan komersial atau publik, atau nilai-nilai estetika
- apakah TSF dapat ditutup dan direhabilitasi dengan berhasil dan efektif biaya, termasuk kesesuaian dan kedekatan bahan penutupan, dan air pasca-penutupan.

Langkah ini akan menghasilkan evaluasi risiko komparatif, kapasitas penyimpanan versus grafik waktu untuk menilai apakah kemungkinan volume penyimpanan memadai, spesifikasi kepadatan tailing minimal, dan daftar singkat dari lokasi penyimpanan tailing yang disarankan serta metode pembuangan.

3. Melaksanakan neraca air LoM

Sementara banyak tambang di Australia secara berkala mengalami kekurangan air, beberapa tambang perlu berurusan dengan kelebihan air. Keseimbangan lokasi air diperlukan untuk mengevaluasi dampak berbagai pembuangan tailing dan pilihan penyimpanan sebagai fungsi dari berbagai pasokan air dan skenario curah hujan. Langkah ini menyarankan desain konseptual TSF dan memberikan evaluasi risiko berbagai pengeringan dan pilihan penyimpanan tailing.

4. Pilihan pengeringan

Pilihan pengeringan didorong oleh penilaian risiko yang dilakukan pada tahap konseptual untuk mengelola risiko lingkungan dan neraca air. Berbagai pilihan pengeringan tailing mekanis dan di tempat dapat diterapkan pada operasi tailing tertentu, yang mencakup pasta-pasta pengental konvensional berlaju tinggi, filter-filter hampa dan bertekanan, mesin-mesin pemisah sentrifugal dan siklon-siklon. Tidak ada pedoman praktis apa pun dalam memilih metode pengeringan tailing yang sesuai. Pada tahap konseptual, dianjurkan agar tim desain meninjau:

- persyaratan tailing yang tengah berlaku dan masa depan—setelah beberapa tahun penambangan, misalnya, rongga dapat menjadi tersedia untuk penyimpanan tailing yang akan memerlukan metode pengeringan yang berbeda dari yang digunakan di fasilitas tailing yang dibangun (karena itu lebih dari satu metode pengeringan tailing mungkin diperlukan selama LoM dan lokasi TSF mungkin perlu disesuaikan)
- teknologi yang digunakan pada operasi penambangan yang sama
- teknologi baru (new)
- teknologi terbaru (novel).

Berbagai pilihan pengeringan pada awalnya dapat dipilih dengan menggunakan neraca air dan target-target kepadatan tailing yang ditetapkan pada langkah-langkah sebelumnya. Data kinerja dan peralatan pengeringan yang umum dapat dikumpulkan dari lokasi-lokasi operasi lain, saran ahli yang penyedia peralatan dan/atau uji di atas meja laboratorium. Langkah ini menghasilkan penilaian terhadap berbagai pilihan pengeringan dan daftar pendek yang disarankan yang memenuhi spesifikasi desain kepadatan air dan tailing, dan menanggulangi risiko yang teridentifikasi sebelumnya.

5. Net present cost (NPC) dan penilaian harga

Berbagai pilihan pengeringan, penyimpanan dan penutupan tailing kemudian dapat dibuat urutannya dari sudut pandang finansial dan risiko. Untuk mengaktifkan pilihan guna dibandingkan, perlu untuk menghitung NPC dan NPV masing-masing. Pada tahap ini, biaya yang terkait dengan lokasi peralatan pengeringan dan lokasi penyimpanan, pilihan transportasi tailing (pemompaan, pengangkutan dan pengantaran) dan sensitivitas harga bahan-bahan yang habis dikonsumsi (pereaksi/reagen dan air) dapat dinilai. Penerapan perhitungan terhadap NPV secara signifikan mengurangi pertimbangan diskonto biaya jangka panjang dalam waktu lama. Oleh karena itu, penting untuk mendasarkan pilihan TSF dan keputusan tidak hanya pada nilai-nilai NPV/NPC semata, tetapi juga pada potensi risiko dan biaya, termasuk biaya penutupan untuk strategi membuat profil ulang, lapisan pelindung dan penutup, bangunan tindakan drainase dan air jangka panjang, termasuk rembesan intersepsi. Memberi diskonto selama periode yang sangat panjang telah sering menyebabkan pemilihan desain TSF yang memiliki implikasi biaya penutupan jangka panjang.

6. Penilaian akhir

Dengan menggabungkan semua langkah di atas, tim proyek dapat mengurutkan pilihan dan menyarankan pengeringan, transportasi, penyimpanan tailing yang optimal dan pilihan penutupan. Rekomendasi tim juga memberikan bimbingan dalam pemilihan penyedia dan konsultan eksternal yang sesuai untuk studi yang lebih rinci.

Harus diingat bahwa penilaian ini dapat sangat dipengaruhi oleh parameter non-numerik, seperti keprihatinan masyarakat. Oleh karena itu tim proyek konseptual harus melibatkan masyarakat, mengatasi keprihatinan, dan dengan seksama mendokumentasikan dan mengkomunikasikan temuan tim ke perusahaan pertambangan dan kepada masyarakat secara hati-hati.

5.4 Pertimbangan desain TSF

Bagian berikut mencakup penentuan jejak, parameter dan criteria desain, geokimia, reologi, karakterisasi geoteknik dan parameter, persyaratan peraturan, dan nilai-nilai masyarakat.

5.4.1 Penentuan lokasi

Studi penentuan lokasi (siting) bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi lokasi-lokasi dan metode-metode pembuangan untuk penyimpanan tailing yang aman dan hemat biaya. Studi tersebut harus mempertimbangkan berbagai pilihan, termasuk penggunaan tailing untuk pengurukan bawah tanah atau pit, dan metode-metode untuk pembangunan fasilitas pembuangan tailing dan batuan sisa terpadu, serta pilihan penyimpanan permukaan yang lebih konvensional. Studi penentuan lokasi tersebut harus mempertimbangkan:

- keadaan lokasi—iklim, topografi dan hidrologi (lokal dan regional), geologi dan hidrogeologi; kondisi pondasi; tata letak lokasi tambang; potensi untuk sterilisasi tubuh bijih; kebutuhan volume penyimpanan; risiko kesehatan dan keselamatan publik; dan potensi dampak sosial dan lingkungan
- evaluasi cacat fatal—misalnya, tidak menempatkan TSF langsung di bagian atas daerah-daerah yang berpenduduk, dan menghindari daerah penting seperti lahan basah, daerah yang mengandung dataran batu kapur, lokasi-lokasi warisan budaya dan jalur-jalur banjir
- jenis tailing—penyebaran ukuran partikel, reologi dan potensi untuk mengkontaminasi
- kedekatan dan ketinggian lokasi yang diajukan dalam kaitannya dengan pabrik pengolahan, yang mempengaruhi metode pengiriman tailing
- metode pembuangan dan jenis penyimpanan untuk lokasi yang diusulkan dan tailing
- volume penyimpanan yang tersedia dan potensi ekspansi
- luasan jejak (daerah yang terganggu)
- drainase permukaan dan dampak air tanah
- masalah-masalah penutupan— bendungan tailing jangka panjang (lamanya); stabilitas batter luar dan permukaan; rembesan dan kualitas air; kesesuaian dan kedekatan bahan penutupan; risiko kesehatan dan keselamatan publik; dan potensi dampak sosial dan lingkungan.

5.4.2 Parameter dan kriteria desain

Penting untuk parameter desain dan kriteria utama TSF untuk didefinisikan oleh tim proyek tambang, dan secara jelas didokumentasikan mendasari desain yang tersedia untuk insinyur desain fasilitas. Parameter desain dan kriteria utama meliputi:

- laju produksi minimal, maksimal dan rata-rata tailing untuk pelaksanaan sistem operasi pengiriman (kering ton/jam atau m^3 /jam)
- karakteristik geokimia yang dapat mempengaruhi pemilihan desain yang paling tepat untuk operasi dan penutupan
- kisaran konsentrasi padatan dan konsentrasi padatan rata-rata (% massa) yang dapat diterapkan pada laju-laju produksi
- kisaran karakteristik reologi dari lumpur tailing
- tonase tailing tahunan dan selama masa operasi yang mendasari penghitungan dalam merancang TSF
- kapasitas untuk menangani kondisi iklim yang ekstrim, termasuk curah hujan tinggi dan kekeringan
- kapasitas rata-rata maksimal dari sistem air-balik (m^3 /jam)
- ketersediaan dinding bendungan TSF yang sesuai dan bahan urukan dinding bendungan TFS yang memadai, termasuk parameter daya geser dan konduktivitas hidrolik
- kesesuaian tailing terdampar untuk digunakan dalam peninggian dinding hulu, termasuk parameter pemadatan, daya geser dan konduktivitas hidroliknya
- spesifikasi bangunan dan jaminan kualitas/kendali kualitas (QA/QC)
- kebutuhan dan spesifikasi pelapis TSF, jika diperlukan

- ketersediaan bahan yang sesuai dan memadai untuk rehabilitasi TSF pada penutupan, termasuk parameter daya geser, konduktivitas hidrolik dan erodibilitasnya
- kesehatan dan keselamatan publik, sasaran masyarakat dan kepatuhan lingkungan, seperti yang didefinisikan dalam konsultasi dengan pemangku kepentingan, termasuk rembesan, kualitas air tanah, kualitas udara dan tingkat kepatuhan radioaktivitas
- kebutuhan pengoperasian dan pemeliharaan
- dekomisioning, rehabilitasi, penutupan dan persyaratan pemantauan perawatan purna operasi, termasuk pertimbangan bentuk lahan akhir TSF dan profil lereng, pelindung, penutup dan bangunan tindakan drainase untuk menampung kemungkinan banjir.

ANCOLD (2012a) memberikan lembar aliran untuk desain TSF meliputi:

- penugasan kehidupan yang diharapkan untuk fasilitas
- tugas dari kategori konsekuensi kegagalan bendungan
- penentuan kebutuhan akibat banjir yang disebabkan karena kegagalan bendungan
- pengecekan kategori konsekuensi bendungan meliputi tumpahan air dan tailing, yang mengarah ke kebutuhan penyimpanan air yang diperlukan serta freeboard dan kemungkinan spillway
- penentuan persyaratan penyimpanan tailing.

ANCOLD (2012a) memberikan rekomendasi pada kelonggaran penyimpanan air minimal TSF di musim hujan; misalnya, di Queensland kelonggaran desain penyimpanan. Hal ini juga memberikan rekomendasi pada kelonggaran ekstrim minimal penyimpanan, persyaratan kontingensi freeboard, desain kemungkinan banjir untuk spillway dan kelonggaran wave-freeboard, dan kemungkinan kekuatan gempa termasuk pengkajian potensi tailing untuk mencair, sebagai kategori konsekuensi kegagalan fungsi bendungan yang ditentukan. Faktor minimal keamanan yang diizinkan untuk stabilitas tanggul penahan air TSF juga disarankan, dengan catatan bahwa untuk ketinggian A dan kegagalan bendungan fasilitas kategori konsekuensi ekstrim, harus dipertimbangkan untuk meningkatkan faktor keselamatan yang berterima di atas nilai-nilai minimal ANCOLD yang disarankan.

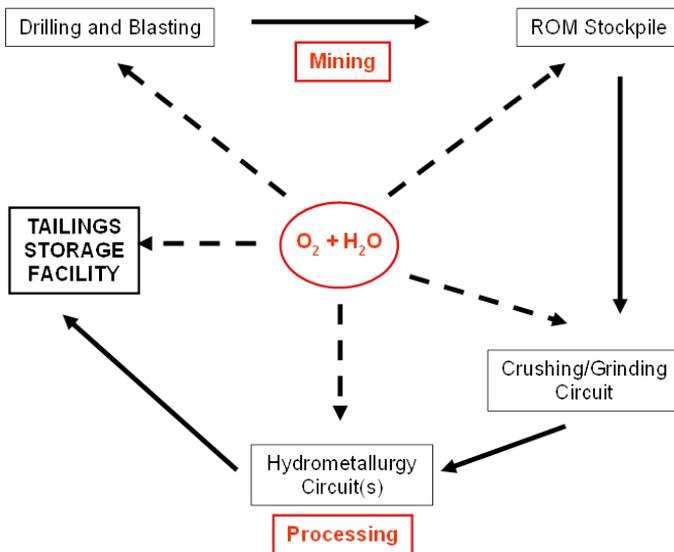
5.4.3 Geokimia tailing

Karakterisasi mineralogi dan geokimia dari tubuh bijih akan, sampai batas tertentu, mencirikan sifat geokimia dari tailing yang dihasilkan, yang selanjutnya dapat dipengaruhi oleh reagen proses yang digunakan. Kehadiran mineral lempung/tanah liat dapat memiliki pengaruh besar pada pengeringan, pengendapan dan konsolidasi tailing. Geokimia yang diharapkan dari tailing (khususnya, potensi DAL, salinitas dan pencemar lainnya yang akan dihasilkan oleh tailing¹¹) mempengaruhi bagaimana harus dibendung dan kemudian direhabilitasi. Idealnya, tailing yang berpotensi membentuk asam (PAF) harus diusahakan tetap di bawah air atau jenuh sebelum jeda waktu untuk pembentukan asam telah terlampaui. Proses pereaksi alkalin dan/atau air hasil pengolahan memperpanjang jeda waktu dengan memberikan penyangga. Laporan desain harus berisi referensi ke semua penelitian geokimia yang dilakukan selama rancangan TSF.

Siklus pelapukan, yang di tanah dan batuan yang lemah menyebabkan degradasi dan pelunakan, dimulai dengan pemaparan dari bijih dan batu tuan rumah ke udara dan air melalui pengeboran dan peledakan, diikuti oleh penambangan dan penimbunan bijih ROM, kemudian pemrosesan, dan akhirnya penyimpanan konvensional tailing tersebut di fasilitas permukaan yang relatif bebas pengeringan (free-draining) terhadap kondisi-kondisi udara (Gambar 12).

¹¹ Lihat buku pegangan praktik kerja unggulan *Drainase asam dan logam* (DIIS 2016d).

Figure 12: Siklus tanah dan batuan lapuk pada penambangan, pemrosesan dan penyimpanan tailing



Tailing yang mengandung sulfida tapi kurang cukup mengandung mineral-mineral penetral/buffering asam biasanya sangat rentan terhadap oksidasi dan pembentukan asam, sulfat dan pelepasan logam pada paparan ke udara. Hal ini karena butiran halus tailing memiliki permukaan reaktif yang luas. Tailing tersebut juga rentan terhadap reaksi asam basa mengarah ke netral untuk drainase alkalin dengan larutan tinggi sulfat dan logam.

Di mana sisa preaksi proses menambahkan alkalinitas, dan karena kondisi hampir-jenuh, tailing mungkin mengalami waktu jeda hingga beberapa tahun sebelum drainase asam dimulai, dan oksidasi dapat terjadi secara perlahan, karena didorong oleh difusi lambat oksigen dari permukaan tailing yang mengering. DAL dari tailing yang beroksidasi dapat terjadi melalui limpasan atau rembesan permukaan. Limpasan yang terkontaminasi dapat meninggalkan fasilitas tersebut melalui spillway, jika ada, atau rembesan dapat muncul di ujung kaki tanggul penahan air dan/atau ke fondasi di bawah TSF, dan mungkin muncul kembali di permukaan.

Jelaslah, potensi dan kemungkinan besarnya DAL dari tailing harus hati-hati dievaluasi dalam penentuan jejak, perencanaan, desain, operasi dan penutupan TSF untuk menghindari atau meminimalkan dampak pada air permukaan penerima atau air tanah. Penilaian efektif potensi DAL dari tailing harus mencakup:

- penilaian geokimia tailing, termasuk acid base accounting/ABA (perhitungan asam basa), analisis logam, pengujian lindi dan kinetika reaksi di bawah kondisi pengoksidasian, dan hadirnya reagen proses
- penilaian karakteristik potensi peredaman tanggul tailing, tanggul penahan air TSF dan pondasi dan geokimia tanah.

Sementara sedikit yang dapat dilakukan untuk mengubah rezim hidrologi dari lokasi tambang, banyak tergantung pada praktik-praktik pengelolaan air yang dilaksanakan di lokasi. Logam yang dilepaskan dari tailing dapat dilemahkan melalui berbagai proses geokimia, termasuk:

- pertukaran ion
- adsorpsi ke oxy-hidroksida besi, magnesium, kompleks karbon atau tanah liat
- reaksi netralisasi (didorong, misalnya, dengan karbonat dalam tailing dan pondasi atau bikarbonat air tanah)
- reaksi presipitasi (seperti pembentukan gypsum, besi oxy-hidroksida, aluminium hidroksida dan silikat dan silika amorf)
- reaksi redoks menciptakan kondisi kurang atau penghapusan sulfat dari larutan (misalnya, dalam reaksi lahan basah).

Penimbunan sub-aerial konvensional sulfida tailing di TSF permukaan memfasilitasi oksidasi mineral sulfida pada pengeringan permukaan yang dapat menghasilkan limpasan dan rembesan kaya sulfat, logam dan mungkin keasaman jika tidak ada kelebihan mineral yang menetralkan asam. Pilihan untuk dipertimbangkan guna mengelola sulfida tailing termasuk menjaga tetap di bawah air untuk membatasi masuknya oksigen, mengendalikan tailing secara fisik untuk mengurangi masuknya oksigen, menambahkan alkalinitas, dan desulfurisasi. Di mana dimungkinkan, sulfida tailing dapat ditimbun dan dijaga tetap di bawah penutup air, meskipun ini biasanya membutuhkan iklim lembab dan topografi yang menguntungkan untuk mengisi ulang penutup melalui curah hujan. Penutup air lebih dimungkinkan dalam pengoperasian daripada setelah penutupan, bahkan pada iklim kering. Setelah penutupan, penutup air permanen membutuhkan resapan alami yang cukup untuk memelihara penutup air di belakang bendungan penahan air. Mungkin dapat juga setelah penutupan untuk menjaga agar penutup lahan basah guna membatasi masuknya oksigen dan juga secara pasif mengobati DAL, atau penutup tanah jenuh ditindih oleh resapan dan lapisan pelindung. Dalam semua kasus, tailing sulfida seharusnya tidak dibiarkan beroksidasi, atau bahan alkali lain akan perlu ditambahkan ke tailing untuk menetralkan produk oksidasi yang telah terbentuk. Untuk lahan basah maupun selimut tanah jenuh, sangat penting agar harus bebas oksigen dan penurunan kondisi di dasar penutup dijaga agar tailing sulfida yang tidak teroksidasi di bawahnya terlindung dari oksidasi, dan untuk mengurangi sulfat yang terbentuk.

Kerentanan tailing pada oksidasi dapat dikendalikan dengan metode, antara lain meningkatkan laju kenaikan sehingga tailing di pantai selalu tetap jenuh (tailing pantai ditutupi oleh tailing basah sebelum dapat mengering), pengentalan untuk menghasilkan lumpur atau pasta non-segregating (yang tak terpisah) lebih mampu untuk tetap jenuh pada penimbunan, filtrasi untuk menghasilkan kue yang dapat dipadatkan guna membatasi masuknya oksigen, dan pencampuran dengan limbah berbutir kasar guna memungkinkan pemadatan guna membatasi masuknya oksigen. Difusi oksigen cepat berkurang 3-4 lipat seiring meningkatnya derajat kejenuhan di atas 85%, yang dapat difasilitasi oleh pengeringan dan/atau pemadatan. Untuk alasan geoteknik, dinding bendungan TSF umumnya dirancang untuk dikeringkan dengan baik dan tak jenuh, menyediakan oksigen yang siap masuk ke tailing yang berdekatan. Bangunan dinding bendungan TSF dengan tailing mengandung sulfida dapat menimbulkan risiko DAL yang signifikan dibandingkan dengan bangunan dengan bahan pembentuk urukan non-asam atau tailing.

Bahan alkali, seperti batu gamping (CaCO_3) dan kapur (CaO atau Ca(OH)_2), dapat ditambahkan sebagai penutup permukaan atas tailing sulfida guna menghasilkan dan menyusupkan alkalinitas, dicampur dengan tailing sulfida sebelum penimbunan untuk mengimbangi reaksi keasaman, atau digunakan untuk memproses DAL dari tailing.

Desulfurisasi (atau depyritisation) dari tailing, bilamana mungkin, melibatkan pemisahan mineral sulfida non-ekonomis ke dalam aliran volume rendah, meninggalkan sebagian besar tailing dengan kandungan sulfur rendah yang akan kurang reaktif dan sebaiknya bukan pembangkit non-asam. Kedua aliran tailing dapat dikelola secara terpisah dan berbeda. Bahan sulfur-tinggi dapat selektif ditimbun di bawah kolam tailing untuk tetap terendam selama operasi, dan mungkin setelah penutupan, atau ditutup dengan tailing rendah sulfur setelah penutupan untuk menjaga saturasi tailing sulfur-tinggi di bawahnya. Tailing yang didesulfurisasi dengan karakteristik pembangkit-non-asam atau pemakan asam dapat dibuang bersamaan dengan batuan sisa di tempat pembuangan atau digunakan sebagai bahan penutup. Biaya desulfurisasi tailing dapat diimbangi oleh produksi aliran tailing rendah sulfur yang dapat berpotensi digunakan untuk menyediakan bahan penutup akhir, daripada harus menambang bahan penutup atau mengimpornya dari tempat lain.

5.4.4 Reologi tailing

Reologi tailing adalah fungsi konsentrasi padatan, penyebaran ukuran partikel, berat jenis, dan mineralogi dan geokimia spesifik yang diharapkan, dan merupakan penentu utama dalam menilai lumpur tailing dan kekentalan tailing yang dapat dipompa. Laporan desain harus berisi rujukan ke penelitian reologi yang dilakukan, termasuk parameter reologi yang dipilih untuk keperluan desain transportasi tailing.

Tailing lumpur konsentrasi padatan rendah menunjukkan perilaku Newtonian (Boger et al. 2002), di mana tegangan geser dari tailing merupakan fungsi linear dari laju geser yang diterapkan. Setelah tailing kental berada di atas konsistensi tertentu, tailing akan menunjukkan perilaku non-Newtonian di mana tailing memiliki tegangan leleh luar yang tegangan gesernya meningkat seiring dengan meningkatnya laju geser dalam beberapa mode, dengan kemungkinan perilaku tergantung waktu. Desain sistem dan operasi pembuangan tailing yang tepat membutuhkan pemahaman tentang karakteristik reologi dari tailing, baik pada geser maupun pada kompresi. Pelaksanaan dan optimalisasi sistem pembuangan tailing melibatkan studi reologis untuk menentukan:

- kelayakan pengeringan tailing untuk konsentrasi padatan yang diperlukan sebelum transportasi dan pembuangan
- kondisi optimal untuk pemompaan tailing dan transportasi jaringan pipa
- konsentrasi padatan yang dibutuhkan untuk mencapai yang optimal dari tailing yang dibuang (Boger et al. 2002).

Boger et al. (2002) menggambarkan lembar uji (flow sheet) perencanaan, desain dan aliran untuk memperhitungkan reologi tailing dalam desain sistem pembuangan. Di bawah 'perencanaan', mereka menyoroti parameter reologi yang diperlukan untuk metode pembuangan yang dipilih, transportasi tailing serta biaya dan risiko-efektivitas, dan derajat optimal pengentalan tailing. Di bawah 'pertimbangan desain', mereka menyoroti desain pengental, kemudahan dipompa (pumpability), serta prediksi lereng tailing pantai dan tinggalnya. Tes reologi termasuk tegangan leleh versus konsentrasi padatan, viskositas versus laju geser, dan efek flokulan.

5.4.5 Parameter karakterisasi geoteknik

Penelitian secara geoteknik diperlukan pada kondisi hidrologi dan hidrogeologi lokasi TSF, kondisi fondasi di bawah dinding bendungan TSF, bahan bangunan dinding, dan tailing, termasuk karakterisasi geoteknik dan parameter penentuan. Penelitian ini harus disesuaikan dengan kompleksitas proyek dan kategori konsekuensi dari TSF, dan diharapkan untuk memberikan informasi untuk desain rinci dan pengambilan keputusan proyek. Seringkali, sampel tailing tidak tersedia untuk pengujian geoteknik selama tahap perencanaan dan desain, sehingga diperlukan penilaian kemungkinan sifat geotekniknya, parameter dan perilaku berdasarkan sejumlah uji yang dilakukan pada simulasi tailing atau pengujian tailing yang sama. Laporan desain harus berisi rujukan ke penelitian yang dilakukan selama merancang TSF dan menentukan penegasan penelitian yang harus terjadi saat sampel representatif tailing yang tersedia, yang terdiri dari (namun tidak terbatas pada):

- penelitian geoteknik untuk setiap TSF dan jejak dan komponen terkait, termasuk kondisi pondasi, dan ketersediaan dan kesesuaian bahan urukan yang diusulkan
- penilaian banjir lokasi
- penilaian seismik lokasi
- karakteristik fisik dan parameter geoteknik dari tailing, termasuk distribusi ukuran partikel mereka, plastisitas dan berat jenis tertentu
- penelitian secara hidrogeologi—model konseptual air tanah termasuk kualitas air latar belakang dalam zona yang diproyeksikan dari pengaruh TSF.

5.4.6 Persyaratan peraturan

Yurisdiksi negara bagian yang berbeda mungkin menetapkan berbagai persyaratan untuk desain TSF, termasuk, misalnya, kelonggaran penyimpanan air musim hujan, persyaratan freeboard, banjir desain untuk dipenuhi, beban gempa, faktor yang diperlukan keamanan untuk stabilitas tanggul penahan air TSF dan, dalam beberapa kasus seperti tailing uranium, persyaratan penutup penutupan minimal. Walaupun demikian kebanyakan negara bagian menunda kriteria desain TSF ANCOLD (2012a)

5.4.7 Nilai-nilai masyarakat

Nilai-nilai masyarakat seperti kesehatan, warisan budaya, penggunaan tanah sekitarnya, estetika dan lingkungan harus dimasukkan selama proses pengambilan keputusan untuk TSF dari perencanaan hingga penutupan. Ini melibatkan, konsultasi rutin yang bermakna dan berkelanjutan dengan kelompok yang berkepentingan yang relevan, termasuk berbagi informasi dan dialog dengan pemangku kepentingan. Konsultasi ini biasanya dilakukan sebagai bagian dari keterlibatan pemangku kepentingan selama proses persetujuan pertambangan dan seluruh operasi untuk memastikan bahwa seluruh masyarakat diberitahu tentang kemungkinan dampak dan bagaimana akan dikelola. Konsultasi lebih lanjut akan diperlukan sebagai pendekatan penutupan TSF guna memastikan masyarakat telah terinformasi lengkap dan mampu berkontribusi untuk tujuan dan rencana penutupan.

5.5 Aspek-aspek desain

Desain TSF praktik kerja unggulan mengharuskan agar semua aspek TSF dirancang untuk memenuhi atau melebihi kriteria desain dan standar minimal yang mencerminkan apresiasi kategori potensi konsekuensi kegagalan bendungan dan kemungkinan dampak pada kesehatan, keselamatan, lingkungan dan masyarakat terkait yang terkait dengan bangunan, operasi dan penutupan TSF. Kinerja TSF harus memenuhi kriteria minimal yang ditetapkan dalam desain sepanjang kehidupan fasilitas, meluas sampai ke pasca-penutupan. Karena kehidupan desain pasca-penutupan (puluhan ribu tahun) jauh lebih lama dari umur operasional (puluhan tahun), kriteria desain penutupan untuk banjir dan gempa bumi yang lebih ketat dari kriteria desain operasi (ANCOLD 2012a).

Pendekatan desain berbasis risiko menyediakan kerangka kerja untuk mengelola ketidakpastian dan perubahan yang terkait dengan TF serta memiliki sejumlah manfaat (Williams 1997), yang mencakup:

- peningkatan kuantifikasi besarnya dan biaya paparan ke bahaya (hazard)
- penyediaan alasan yang dapat dipertahankan berkaitan adopsi strategi optimal
- identifikasi dan penghapusan bahaya berisiko rendah
- menyoroti risiko signifikan yang perlu dikurangi dengan tindakan perawatan teknik yang tepat
- fasilitasi solusi hemat biaya yang mencapai risiko rendah yang berterima.

Pengelolaan TSF praktik kerja unggulan juga membutuhkan keselarasan antara perencanaan TSF dan rencana tambang. Perencanaan TSF harus ditinjau dalam menanggapi setiap perubahan terhadap rencana tambang, dan jika perlu direvisi untuk memastikan setiap penentuan atau persyaratan peninggian berurutan secara memadai dibiayai dan dijadwalkan. Kegiatan operasi dan pengelolaan harus diusahakan untuk mencapai tujuan penutupan sepanjang hidup proyek.

Pertimbangan harus diberikan untuk:

- paduan rencana TSF ke dalam rencana tambang dan jadwal dalam mengembangkan metodologi pembuangan tailing (misalnya, menggunakan atau menimbun tanah lapisan atas dan batuan sisa untuk bangunan peninggian dinding bendungan dan/atau batas-batas atas (cap) dan lapisan penutup)
- lokasi TSF untuk menghindari sterilisasi sumber daya mineral atau pencemaran sumber air
- menimbun bahan bangunan tanggul penahan air yang tepat dan bahan pencungkupan permukaan
- potensi untuk mengelilingi TSF di batuan sisa guna membentuk lahan limbah terpadu
- karakterisasi geokimia tailing untuk menilai kemungkinan dampak terhadap DAL selama operasi dan setelah penutupan¹²
- pengelolaan perubahan—peningkatan pabrik pengolahan berdampak pada kebutuhan penyimpanan untuk tailing dan air serta laju kenaikan tailing, yang dapat, pada gilirannya, berimplikasi untuk kekuatan dan stabilitas tailing
- pengolahan ulang tailing—beberapa tailing mungkin berisi mineral berharga, sehingga mungkin tujuan manajemen untuk menyediakan penyimpanan sementara sampai pemulihan ekonomi menjadi layak; namun, ini janganlah dijadikan alasan untuk meninggalkan tailing dalam keadaan geokimia tidak stabil atau reaktif untuk waktu lama, dan rencana kontingensi untuk penutupan di tempat masih harus disiapkan.

5.5.1 Bendungan tailing

Struktur bendungan tailing harus dirancang dan dibangun sesuai dengan prinsip-prinsip rekayasa geoteknik yang baik, seperti yang disediakan oleh ANCOLD (1998, 2000a, 2000b, 2003, 2012a). Pertimbangan utama untuk desain struktur bendungan tailing adalah:

- kondisi pondasi yang sesuai
- zonasi dinding bendungan dan parameter geoteknik bahan bangunan
- stabilitas lereng geoteknik, termasuk pertimbangan potensi pencairan dan/atau kehilangan kekuatan (terutama dari tailing) selama dan/atau setelah beban gempa
- rembesan dan kebutuhan untuk filter, drainase internal maupun inti-inti liat (clay cores) dan retakan-retakan pada fondasi di bawah dinding bendungan
- pertahapan bangunan, dengan peninggian dinding progresif, penambahan sel-sel bendungan atau bangunan fasilitas baru dari waktu ke waktu
- pemilihan bahan bangunan, termasuk tailing yang digali atau ROM batuan sisa, di mana sesuai
- pemilihan teknik bangunan dan persyaratan peralatan
- QA/QC dari proses bangunan, termasuk pengendalian mutu bahan urukan, kadar air dan tingkat pemadatan, dan survei.

¹² Lihat buku pegangan praktik kerja unggulan *Drainase asam dan logam* (DIIS 2016d). Pemilihan metode penempatan tailing, kemungkinan persyaratan pelapis dan jenis bangunan tanggul penahan air dapat dipengaruhi oleh tingkat risiko geokimia. Sampel untuk karakterisasi dapat diperoleh dari kerja uji metalurgi yang biasanya dilakukan sebagai bagian dari tahap pra-kelayakan dari proyek pertambangan baru.

5.5.2 Pengiriman tailing

Tailing biasanya dipompa sebagai lumpur di sepanjang jaringan pipa, meskipun dalam beberapa situasi mungkin untuk menyampaikan tailing berdasarkan gravitasi ke fasilitas penyimpanan (misalnya, di saluran beton). Pumpability lumpur tailing adalah fungsi reologi dan kemampuan sistem pemompaan. Semakin tinggi konsentrasi zat padat dari lumpur tailing, semakin tinggi tegangan leleh dan untuk jenis pompa tertentu semakin sulit untuk memompanya.

Persyaratan peralatan pemompaan khusus untuk tailing dengan konsistensi yang berbeda-beda disajikan pada Tabel 5. Persyaratan peningkatan kekuatan dan tekanan lini bersama dengan meningkatnya konsentrasi padatan tailing (dan, dalam beberapa kasus, dengan meningkatnya jarak pemompaan dan kepala) sesuai dengan peningkatan yang signifikan dalam biaya pemompaan. Biaya peningkatan pengentalan tailing dapat diimbangi dengan peningkatan pemulihan air hasil pengolahan, jaringan pipa tailing berdiameter dengan lebih kecil, meningkat tailing kepadatan, pengurangan persyaratan untuk meninggikan tanggul penahan air TSF, penurunan risiko luberan dan pengurangan rembesan.

Pemisahan butiran kasar dan butiran halus tailing dalam pabrik pengolahan untuk menciptakan dua aliran tailing memungkinkan pengiriman dan penyimpanan tailing yang lebih efektif. Misalnya, tailing pasir dapat dengan mudah dikeringkan dan dipompa, diangkut atau dikirimkan dengan truk. Sisanya butiran halus mungkin dapat lebih efektif dikentalkan, sehingga meningkatkan proses pemulihan air hasil pengolahan.

Tabel 5: Persyaratan alat pemompaan untuk tailing dengan konsistensi berbeda-beda

KONSISTENSI TAILING	PERSYARATAN ALAT PEMOMPAAN
Lumpur/slurry	Pompa sentrifugal (dengan tekanan garis rendah)
Kental	Pompa sentrifugal atau piston/diafragma (dengan tekanan garis tinggi)
Pasta dengan kekenyalan tinggi	Dapat dipompa oleh pompa sentrifugal hingga hasil tekanan sekitar 150 Pa, jika tidak membutuhkan pompa piston/diafragma (dengan tekanan garis yang lebih tinggi)
Pasta dengan kekenyalan rendah	Piston pompa ganda perpindahan positif (dengan tekanan garis tinggi)

Sumber: Williams & Williams (2004).

Sepanjang koridor jaringan pipa tailing, terdapat kebutuhan untuk melindungi lingkungan terhadap tumpahan tailing karena kemungkinan kebocoran jaringan pipa dan pipa pecah, serta pembersihan penyumbatan jaringan pipa. Metode untuk mengendalikan pembuangan tailing jika insiden tersebut terjadi antara lain:

- bangunan tanggul bendungan, saluran air atau genangan air di sepanjang koridor jaringan pipa
- menyambung jaringan pipa dengan diameter jaringan pipa yang lebih besar untuk situasi di mana jaringan pipa tailing melintasi lingkungan yang sensitif (seperti penyeberangan sungai) atau menyeberang rute transportasi
- pemeriksaan rutin rute jaringan pipa untuk korosi dan kebocoran
- penggunaan sensor tekanan diferensial atau instrumentasi pengukuran aliran dan sistem alarm untuk memperingatkan operator jika terjadi kegagalan jaringan pipa
- pengukuran ketebalan dinding jaringan pipa untuk tailing abrasif guna membantu perencanaan pemeliharaan jaringan pipa dan alat kelengkapan.

5.5.3 Pengelolaan dan pemulihan air tailing

Pengelolaan yang efektif dari kuantitas dan kualitas air merupakan pendorong utama untuk tailing yang bertanggung jawab. Pertimbangan utama yang berkaitan dengan air dalam desain, operasi dan penutupan TSF adalah:

- ketersediaan dan biaya air dari kualitas yang berterima untuk pengolahan dan penggunaan lainnya
- persaingan penggunaan air dan nilai atas air bagi masyarakat
- kebutuhan untuk supernatan, curah limpasan hujan dan pemulihan/ekstraksi bahan pereaksi/reagen proses
- menetapkan target densitas kepadatan kering untuk endapan dan konsolidasi tailing (dicapai dengan desain yang tepat); yaitu, mengelola ukuran TSF dan pelepasan tailing untuk mencapai target pemulihan air supernatan
- laju aliran dan jarak pemompaan
- mengurangi kehilangan penguapan (di mana neraca air defisit) atau mendorong penguapan (jika air berlebih)
- meminimalkan generasi DAL dan salinitas
- pengeringan tailing untuk mengurangi pembuangan reagen pengolahan bersama tailing
- mengelola pengolahan air (jika diperlukan) dan dilepas ke lingkungan (air berlebih)
- mengurangi risiko luberan (penyebab umum kegagalan TSF)
- mengurangi rembesan ke air tanah, termasuk dengan menyediakan drainase bawah
- mengurangi risiko yang terkait dengan penyimpanan air di TSF, yang dapat melibatkan pemagaran perimeter, meminimalkan area yang tergenang air, jaring atau kebisingan terputus-putus (intermiten) untuk mengalihkan perhatian burung
- menyediakan penyimpanan yang cukup dan/atau kapasitas spillway untuk menampung curah hujan musiman serta badai ekstrim.

Tambang sering bersaing untuk sumber daya air dengan pengguna lain, seperti pertanian, pasokan air domestik dan industri, tambang lainnya dan lingkungan. Penting bahwa industri pertambangan dilihat sebagai pengguna air yang bertanggung jawab dan berkomitmen untuk pelestarian nilai-nilai air untuk memastikan kelanjutan akses ke sumber daya yang terbatas dan berharga.

Di banyak lokasi tambang di Australia, air adalah langka atau berkualitas buruk. Pemulihan air tambahan dari tailing dapat meningkatkan sumber daya air proyek pertambangan, mengurangi air yang diambil dari sumber daya alam air dan memulihkan reagen proses berharga (seperti sianida, dalam kasus pengolahan emas).

Saat permukaan mengering melalui penguapan, tailing yang mengandung sulfida berpotensi untuk mengoksidasi dan menghasilkan asam dan logam limpasan dan rembesan. Peresapan curah hujan dapat meluluhkan produk oksidasi, melepaskan pencemar ke air tanah. Tailing dan/atau air tailing mungkin mengandung salinitas tinggi karena sifat garam tailing dan/atau air pengolahan yang digunakan. Air tailing mengandung bahan kimia pengolahan sisa, seperti sianida, dan dapat diberikan basa atau asam untuk diolah. Pencemar dapat terangkut dalam limpasan dan rembesan yang berasal dari TSF tersebut. Risiko terhadap lingkungan tersebut dikendalikan oleh strategi-strategi desain operasi, penutupan dan rehabilitasi yang efektif.¹³

Penting agar biaya air yang nyata digunakan dalam evaluasi ekonomi pemilihan pemulihan air. Biaya air meliputi:

- modal dan biaya operasi pengembangan, operasi dan pemeliharaan sistem penyediaan air
- biaya lingkungan, dengan mempertimbangkan nilai penerimaan lahan basah alami, sungai, danau dan ekosistem yang bergantung
- biaya untuk pengguna yang dipindahkan

¹³ Lihat buku-buku pegangan praktik kerja unggulan *Drainase asam dan logam* (DIIS 2016d) dan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a).

- biaya intersepsi rembesan, diimbangi dengan volume air ini dapat kembali ke pabrik pengolahan
- biaya gangguan produksi karena kekurangan pasokan.

Pemulihan air dari TSF umumnya terbatas pada pemulihan air supernatan dan curah limpasan hujan, meskipun rembesan dari sistem drainase bawah atau melalui dinding juga mungkin dapat dikumpulkan. Air tailing lainnya hilang terbawa dalam tailing, penguapan dari kolam penguras dan tailing basah, serta rembesan ke fondasi. Untuk memaksimalkan pemulihan air permukaan dari TSF diperlukan desain yang baik, bangunan dan sistem pengurasan, yang harus mencakup perencanaan dan pelaksanaan perimeter pembuangan tailing untuk mengarahkan air permukaan ke kolam penguras, meminimalkan ukuran kolam penguras, cepat kembalinya dari air permukaan untuk meminimalkan kehilangan akibat penguapan, dan menjaga pompa pengurasan dan jaringan pipa kembali air.

5.5.4 Pengendalian perembesan

Volume air yang dibuang bersama tailing lumpur setiap tahun dapat beberapa kali lipat curah hujan rata-rata tahunan pada iklim kering, meskipun tingkat kelebihan biasanya cukup konstan, tidak seperti kelebihan dari peristiwa hujan deras terisolasi. Ini akan meningkatkan potensi rembesan, meskipun tailing air supernatan saja dapat dengan mudah ditangani dengan pemompaan. Disisi lain, hujan deras dengan cepat menambah volume besar genangan air di permukaan tailing, yang akan memakan waktu yang cukup lama untuk dipompa ke bawah.

Untuk penimbunan lumpur tailing, terdapat kemungkinan besar rembesan akan terjadi ke dalam pondasi. Sebagian rembesan fondasi akan masuk ke penyimpanan di dalam pondasi, meningkatkan konduktivitas hidrolik, dan sebagian akan menyusup ke tanah menyebabkan permukaan air mengembang. Pertimbangan dapat diberikan untuk menyediakan drainase bawah di mana ada kemungkinan besar rembesan terkontaminasi ke pondasi berpori, meskipun aliran air ke bawah (underdrain) akan cenderung tersekat oleh kue di sebelah tailing yang terkonsolidasi. Ada juga kemungkinan besar bahwa rembesan berpotensi terkontaminasi akan terjadi melalui dinding bendungan, muncul di ujung kaki bawah.

Terdapat risiko rembesan dari tailing yang disimpan dapat menyebabkan pencemaran air tanah yang mungkin dapat mengancam kesehatan masyarakat, membuat air tanah tidak sesuai untuk pengguna lain (misalnya, untuk ternak atau irigasi), menyebabkan dampak lingkungan, melebihi kondisi atau komitmen regulasi (yang mungkin dipisahkan dari dampak), atau berkontribusi pada penurunan stabilitas geoteknik. Aspek-aspek berikut perlu dipertimbangkan dalam desain untuk cukup mengendalikan rembesan:

- karakteristik geokimia dan hidrolik dari pondasi bawah TSF, termasuk hidrogeologi di bawahnya dan mungkin kebutuhan untuk pelapis TSF
- karakteristik hidrolik dinding bendungan, termasuk kemungkinan kebutuhan untuk clay core, retakan di dalam pondasi di bawah dinding bendungan dan saluran air internal untuk mencegah erosi jaringan pipa
- pencegahan lapisan berpermeabilitas tinggi yang terbentuk antara kenaikan tanggul penahan air TSF, yang dapat menyebabkan kekhawatiran rembesan atau stabilitas di masa depan
- drainase bawah untuk membantu mencegah drainase gravitasi dari timbunan tailing
- sistem kurasan dirancang dan dioperasikan untuk membatasi penyimpanan air supernatan tailing dan curah hujan insiden pada permukaan tailing, dan karenanya membatasi rembesan.

Pelapis tidak digunakan di bawah TSF di mana tidak ada risiko dampak dari rembesan ke dalam pondasi. Namun, TSF harus dilapisi untuk membatasi kemungkinan perpindahan pencemar di mana terdapat risiko kontaminasi dari sumber air tanah di bawahnya atau dampak ekosistem yang tergantung pada air tanah. Proyek pertambangan baru mungkin akan diminta untuk membuktikan mengapa pelapis tidak diperlukan (yaitu, untuk membuktikan rembesan yang tidak akan menimbulkan dampak merugikan yang terukur untuk kualitas air tanah atau ekosistem yang tergantung air tanah). Pembuktian tersebut mungkin bahwa rembesan tailing geokimia jinak, bahwa fondasi memiliki konduktivitas hidrolik rendah yang berterima (nilai jenuh dari, katakanlah, $<10^{-9}$ m/s), atau yang air tanahnya tidak memiliki penggunaan yang bermanfaat (misalnya, hipersalin). Semua pelapis sedikit banyak akan bocor, dan semakin efektif pelapis, tailing akan semakin kurang mengering dan mengkonsolidasi. Selanjutnya, pelapis memiliki umur yang terbatas, dan akan gagal setelah penutupan TSF, saat sumber daya yang tersedia untuk memulihkan kegagalan akan terbatas.

Jika pelapis diperlukan untuk mengendalikan rembesan terkontaminasi, dengan tidak adanya landasan konduktivitas yang sangat rendah hidrolik, dapat dipertimbangkan untuk memadatkan tanah liat, geomembran atau pelapis komposit. Pelapis tanah liat yang dipadatkan biasanya akan diharapkan untuk mencapai konduktivitas hidrolik jenuh $<10^{-8}$ m/s, membutuhkan tanah liat yang sesuai, peralatan pemadatan yang tepat dan kendali pemadatan yang baik. Sebuah geomembran, ditempatkan menggunakan kendali kualitas yang baik, akan diharapkan untuk mencapai konduktivitas hidrolik setara dengan sekitar 10^{-10} untuk 10^{-11} m/s (meskipun kerusakan instalasi sering mengakibatkan laju aliran yang lebih tinggi). Juga, umur geomembran mungkin terbatas pada 50-100 tahun. Selanjutnya, ketebalan geomembran biasanya hanya 1-2 mm, sehingga kepala atas yang dikenakan oleh tailing jenuh akan menghasilkan gradien hidrolik yang sangat tinggi, bagus untuk meniadakan efektivitas geomembrane sebagai pelapis (Williams & Williams 2004). Karena itu geomembran biasanya digunakan dalam kombinasi dengan lapisan di bawah tanah liat yang dipadatkan (umumnya dikenal sebagai pelapis komposit).

Dalam beberapa kasus, pelapis atas bagian dari jejak TSF dapat dianggap membatasi rembesan, seperti terhadap muka dinding bendungan bagian hulu atau di bawah area kepala atas atau kolam penguras tetap. Instalasi pelapis dapat menyebabkan bertambah banyaknya kelebihan air yang di simpan di TSF, yang dapat menyebabkan kesulitan dalam penutupan dan rehabilitasi TSF.

5.5.5 Perencanaan dan perancangan untuk penutupan

Pada tahap awal TSF perencanaan dan perancangan TSF, harus dipertimbangkan untuk menetapkan kriteria lingkungan dan penutupan ke TSF bentuk lahan akhir yang diusulkan, termasuk pengolahan permukaan yang terpapar. Setelah penutupan, TSF diharuskan tetap aman, stabil dan non-polusi, membutuhkan bentuk lahan dan penutup sistem berkelanjutan. Lereng dinding bendungan TSF akan perlu memiliki profil yang stabil, sebaiknya meniru analog, biasanya cekung, profil alami, ditutupi dengan perlindungan erosi yang sesuai dan, jika mungkin, harus dihijaukan kembali untuk lebih meminimalkan erosi dan mencegah paparan dari kandungan tailing.

Penutupan spillway mungkin diperlukan untuk tumpahan hujan deras dan meminimalkan genangan limpasan hujan pada TSF yang akan mendorong rembesan ke dalam dan rembesan dari tailing. Spillway idealnya, di mana mungkin, harus digali melalui batuan alami untuk meningkatkan stabilitas. Terkait dengan spillway akan ada kebutuhan untuk menampung sedimen yang dihasilkan dari permukaan TSF, membutuhkan kolam sedimen, yang dapat ditemukan di hulu puncak spillway TSF yang meluap.

Permukaan tailing tersebut akan memerlukan sistem penutup yang stabil yang meminimalkan erosi dan mencegah paparan dari tailing di bawahnya, terutama jika geokimia reaktif. Tailing jinak dapat mendukung revegetasi langsung, asalkan debu yang dihasilkan tidak merupakan masalah. Pada iklim neraca air bersih positif, dan di mana topografi sekitarnya mengisi kembali TSF, geokimia tailing reaktif dapat berpenutup air permanen, lahan basah atau tanah penutup jenuh. Untuk membatasi perkolasi bersih ke tailing reaktif, dapat disediakan

sebuah penutup penapisan curah hujan (sesuai untuk iklim lembab) atau penutup simpan/lepas (sesuai untuk iklim kering).¹⁴

Jika gumpalan pencemar bertambah banyak di bawah TSF yang ada atau tertutup, langkah-langkah perbaikan termasuk parit intersepsi dan/atau bor pemulihan rembesan dipasang di sekeliling TSF, atau di bagian hilir jika fasilitas merupakan jenis lembah isian. Bilamana langkah-langkah ini telah diinstal selama operasi (yaitu, diinstal segera setelah terlihat gumpalan-gumpalan pencemar), mungkin memerlukan pemompaan terus menerus dan resirkulasi ke TSF atau pengolahan air sebelum dilepaskan.

Setelah penimbunan, air yang tertahan dalam tailing dapat menyebabkan rembesan yang terus berlangsung, biasanya laju surutnya bersamaan dengan hilangnya lapisan air tertahan (perched watertable) dalam tailing. Curah limpasan hujan dapat mengisi ulang tailing, yang mengarah ke rembesan lanjut dari waktu ke waktu. Di mana resapan berlangsung setelah penutupan dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan masyarakat atau lingkungan, pertimbangan penutupan utama adalah untuk membatasi infiltrasi ke permukaan tailing (misalnya dengan menggunakan sistem penutup yang tepat) dan untuk mengendalikan aliran rembesan dari TSF.

Pada iklim yang sangat kering, seperti di wilayah ladang emas Western Australia, TSF tertutup sangat mengering, mengurangi kemungkinan rembesan setelah penutupan, bahkan setelah hujan lebat yang lama (Chapman & Williams 2014). Selain itu, banyak air tanah berkadar garam tinggi di wilayah tersebut dan nilai ekonomi rendah selain sebagai air pengolahan mineral.

Penggunaan air tanah yang berkadar garam tinggi untuk pengolahan mineral dan pengolahan bijih garam menyebabkan tailing berkadar garam tinggi. Tailing membentuk kerak yang keras pada permukaan yang dapat membatasi peresapan dan debu tetapi juga membatasi pengeringan penguapan. Intersepsi parit atau bor pemulihan mungkin diperlukan di sekeliling fasilitas tersebut selama operasi dan untuk jangka waktu setelah penutupan guna mengendalikan terkurasnya air yang berkadar garam tinggi. Setelah gundukan air tanah mereda, risiko rembesan ke dan dampak pada lingkungan sekitar biasanya rendah selama ada sistem air pasca-penutupan yang tepat.

5.5.6 Catatan dan laporan desain

TSF dan semua komponen terkait harus dirancang oleh insinyur geoteknik yang berkualifikasi tepat dan berpengalaman.

Laporan desain menguraikan dasar desain, termasuk semua parameter dan kriteria desain, serta kinerja utama dan kriteria kepatuhan lingkungan. Hal ini penting untuk menentukan kendali keamanan, prosedur operasi dan program pemeliharaan yang diperlukan untuk mengelola risiko-risiko utama dan memastikan operasi TFS yang aman. Laporan desain memberikan rujukan yang mudah dan cepat saat mengevaluasi proposal guna memodifikasi operasi atau desain. Hal ini juga memberikan rincian dalam keadaan darurat. Laporan desain yang komprehensif berisi rincian:

- latar belakang dan dasar ketentuan
- kendala desain dan evaluasi risiko TSF
- standar desain minimal (ANCOLD 2012a)
- geokimia, penelitian reologi dan geoteknik
- persyaratan peraturan dan nilai-nilai masyarakat
- bendungan tailing dan pengiriman
- air tailing dan pemulihan, dan pengendalian rembesan

¹⁴ Rincian lebih lanjut tentang penutupan dan rehabilitasi TSF terdapat dalam Bagian 8.5 buku pegangan praktik kerja unggulan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a) dan *Rehabilitasi Tambang* (FIIS 2016e).

- analisis bobolnya bendungan; analisis stabilitas lereng geoteknik dan konsolidasi tailing; stage capacity curves (kurva kapasitas tempat sementara) dan penentuan ukuran TSF; desain penimbunan; pondasi dan desain dinding bendungan; serta pelapis dan sistem desain drainase bawah, jika diperlukan
- neraca air TSF, pompa tailing dan desain system jaringan pipa, serta kurasan dan sistem air-balik TSF water balance, tailings pump and pipeline system design, and decant and return water system design
- desain untuk penutupan.

Laporan desain harus lengkap menguraikan desain standar, proses dan metodologi yang digunakan, yang mencakup standar desain minimal yang ditentukan oleh regulator negara bagian dan teritori dan ANCOLD (2012a), didukung oleh pedoman desain dan standar-standar ICOLD yang dapat diterapkan.¹⁵

Setelah keputusan utama dibuat dan desain TSF rinci telah selesai, dokumen penting perlu disusun dan diperlihatkan untuk rujukan di masa mendatang, seperti yang dijabarkan dalam deskripsi berikut komponen sistem tailing.

Komponen sistem pengelolaan tailing

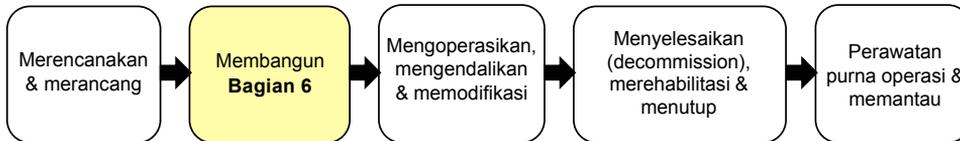
Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan harus memastikan bahwa rencana dan dokumen yang selanjutnya, yang bersama-sama membentuk sistem tailing, bersifat terbaru (up to date) dan tersedia untuk semua personil yang terkait dengan TSF:

- rencana TSF LoM—bagaimana dan di mana tailing akan disimpan selama umur operasi, perkiraan anggaran (dan jadwal), dan bagaimana bangunan akan ditempatkan
- kriteria desain—produksi, geoteknik, geokimia, pengoperasian dan penutupan, kesehatan dan keselamatan publik, masyarakat dan tujuan kinerja lingkungan bahwa TSF (dan setiap tahap) diharapkan untuk dicapai, pada setiap tahap dalam LoM
- laporan-laporan desain—desain rinci untuk setiap struktur atau tahap TSF, termasuk gambar, untuk mencapai kriteria desain yang ditetapkan (ini akan mencakup penelitian geoteknik dan lainnya serta uji laboratorium yang dilakukan untuk mendukung desain)
- laporan-laporan bangunan—laporan rinci bangunan TSF sebagaimana gambar-gambar lapangan dan rencana kualitas bangunan (ini harus berisi gambar dan foto sebagaimana yang akan dibangun yang membantu dalam mengidentifikasi risiko masa depan dan di dalam analisis ke belakang dari permasalahan yang timbul)
- manual pengoperasian—prinsip-prinsip pengoperasian, metodologi dan sumber daya dan pelatihan yang terkait
 - rencana keselamatan (atau risiko)—pengawasan dan pemantauan rencana, termasuk inspeksi, pemantauan, neraca air dan ulasan kinerja
 - rencana tindakan darurat dan respons—langkah yang akan diambil dalam keadaan darurat untuk meminimalkan risiko kesehatan publik, keselamatan, masyarakat dan lingkungan serta tanggapan yang harus diambil untuk meminimalkan dampak jika terjadi insiden
- rencana penutupan—strategi penutupan yang membentuk tujuan akhir dari rencana tailing.

Manual pengoperasian, rencana keselamatan, tindakan darurat dan rencana tanggap serta rencana penutupan mungkin substansial dan rinci untuk TSF berisiko tinggi, dan singkat (dokumen tunggal yang menggabungkan seluruh aspek) untuk fasilitas berisiko rendah yang sederhana.

¹⁵ Lihat daftar referensi pada akhir buku pegangan ini.

6.0 BANGUNAN



Pesan-pesan kunci

- Operasi TSF yang sukses sangat tergantung pada kualitas bangunan semua aspek TSF.
- Peran utama proyek TSF termasuk insinyur desain, insinyur yang bertanggung jawab (untuk proyek bangunan), perwakilan pemilik dan teknisi dengan jaminan kualitas.
- Risiko utama terkait dengan bangunan TSF termasuk bangunan yang tidak mengikuti desain, bahan bangunan yang tidak sesuai dengan spesifikasi, kualitas bangunan yang buruk atau tidak memadai dan kegagalan QA/QC untuk mengidentifikasi kekurangan bangunan.
- Penting bahwa semua bangunan TSF, pengawasan teknis dan QA/QC dilakukan oleh praktisi yang kompeten yang memahami ketergantungan keberhasilan operasi dari TSF pada praktik bangunan yang baik dan yang mampu menjamin bahwa bangunan dilakukan sesuai dengan spesifikasi dan maksud desain.
- Kontraktor harus dipilih dengan saksama dan dikelola dengan baik, dan bangunan harus diawasi dengan baik dan memadai.
- Insinyur desain harus memiliki input yang tepat selama bangunan TSF agar dapat mengkonfirmasi dalam laporan bangunan bahwa semua aspek bangunan telah selesai, sesuai dengan spesifikasi dan maksud desain.
- Laporan bangunan, yang telah disetujui oleh pemilik fasilitas, harus memberikan catatan yang akurat dari pekerjaan bangunan, mencakup gambar, catatan fotografi rincian bangunan, dan dokumentasi yang jelas dari setiap perubahan desain yang dibuat dalam menanggapi perubahan di fondasi yang diharapkan atau kondisi lain.

6.1 Risiko bangunan

Menurut ANCOLD (2012a), integritas tanggul penahan air tailing sama pentingnya dengan integritas setiap bendungan air. Dengan asumsi desain yang baik, keberhasilan atau kegagalan tanggul tailing atau dinding yang ditinggikan sangat tergantung pada cara dibangun. Oleh karena itu, bangunan, pengawasan teknis dan QA/QC TSF penting untuk tanggul awal dan untuk dinding yang kemudian ditinggikan dan harus dilakukan oleh praktisi yang kompeten.

Risiko utama yang terdapat dalam bangunan TSF meliputi:

- bangunan tidak mengikuti desain
- kurang sesuai atau bahan bangunan tidak cukup

- kualitas bangunan yang tidak memadai, termasuk kurangnya atau tidak memadainya pemadatan
- kegagalan QA/QC untuk mendeteksi dan memperbaiki kualitas bangunan yang buruk atau tidak memadai
- dinding yang ditinggikan tidak mengikuti desain dan/atau tidak kompatibel dengan tanggul penahan air TSF yang ada
- praktik operasional yang buruk berikutnya, seperti penimbunan tailing dan pengelolaan kolam penguras tidak kompatibel dengan maksud dari desain, yang dapat meningkatkan kompleksitas bangunan dan risiko serta berkontribusi pada penurunan kualitas bangunan sehingga membuat pembuatan bangunan sedemikian sulit sampai tidak mungkin mencapai spesifikasi yang dinyatakan.

6.2 Pengelolaan bangunan

Dalam rangka meminimalkan risiko di atas, penting agar kontraktor dipilih dengan berhati-hati dan dikelola dengan baik, serta bangunan diawasi secara benar dan memadai untuk menjaga kualitas bangunan yang dibutuhkan melalui QA/QC yang tepat.

Pengelolaan bangunan harus mencakup:

- gambar desain, spesifikasi dan penjadwalan proyek yang komprehensif untuk memungkinkan estimasi biaya serta pevelangan dan seleksi kontraktor
- pemilihan alat perlengkapan bangunan yang tepat yang mampu memenuhi spesifikasi desain untuk tanggul awal penahan air atau peninggian dinding pekerjaan penggalian tanah TSF
- definisi peran utama proyek, termasuk insinyur desain, insinyur yang bertanggung jawab (untuk proyek bangunan), perwakilan pemilik dan teknisi jaminan kualitas, dan pengangkatan praktisi kompeten untuk peran-peran tersebut
- keterlibatan pengawas bangunan yang berpengalaman untuk memastikan kepatuhan terhadap desain dan mengenali kebutuhan untuk berkonsultasi dengan insinyur desain untuk klarifikasi dari desain dan diskusi tentang perubahan yang diperlukan untuk desain
- keterlibatan insinyur desain selama bangunan, termasuk pemeriksaan berkala pekerjaan para insinyur desain dan untuk memastikan bahwa setiap perubahan desain yang dibuat selama bangunan telah disetujui oleh insinyur desain dan jelas didokumentasikan
- pemeliharaan catatan, foto bangunan dan log dari tonggak yang signifikan, termasuk perubahan desain
- penyusunan gambar seperti yang dibangun.

Bilamana pemilik menggunakan alat perlengkapan operasi tambang dan personil untuk membangun tanggul penahan air dinding TSF atau peninggian dinding, harus berhati-hati untuk memastikan bahwa kualitas bangunan tidak terganggu, dan bahwa QA/QC yang tepat dilakukan dan insinyur desain tepat yang terlibat, terutama jika operator tambang tidak memiliki pengalaman dalam pekerjaan penggalian tanah sipil yang memerlukan teknik bangunan khusus dan peralatan pemadatan.

6.3 Catatan bangunan

Penting bahwa laporan bangunan menjadi catatan akurat dari pekerjaan bangunan agar:

- memastikan bahwa TSF dibangun oleh kontraktor yang kompeten, dengan tingkat pengawasan serta kendali kualitas bahan bangunan dan teknik yang tepat untuk menunjukkan bahwa telah sesuai dengan gambar dan spesifikasi desain

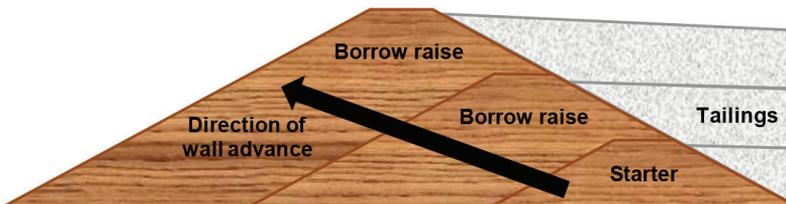
- memberikan catatan dan deskripsi rinci aspek kritis secara geoteknik, seperti persiapan pondasi, pengolahan retakan-retakan pada parit utama dan parit-parit terpotong (cut-off) atau pemadatan pengurukan pekerjaan di selitar saluran pengeluaran (catatan ini membantu dalam merancang desain dan bangunan pekerjaan perbaikan jika timbul masalah pasca-bangunan)
- menyelenggarakan seperti yang tercantum dalam gambar bangunan
 - menyediakan representasi akurat dari pekerjaan bangunan yang rinci, terutama bila perubahan desain mungkin timbul selama bangunan
 - membantu dalam memperbaiki desain untuk tahap-tahap selanjutnya
 - menyediakan rincian dan dimensi pekerjaan perbaikan sehingga pekerjaan pemulihan tersebut tidak mempengaruhi keutuhan struktur yang ada
 - menyediakan rincian untuk analisis-ke belakang (back analysis) jika diperlukan.

6.4 Bangunan tanggul penahan air TSF

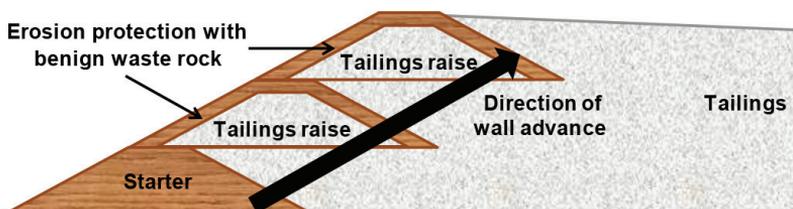
Untuk penyimpanan lumpur tailing di fasilitas permukaan, tanggul awal penahan air dibangun terlebih dahulu. Tanggul biasanya dibangun dalam serangkaian tumpukan atau peninggian dinding dengan menggunakan metode-metode hilir, garis tengah (centreline) atau hulu. Dinamakan demikian karena melibatkan perluasan puncak ke arah hilir, secara vertikal ke atas atau ke hulu, dan secara progresif mengurangi pekerjaan penggalian (earthworks) yang berhubungan dengan bangunan dinding bendungan. Gambar 13, 16 dan 14 menunjukkan diagram skematis peninggian hilir dan hulu. Gambar 15 menyoroti volume yang jauh lebih besar dari bahan urukan dibutuhkan untuk peninggian hilir dibandingkan dengan yang dibutuhkan untuk peninggian hulu. Diagram tidak memasukkan rincian mengenai drainase internal atau inti-inti liat didalam dinding bendungan, yang mungkin dibutuhkan untuk memastikan stabilitas geoteknik dan/atau untuk mengendalikan rembesan.

Peninggian centerline di tengah-tengah antara dua peninggian ekstrem hulu dan hilir, dan kurang umum digunakan di Australia. Dalam semua kasus, dinding awal bendungan awal umumnya dibangun menggunakan bahan urukan, batuan sisa yang sering jinak (tidak membentuk asam). Peninggian dinding hilir juga umumnya dibangun menggunakan bahan urukan, sementara centreline dan dinding hulu peninggian dinding dapat dibangun menggunakan kombinasi fraksi kasar tailing dan batuan sisa atau bahan urukan. Peninggian hilir dapat diperpanjang untuk membentuk bentuk alam dari batuan sisa dan tailing bentuk lahan yang terpadu (lihat Bagian 4.2.5).

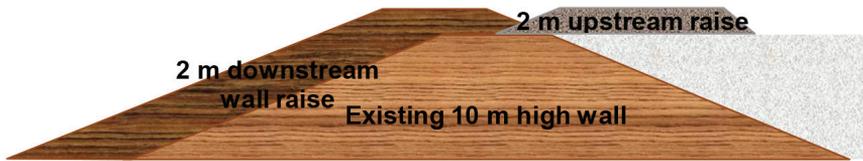
Gambar 13: Bangunan hilir menggunakan urukan



Gambar 14: Bangunan hulu menggunakan tailing



Gambar 15: Peninggian hulu versus hilir



Untuk peninggian hulu menggunakan tailing, tailing kering biasanya digali dari pantai tailing dan digunakan untuk membangun timbunan hulu sebagian besar melebihi tailing kering (Gambar 16 (kanan)). Hal ini sering diperlukan untuk menempatkan batuan sisa jinan di lereng dan puncak peninggian dinding untuk melindungi permukaan terhadap erosi oleh limpasan hujan, angin atau hempasan gelombang. Tumpukan di bagian hulu juga dapat dibangun dengan menempatkan batuan sisa atau urukan sebagian besar di atas tailing kering, asalkan tailing cukup kuat.

Untuk peninggian centreline, tailing dapat dipisah menjadi butiran kasar dan butiran halus dengan menggunakan hidro-siklon. Butiran kasar diarahkan ke hilir untuk membentuk dinding dan butiran halus diarahkan ke hulu. Dalam hal ini, tidak ada proteksi pengikisan yang diterapkan pada muka hilir selama operasi. Muka hilir dapat di buldoser untuk mengurangi sudut kemiringan, meningkatkan densitas dan meningkatkan stabilitas dinding secara geoteknik. Gundukan centreline juga dapat dibangun dengan cara seperti pada gundukan batuan sisa atau bahan urukan yang dapat sebagian ditempatkan pada tailing yang dikeringkan (desiccated).

Gambar 16: bangunan tanggul penahan air TSF: (kiri) hulu menggunakan batuan sisa; (kanan) hilir menggunakan tailing



Terdapat kebutuhan untuk mempertimbangkan stabilitas jangka panjang dinding bendungan TSF serta untuk membangun profil kemiringan hulu dan tekstur permukaan untuk memfasilitasi kebutuhan ini. Guna mengurangi risiko penutupan dan biaya, profil hilir harus dibangun untuk profil lereng yang akan mencapai bentuk lahan akhir berkelanjutan. Pembentukan kontur lereng terakhir biasanya selesai pada penutupan, tetapi biaya dapat diminimalkan dengan membangun profil lereng yang mendekati persyaratan bentuk lahan akhir. Untuk bangunan bagian hulu, pendekatan ini memungkinkan rehabilitasi lereng progresif dan mengurangi kebutuhan pekerjaan penggalian tanah pada penutupan. Di mana tailing digunakan untuk meninggikan dinding bagian hulu, ketebalan material penutup yang cukup tahan erosi harus ditempatkan pada permukaan untuk memastikan bahwa tailing di bawahnya tidak akan terbuka dari waktu ke waktu.

Beberapa keuntungan dan kerugian menggunakan metode hulu dan hilir peninggian dinding bendungan tailing progresif disorot dalam tabel 6 dan 7. Pertimbangan permasalahan tersebut dalam tabel 6 dan 7 tidak menggantikan keterlibatan seorang insinyur geoteknik dengan kualifikasi yang sesuai dan berpengalaman dalam tailing dan desain bendungan untuk mempertimbangkan semua masalah yang relevan.

Tabel 6: Keuntungan dan kerugian bangunan hilir

MASALAH	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Bahan urukan	Enkapsulasi jinak lebar tersedia	Dibutuhkan urukan bervolume besar
Biaya bangunan	Bagian penanggulangan awal tidak lebih besar dari yang diperlukan untuk konstruksi ke atas	Peninggian tembok menjadi semakin mahal kecuali jika batuan sisa tersedia dan pengangkutannya singkat
Jejak	Jejak tanggul awal penahan air mungkin jauh lebih kecil dari yang dibutuhkan untuk pemula tanggul bagian hulu	Dinding berikutnya menimbulkan peningkatan jejak Peningkatan jejak dari dinding bendungan mengurangi volume yang tersedia untuk penyimpanan tailing
Stabilitas geoteknik	Akan cenderung ditingkatkan dengan penggunaan bahan urukan berbutir kasar	Penggunaan bahan urukan butiran halus dapat mengakibatkan permukaan air tanah tinggi pada penimbunan tailing lanjutan, yang dapat mengurangi stabilitas geoteknik
Rembesan	Tindakan pengendalian rembesan dengan segera dapat dimasukkan dalam peninggian dinding beruntun	Limbah urukan batu berbutir kasar dapat meningkatkan dinding rembesan, namun saluran air atau rembesan penghalang atau filter dapat menguranginya
Pencemar	Batas enkapsulasi paparan tailing pada oksidasi	Enkapsulasi menjaga konten air tailing dan potensi pengangkutan pencemar
Stabilitas erosi	Enkapsulasi lebar akan cenderung untuk mencegah paparan dan erosi tailing	Bahan urukan butiran halus atau batuan lapuk di permukaan mungkin rentan terhadap erosi
Rehabilitasi	Sebuah enkapsulasi lebar harus memungkinkan untuk membentuk kembali gundukan bagian luar	Pembentukan kembali tambahan apa saja untuk maksud rehabilitasi dapat meningkatkan jejak

Tabel 7: Keuntungan dan kerugian bangunan bagian hulu

MASALAH	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Bahan urukan	Setelah bangunan tanggul awal penahan air, hanya urukan bervolume kecil yang diperlukan untuk peninggian dinding	Di atas tanggul awal, penutup hanya terbatas atas dinding yang ditinggikan yang dibangun dengan menggunakan tailing tersedia, meskipun dapat juga digunakan bahan pengisi impor
Biaya bangunan	Dinding berikutnya ditinggikan dengan melibatkan sedikit bahan urukan, pengangkutan tailing yang tidak seberapa, dan pengangkutan hanya bahan di depannya	Peninggian dinding berikutnya memerlukan tailing yang harus cukup kering agar dapat dilalui lalu lintas dan sesuai untuk pembangunan dinding jika tailing digunakan
Jejak	Peninggian dinding berikutnya tidak meningkatkan jejak Sebuah tanggul awal penahan air yang lebih besar mungkin dibutuhkan daripada yang dibutuhkan untuk bangunan hilir, namun jejak akhir akan lebih kecil	Tailing yang digali memiliki paparan yang lebih besar terhadap oksidasi
Stabilitas geoteknik	Akan cenderung berkurang oleh penggunaan tailing untuk peninggian dinding	Permukaan air tanah yang tinggi dalam suatu peninggian bagian hulu dibangun menggunakan tailing akan mengurangi stabilitas geoteknik Peninggian bagian hulu dibangun menggunakan tailing mungkin lebih rentan terhadap likuifaksi terhadap beban gempa yang signifikan
Rembesan	Tailing yang digunakan untuk meninggikan dinding memiliki permeabilitas yang relatif rendah, membatasi rembesan	Tindakan pengendalian rembesan lebih sulit untuk digabungkan dalam peninggian dinding beruntun
Pencemar	Pengeringan tailing dan penambahan ketinggian tailing akibat peninggian dinding mengurangi air yang tersedia untuk mengangkut pencemar	Penggalian tailing dan penggunaannya dalam peninggian dinding memperlihatkan berpotensi membentuk asam tailing terhadap oksidasi
Stabilitas erosi	Lapisan penutup di atas peninggian dinding tailing secara khusus ditujukan untuk memberikan perlindungan terhadap erosi	Terbatasnya lapisan atau bahan penutup di atas peninggian dinding mungkin rentan terhadap kehilangan erosi dalam jangka panjang
Rehabilitasi	Datarnya lereng-lereng terluar dari dinding akan relatif memudahkan rehabilitasi dengan penempatan bahan urukan tambahan pada sudut lereng yang sama	Keterbatasan lapisan penutup di atas peninggian tailing membatasi pilihan pembentukan ulang lahan di masa depan Bahan urukan tambahan mungkin akan dibutuhkan untuk mencapai kedalaman lapisan penutup, profil akhir dan perlakuan permukaan yang optimal Pembentukan ulang lahan untuk tujuan rehabilitasi akan cenderung meningkatkan jejak

6.5 Bangunan untuk penutupan, rehabilitasi dan purna perawatan operasi

Persyaratan bangunan dan metode yang digunakan untuk penutupan, rehabilitasi dan perawatan purna operasi mungkin sangat berbeda dari yang diterapkan untuk operasi TSF. Penutupan dan pekerjaan rehabilitasi menghendaki bentuk lahan akhir TSF dibuat aman, stabil dan tidak menimbulkan polusi, dengan bentuk lahan dan penutup sistem yang berkelanjutan di mana dapat diterapkan. Peninggian dinding tanggul penahan air harus dikonfigurasi sedemikian rupa, mengantisipasi dan mengakomodir bentuk lahan akhir TSF. Profil bagian luar lereng tanggul terakhir TSF harus didasarkan pada pertimbangan erodibilitas dari intensitas bahan muka, ukuran daerah tangkapan dan desain curah hujan.

Spesialis dan peralatan bangunan skala kecil mungkin diperlukan untuk mencapai bentuk lahan dan fitur penutup yang tidak kentara. Bahan penutup lereng yang tepat harus dipilih dan ditempatkan, dan permukaan kontur dangkal dibajak untuk membuat campuran tertentu tekstur bahan permukaan yang diperlukan agar kedap erosi dan dapat menyimpan air untuk membangun dan memelihara revegetasi dalam jangka panjang.

Bangunan spillway penutupan, idealnya melalui batuan alami, sebagaimana ditentukan oleh hidrologi, membutuhkan peralatan bangunan dan metode khusus. Kolam sedimen terkait mungkin memerlukan bangunan pelapis.

Desain, bangunan dan pemeliharaan sistem penutup atas tailing geokimia reaktif sangat khusus, apakah melibatkan selimut basah atau penutup tanah, dan apakah penutup tanah menapis curah hujan atau sistem penutup simpan/lepas atau tidak. Sistem penutup perlu meminimalkan erosi dan mencegah paparan dari tailing reaktif yang di bawahnya, selain meminimalkan masuknya oksigen dan perkolasi bersih curah hujan ke dalam tailing reaktif.

Perawatan purna operasi melibatkan bangunan sumur bor untuk memantau kualitas air tanah (di mana sebelumnya bor belum diinstal untuk tujuan pemantauan operasional) dan instalasi instrumentasi untuk memantau kinerja penutup serta laju dan kualitas rembesan. Lubang bor pemantau harus dibangun dengan hati-hati, diberi selubung dan disegel untuk mengisolasi interval kedalaman yang dikehendaki untuk pemantauan. Lubang bor dapat dipantau dan diambil sampelnya secara manual, meskipun pemantauan yang semi-kontinyu dan pengunduhan (downloading) yang otomatis lebih disukai.

Tergantung pada kompleksitas sistem penutup dan kriteria selesainya penutupan yang dihasilkan, pemantauan kerja penutup melibatkan pemasangan stasiun klimatologi penuh dan otomatis, bangunan lisimeter untuk pengumpulan perkolasi bersih, dan sensor-sensor tali air dan tegangan air (matric suction) dipasang melalui ketebalan penutup dan ke dalam tailing di bawahnya untuk memantau neraca air dari sistem penutup dan tailing dari waktu ke waktu. Lisimeter sebaiknya mengalir berdasarkan gravitasi pada ember-ember ungkit (tipping bucket) yang secara otomatis merekam laju perkolasi bersih. Stasiun iklim, lisimeter dan sensor tali air dan tegangan air dapat secara otomatis dan semi-kontinyu diunduh melalui telemetri.

Program-program pemantauan untuk air tanah dan air permukaan kemiringan bawah dari TSF harus menyertakan dalam daftar kalsium analit, magnesium, pH, EC, sulfat, keasaman, alkalinitas, logam (berlaku untuk geokimia dari bijih) dan reagen proses, termasuk sodium untuk reagen proses berdasarkan natrium seperti natrium sianida untuk tailing bijih emas.¹⁶

¹⁶ Rincian lebih lanjut tentang penutupan dan rehabilitasi TFS terdapat dalam Bagian 8.5 dan dalam buku-buku pegangan praktik kerja unggulan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a) dan *Rehabilitasi tambang* (DIIS 2016e)

7.0 OPERASI



Pesan-pesan kunci

- Fasilitas penyimpanan tailing harus dioperasikan untuk memastikan agar kerjanya memenuhi atau melampaui persyaratan peraturan dan kriteria desain.
- Pengelolaan tailing yang baik umumnya mencakup mengalihkan curah limpasan hujan bersih; penggunaan tailing setebal yang dapat dikelola secara efektif; memasang keran (spigotting) tailing dalam lapisan tipis dan siklus penimbunan antara sejumlah sel; memelihara kolam penguras kecil; dan memiliki kolam penguapan atau kolam penyimpanan air tailing yang terpisah.
- Tujuan utama TSF adalah untuk padatan tailing dan air yang disimpan supaya tetap terbenjung sedemikian rupa agar tidak mengakibatkan dampak buruk terhadap kesehatan dan keselamatan atau dampak lingkungan atau gangguan pengoperasian.
- Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan dapat menunjukkan pertanggungjawaban operasional yang jelas pada tingkat manajemen tambang senior di setiap saat, dengan pemahaman yang menyeluruh tentang tujuan desain, operasi dan penutupan.
- Semua TSF dan sistem pemompaan dan jaringan pipa yang terkait harus diperiksa minimal setiap hari.
- Pemulihan air tailing pra-pembuangan merupakan cara yang efektif untuk memaksimalkan pemulihan air dan sisa reagen proses untuk daur ulang ke pabrik pengolahan.
- Untuk memastikan kerja yang optimal, TSF harus ditinjau sepanjang tahun, dengan menggunakan pendekatan berbasis risiko, oleh seorang insinyur geoteknik yang berkualifikasi sesuai dan berpengalaman dalam tailing dan desain bendungan.
- Semua TSF harus memiliki rencana tindakan darurat yang menjamin respons yang cepat dan efektif untuk setiap indikator utama kemungkinan dampak atau kegagalan bendungan.

7.1 Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan

Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan

umumnya mencakup pengalihan curah limpasan hujan bersih di sekitar TSF; pelepasan tailing setebal yang dapat dikelola secara efektif; memasang keran (spigotting) di lapisan tipis dan siklus timbunan tailing antara jumlah sel (Gambar 17 (kiri)); memelihara kolam kecil penguras guna memaksimalkan pengeringan (dewatering) (Gambar 17 (kanan)), desikasi (pengeringan panas matahari), pemadatan dan penguatan tailing; dan memiliki kolam penguapan atau kolam penyimpanan air tailing yang terpisah (Williams 2014). Namun, PAF dan sebaliknya yang berpotensi mencemari tailing dapat mengambil manfaat dari penempatannya di bawah air, yang membatasi desikasi.

Gambar 17: Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan: (kiri) spigotting tailing di tumpukan tipis; (kanan) memelihara kolam penguras air kecil



Mengingat bahwa tailing ditimbun secara konvensional sebagai lumpur berair dan akan mengalir turun selama operasi dan setelah penutupan, keberhasilan rehabilitasinya menuntut agar potensi rembesan tailing yang mencemari lingkungan diminimalkan. Di mana terdapat kemungkinan besar dampak lingkungan dari tailing yang disimpan, mungkin perlu untuk memperhitungkan pengolahan kimiawi dan/atau pada akhirnya bendungan fisik tailing, mungkin dalam pit di bawah permukaan air tanah. Contoh pengolahan kimiawi tailing yang berpotensi mencemari meliputi:

- desulfurisasi tailing sulfida untuk mengurangi potensi hasil asam
- menurunkan pH lumpur merah dengan penambahan air laut atau dengan karbonasi menggunakan CO₂ yang bersumber dari tumpukan kilang alumina untuk mengurangi aluminium dan melacak konsentrasi logam, untuk mengurangi pengerasan kulit dari tailing dan untuk meningkatkan pengeringan
- netralisasi dengan menggabungkan aliran limbah dari pH yang berlawanan (misalnya, menggabungkan tailing PAF dengan abu terbang (fly-ash) stasiun pembangkit listrik alkalin atau lumpur merah).

7.2 Risiko operasional

Tujuan utama TSF adalah untuk padatan tailing dan air yang disimpan tetap terbenjung. Mode-mode kegagalan dan risiko terhadap kesehatan dan keselamatan publik, masyarakat dan lingkungan selama operasi TSF dapat mencakup:

- pecahnya jaringan pipa pengirim lumpur tailing atau jaringan pipa pengembalian air kurasan

- erosi curah hujan yang diinduksi atau erosi jaringan pipa dari muka tailing terluar



- kegagalan geoteknik atau deformasi yang berlebihan dari dinding bendungan



- pengisian berlebih tailing di TSF, yang mengarah ke luberan dari dinding bendungan

- rembesan melalui dinding bendungan, yang berpotensi menyebabkan kematian pohon



- rembesan terkontaminasi ke fondasi, yang berdampak pada air tanah

- partikulat (debu) atau gas emisi (seperti radon, hidrogen sianida,¹⁷ sulfur dioksida dan hidrogen sulfida



¹⁷ Environment Australia (1998) dan buku pegangan praktik kerja unggulan *Pengelolaan sianida* (DRET 2008).

- paparan burung, satwa liar atau ternak pada air kurasan berpotensi terkontaminasi yang menjadi kolam di permukaan TSF
- paparan satwa liar atau ternak pada tailing lembut yang dapat memerangkap mereka.

7.2.1 Mengelola perubahan

Pendekatan berbasis risiko harus diterapkan pada tahap operasional tailing guna memastikan tanggapan yang tepat dan memadai untuk menghadapi perubahan kendala, kondisi dan/atau parameter. Perubahan mungkin termasuk kondisi iklim yang selalu berubah, perubahan tuntutan untuk volume penyimpanan tailing, perubahan sifat bijih dan karenanya sifat tailing, perubahan permintaan untuk air, persyaratan peraturan dan harapan masyarakat yang berubah, dan potensi untuk suspensi yang berkepanjangan atau penutupan operasi sebelum waktunya.

7.3 Pengendalian pengoperasian

Pengelolaan tailing praktik kerja unggulan menunjukkan kewajiban operasional yang jelas pada tingkat manajemen tambang senior, dengan pemahaman yang menyeluruh tentang tujuan desain, operasi dan penutupan. Implikasi dari tidak beroperasi sesuai dengan maksud desain dan kriteria desain harus dipahami dengan jelas.

Manual operasi tailing diperlukan untuk setiap TSF. Pengguna harus selaras dengan tujuan desain dari fasilitas dan rekayasa dan teknik dan pengendalian risiko utama. Hal ini dimaksudkan untuk memandu dan membantu operator TSF dengan pengoperasian sehari-hari, serta dengan perencanaan ke depan operasi dan pemeliharaan fasilitas. Dengan menggunakan gambar referensi dan sketsa yang sesuai untuk menggambarkan fitur-fitur operasi penting, prinsip-prinsip dan keterbatasan, manual operasi harus menjelaskan aspek-aspek berikut, dan operator harus menerima pelatihan dalam topik yang berkontribusi terhadap praktik kerja unggulan:

- prinsip-prinsip penimbunan tailing yang baik dan pengembangan pantai—lapisan tipis dengan pengeringan yang maksimal untuk memaksimalkan kekuatan dan meminimalkan rembesan
- pengelolaan yang benar atas kolam penguras dan pemulihan air yang efisien untuk memaksimalkan stabilitas (Gambar 18)
- contoh pengelolaan tailing yang buruk dan dampak negatifnya dari praktik kerja unggulan
- operasi sehari-hari fasilitas dan frekuensi dan metode pergantian yang tepat
- prosedur operasional yang memerlukan tindakan pencegahan tertentu, seperti urutan yang benar dari pembukaan/penutupan katup untuk menghindari penyumbatan jaringan pipa tailing
- prosedur untuk pergantian dan pembilasan jaringan pipa tailing
- indikator kunci utama yang digunakan untuk memantau keberhasilan operasi fasilitas, serta peran dan tanggung jawab masing-masing operator dalam mendukung rencana tailing
- pemeliharaan preventif yang dijadwalkan untuk merawat peralatan operasional penting
- pentingnya pencatatan dan pemantauan penyimpanan dan data kinerja
- strategi penutupan yang dimaksudkan dan bagaimana TSF dapat dikelola secara efektif untuk penutupan terakhirnya
- kebutuhan untuk melaporkan setiap pengamatan yang luar biasa, yang tak diinginkan atau tidak terduga, terutama perembesan, keretakan dan erosi tanggul penahan air TSF untuk penyelia (supervisor)
- pada akhirnya, jika dan bila perlu, langkah-langkah darurat dan manajemen risiko yang dibutuhkan guna memastikan bahwa semua orang yang mungkin akan terpengaruh dengan aman dievakuasi sebelum antisipasi kegagalan TSF.

Gambar 18: Meminimalkan kolam penguras



7.3.1 Pengelolaan keselamatan dan kesiapsiagaan darurat

Rencana manajemen keselamatan harus ada untuk setiap bendungan di mana terdapat potensi hilangnya nyawa dalam hal kegagalan bendungan (ANCOLD 2003).

Rencana pengelolaan keselamatan TSF berkaitan dengan:

- risiko yang teridentifikasi untuk fasilitas
- risiko kesehatan dan keselamatan publik, masyarakat dan lingkungan hidup serta kendali yang perlu untuk memastikan integritas operasi
- program pengawasan dan pemeliharaan guna memastikan integritas berkelanjutan dari berbagai komponen struktural.

Rencana tindakan darurat (UNEP 2001):

- mengidentifikasi kondisi yang dapat mengakibatkan keadaan darurat, seperti badai besar
- menjelaskan prosedur untuk mengisolasi orang dari bahaya, termasuk peringatan dan evakuasi masyarakat hilir
- mengidentifikasi rencana tanggapan untuk mengurangi dampak, seperti rencana pembersihan
- mengidentifikasi sumber daya yang dibutuhkan untuk melaksanakan tindakan darurat dan rencana tanggapan
- mengidentifikasi kebutuhan pelatihan tanggap darurat bagi orang-orang kunci
- mendokumentasikan lokasi alarm peringatan darurat dan kebutuhan perawatannya guna memastikan servis setiap saat
- melalui pelaksanaan rencana pengelolaan keselamatan dalam hal kegagalan yang efektif, memastikan agar tindakan yang tepat diambil untuk meminimalkan risiko keselamatan terhadap orang-orang di dalam dan di luar lokasi, dan bahwa dampak diminimalkan oleh respons yang terorganisir dan sistematis terhadap insiden.

7.3.2 Inspeksi dan pemantauan dinding bendungan

Semua TSF dan pemompaan dan sistem jaringan pipa yang terkait harus diperiksa minimal setiap hari (ANCOLD 2003). Pengamatan harus dicatat. Pengamatan yang luar biasa atau persyaratan pemeliharaan harus didokumentasikan dan tindakan yang tepat diambil, termasuk pelaporan kepada regulator dan masyarakat.

Inspeksi harus mencakup penilaian dari:

- posisi dan ukuran kolam penguras dan pengamatan yang terkait dengan persyaratan *freeboard*
- tanda-tanda kemungkinan yang akan terjadi, seperti tampalan (patch) basah, rembesan dan erosi, dengan pemeriksaan visual dan operasi
- status sistem deteksi kebocoran
- status sistem bendungan sekunder

- status pengukuran aliran dan alarm error otomatis
- kondisi pompa dan sistem jaringan pipa
- dampak pada burung, satwa liar atau hewan ternak, terutama burung yang mungkin akan terpengaruh dengan mengkonsumsi air tailing.

Pemantauan TSF harus mencakup:

- piezometer di tanggul penahan air TSF guna memantau permukaan air tanah terhadap tingkat pemicu yang telah disetujui untuk menjaga stabilitas tanggul
- piezometer dan bor untuk memantau penumpukan air tanah dan gerakan luar di bawah dan sekeliling fasilitas
- kualitas sampling air permukaan dan air tanah, baik bagian hulu maupun hilir, fasilitas untuk memeriksa terhadap tingkat pemicu yang telah disetujui
- uji coba rehabilitasi dan strategi pemantauan penutupan, termasuk penganggulan kemiringan dan lapisan penutup, serta kinerja revegetasi.

Laporan pemantauan harus disiapkan setiap tahun dan pelaporan harus dapat diakses, mudah dipahami dan transparan bagi pemangku kepentingan. Ketentuan harus dibuat untuk bendungan tailing sepanjang jaringan pipa pengiriman dan dalam TSF setiap saat, didukung oleh ketepatan waktu dan pemeliharaan yang tepat dalam menanggapi inspeksi.

7.3.3 Pengelolaan dan pemulihan air tailing

Aliran air bersih dari tailing, apakah itu peresapan bersih selama penimbunan tailing atau penguapan bersih selama pengeringan (Gambar 19), perlu ditentukan sehingga potensi rembesan dan/atau aliran spillway serta kebutuhan untuk kapasitas badai freeboard yang ekstrim dapat ditetapkan. Pemantauan permukaan air tanah dalam tailing saja tidak akan menginformasikan arah aliran, terutama setelah permukaan air tanah turun di bawah timbunan tailing setelah penutupan. Yang penting, profil hisap harus dipantau (baik secara langsung atau melalui pengukuran profil kadar air) untuk menentukan arah aliran, yang mungkin tidak ke bawah atau ke arah luar.

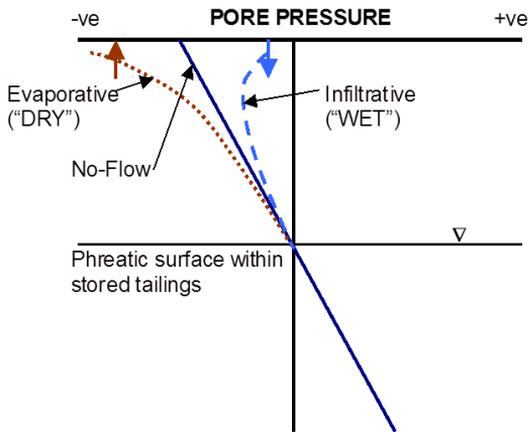
Input ke neraca air pengoperasian TFS adalah air tailing, yang proporsinya tetap tertahan, curah hujan, limpasan dan setiap penyimpanan air tambang yang terkena dampak dari TSF (meskipun menurut praktik kerja unggulan hal ini harus diminimalkan). Air yang hilang dari pengoperasian TSF mencakup penguapan genangan air, air supernatan yang mengalir di atas tailing yang terdampar, dan tailing yang basah dan mengering; serta rembesan ke dasar TSF dan melalui tanggul penahan air TSF. Neraca air pengoperasian tailing diberikan dengan:

$$TW + RR + WW = RW + EW + SE + SF + SW \quad [1]$$

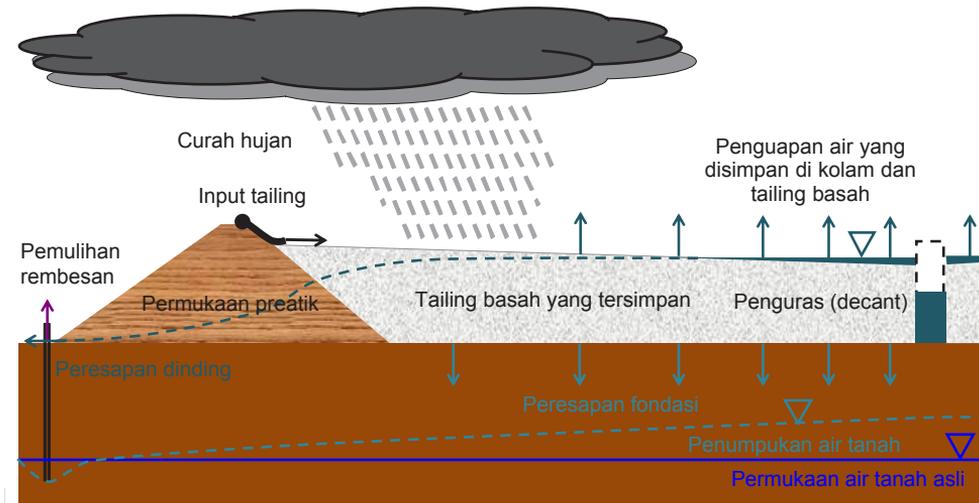
di mana **TW** adalah air masukan tailing, **RR** adalah tangkapan curah hujan dan limpasan TSF, **WW** adalah netto (ditambahkan - disingkirkan) air limbah yang tersimpan di TSF, **RW** adalah air daur ulang ke pabrik pengolahan, **EW** adalah air yang tertahan, **SE** adalah penguapan permukaan, **SF** adalah rembesan ke fondasi, dan **SW** adalah rembesan melalui dinding.

Pengoperasian neraca air TSF secara skematik diilustrasikan dalam Gambar 20 untuk TSF dengan air pengurusan yang berada di pusat, bersama-sama dengan diagram alir (flow chart) neraca air pengoperasian dalam Gambar 21. Permukaan air tanah akan mengembang dalam tailing selama penimbunan, yang mungkin akan tetap bertahan dalam tailing. Peresapan ke fondasi akan cenderung menyebabkan air tanah asli untuk gundukan. Rembesan dari tailing juga mungkin muncul dari ujung dinding, dan juga pemulihan rembesan mungkin diperlukan untuk mengarahkan kembali ke TSF.

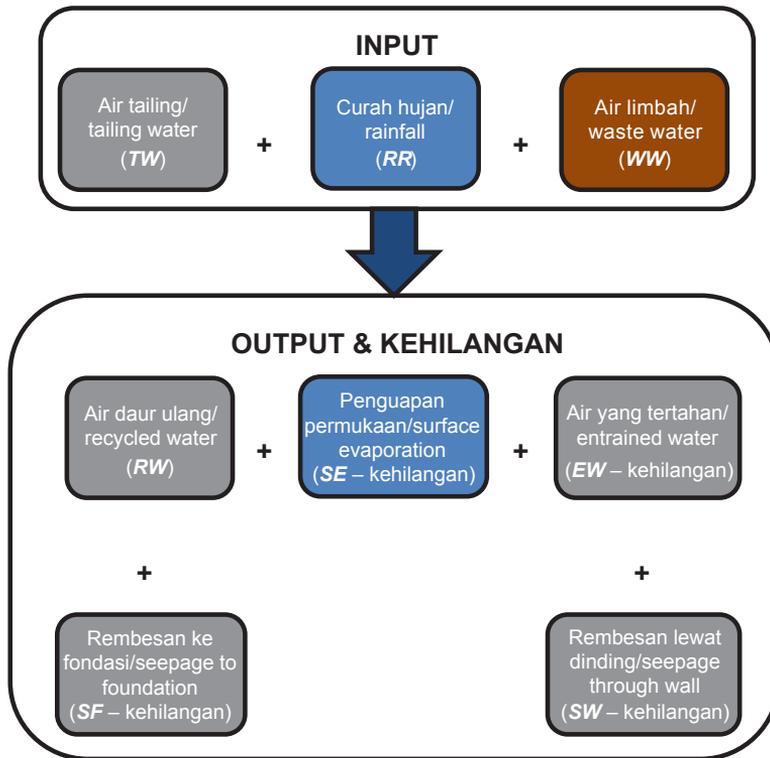
Gambar 19: Penguapan, tak ada aliran (no-flow) dan peresapan dalam tailing



Gambar 20: Skema neraca air pengoperasian fasilitas penyimpanan tailing



Gambar 21: Diagram neraca pengoperasian fasilitas penyimpanan tailing



Biasanya, volume air yang paling dikenal adalah konsentrasi padatan awal tailing, curah hujan, dan mungkin penguapan air tergenang, tergantung pada akurasi pemetaan batas dan pengurangan penguapan karena kemungkinan salinitas air tailing. Volume air yang dapat ditentukan dengan agak sulit termasuk air yang tertahan dalam tailing; curah limpasan hujan; input bersih dan penyimpanan air limbah; serta penguapan dari air tergenang, air supernatan yang mengalir di atas tailing hamparan, serta tailing basah dan mengering. Volume air yang paling dikenal adalah rembesan ke dasar TSF dan melalui tanggul penahan air TSF.

Neraca air pengoperasian tailing dipengaruhi oleh kualitas air, yang menentukan apakah air tailing supernatan dapat didaur ulang ke pabrik pengolahan serta mengatur potensi dampak lingkungan melalui kematian burung dan melalui rembesan, dan kehilangan dari penahanan dan penguapan.

Untuk iklim kering, penguapan mendominasi neraca air pengoperasian tailing, terhitung sekitar 50% dari total kehilangan, sementara dalam penguapan iklim semi-gersang dapat mencapai sekitar 20%, dan bahkan kurang pada iklim lembab. Tergantung pada konduktivitas hidrolis tailing dan kehilangan air, hingga 50% dari air yang dilepaskan dengan tailing dapat tersedia untuk daur ulang ke pabrik pengolahan jika kualitas air sesuai. Tanggul penahan air TSF dibangun dengan metode hilir kering (kolam terbatas) dan kondisi iklim lembab (kolam permanen) diperlihatkan pada gambar 22 dan 23.

Gambar 22: Tanggul penahan fasilitas penyimpanan tailing pada keadaan pada iklim kering



Gambar 23: Tanggul penahan fasilitas penyimpanan tailing pada keadaan pada iklim kering



Pemulihan pra-pembuangan air tailing merupakan cara yang efektif untuk memaksimalkan pemulihan air dan sisa reagen proses untuk daur ulang ke pabrik pengolahan. Biaya pemulihan air hasil pengolahan dapat seimbang terhadap biaya air baku tambahan untuk pengolahan. Persentase pemulihan air dari TSF tergantung pada metodologi penempatan tailing dan konsistensi, penerapan tailing dan praktik air, dan sejauh mana kehilangan yang diakibatkan TSF. Tabel 8 memberikan indikasi kemungkinan pemulihan air total, tergantung pada tingkat pengentalan tailing sebelum dilepaskan, dinyatakan sebagai persentase dari air yang dilepaskan bersama tailing.

Tabel 8: Kemungkinan jumlah pemulihan air dalam kaitannya dengan tingkat tailing pengentalan

KONSISTENSI TAILING	POTENSI PEMULIHAN AIR TOTAL (% AIR YANG DILEPASKAN BERSAMA TAILING)
Lumpur	50 sampai dengan 60
Kental	60 sampai dengan 70
Pasta dengan kekenyalan tinggi	- 80
Pasta dengan kekenyalan rendah	85 sampai dengan 90

7.3.4 Pengeringan mekanis timbunan tailing

Timbunan tailing lembut dan basah, khususnya tailing tanah liat tailing yang kaya mineral atau residu proses seperti lumpur merah yang terbentuk selama pemurnian bauksit untuk membentuk alumina, mungkin menghasilkan peningkatan pengeringan, kepadatan dan penguatan pada pertanian oleh amphirol dan/atau kemudian oleh D6 Swamp Dozer. Eskavator amfibi juga dapat digunakan untuk memfasilitasi drainase air supernatan ke kolam kuras. Sebuah amphirol (Gambar 24 (kiri)) memberikan bantalan dengan tekanan sangat rendah 3-5 kPa dan akan digunakan pertama. Prinsip-prinsip tailing atau residu pertanian oleh amphirol adalah sebagai berikut:

- Sedikit pengeringan dan penguatan tailing atau residu permukaan diperlukan untuk memungkinkan operasi amphirol yang aman dan efisien.
- Tekanan alas dari amphirol yang terlalu berat dan/atau tailing terlalu lembut atau residu permukaan dapat mengakibatkan pelumpuran (bogging) amphirol (amphirol hanya akan mencapai konsolidasi minimal atau pemadatan tailing atau residu karena tekanan kaitannya rendah).
- Amphirol harus:
 - pada dasarnya 'melayang' di atas tailing atau permukaan residu
 - membuat parit di bawah tailing atau residu pantai guna memfasilitasi drainase air permukaan
 - memaksimalkan area tailing atau residu permukaan yang terpapar pada penguapan dan penguatan
 - memaparkan tailing yang belum kering karena sinar matahari (undesiccated) atau residu pada pertanian lebih lanjut.
- Amphirol seharusnya tidak terlalu menggeser tailing atau residu dengan pertanian yang berlebihan atau berulang (optimal sekitar empat amphirol yang lewat).

Sebuah D6 Swamp Dozer (Gambar 24 (kanan)) memberikan suatu tekanan dukung sekitar 35 kPa dan dapat digunakan sekali tailing atau residu telah memperoleh daya geser (shear strength) yang cukup dan daya dukung menopang dengan aman. Sebuah bulldozer dapat digunakan setelah mempekerjakan amphirol atau hanya setelah tailing atau residu telah kering secara alami pada paparan. Menggunakan bulldozer meningkatkan tailing yang sudah kering dengan pemadatan dan dengan memecah setiap sementasi dari tailing kering, yang mengarah ke peningkatan lebih lanjut dalam kepadatan kering dan daya geser.

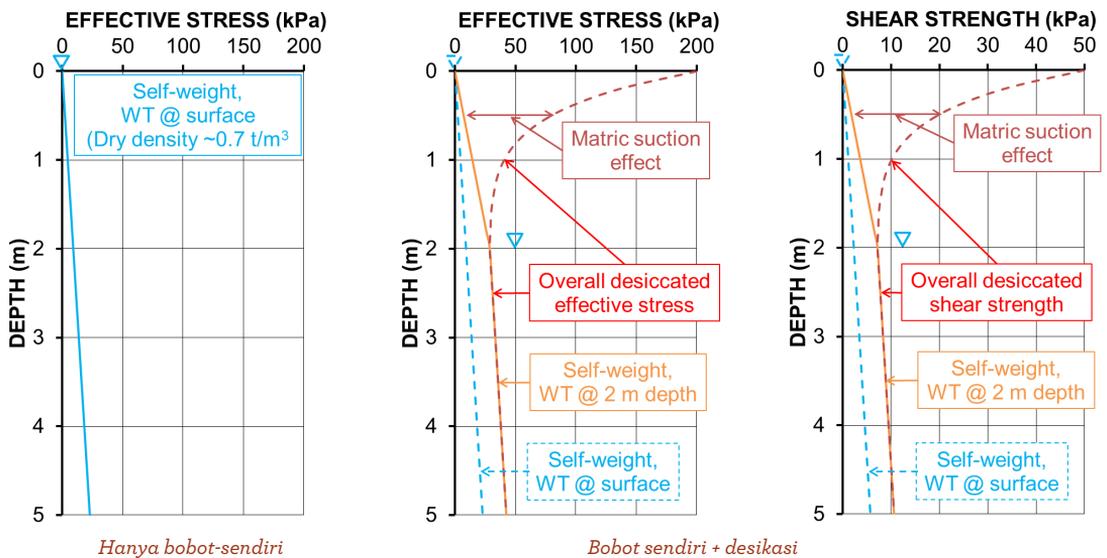
Gambar 24: Pertanian lumpur merah: (kiri) oleh amphirol; (kanan) kemudian dengan D6 Swamp Dozer



Kepadatan tailing di bagian atas gundukan tailing dapat dicapai karena bobot-sendiri (self-weight) oleh gravitasi spesifiknya, biasanya sekitar 2 (untuk tailing batubara) sekitar 3 (untuk tailing logam); yaitu, hanya padatan tanpa rongga. Jika tailing dipertahankan di bawah air dan tingkat kenaikan tinggi (karena banjir dan jejak yang terlalu kecil untuk tingkat hasil tailing), timbunan tailing mungkin tetap kurang terkonsolidasi dengan berkerapatan dan berkekuatan serendah 0,5 t/m³ atau lebih rendah. Jika laju kenaikan tailing cukup lambat untuk memungkinkan konsolidasi bobot-sendiri, kepadatan kering rata-rata sekitar 0,70 t/m³ atau lebih tinggi dapat dicapai di bawah air.

Untuk memungkinkan pertanian tailing, permukaan harus bebas dari air. Gambar 25 menunjukkan skema dari profil tekanan yang efektif dan daya geser dengan kedalaman untuk bobot-sendiri hanya untuk air tanah di permukaan, dan bobot-sendiri dan desikasi untuk air tanah di permukaan dan di kedalaman 2 m. Jika tailing selalu ditimbun di bawah air, profil tekanan dan daya geser efektifnya akan meningkat secara linear dengan kedalaman dari nol pada permukaan tailing yang stabil, pada tingkat tergantung pada berat jenisnya dan berapa lama dibiarkan untuk berkonsolidasi. Penurunan permukaan air meningkatkan berat satuan basah dan menginduksi tegangan air, dan pada gilirannya meningkatkan tegangan efektif dan daya geser. Gambar 25 jelas menunjukkan bahwa pengeringan jauh lebih efektif daripada hanya konsolidasi bobot-sendiri dalam meningkatkan tegangan efektif dan daya geser dari tailing secara dramatis. Namun, efek pengeringan berkurang secara eksponensial dengan kedalaman, dan karenanya mengharuskan lapisan tipis tailing ditimbun dan kering sebelum lapisan berikutnya ditempatkan.

Gambar 25: Profil skematik dari tekanan yang efektif dan daya geser dengan kedalaman



Gambar 26 menunjukkan skema pengaruh pada profil tailing daya geser dengan kedalaman bobot-sendiri, pengerjaan amphirol pada residu basah, pengeringan, dan penempatan 2 m dari urukan, mewakili peninggian hulu pada residu yang digunakan pertanian dan residu desikasi setelah kelebihan tekanan air pori yang dihasilkan dari pembebanan lenyap.

Ketinggian bidang urukan (mewakili peninggian dinding hulu atau lapisan pencungkup) yang dapat dengan aman ditempatkan oleh D6 Swamp Dozer pada tailing kering diberikan dengan analisis kapasitas bantalan konvensional:

$$H = (N_c s_v) / (F \gamma_{mi} - H_e) \quad [2]$$

di mana H = ketinggian urukan yang aman dalam m, N_c = faktor kapasitas bantalan (5.14 untuk pembebanan

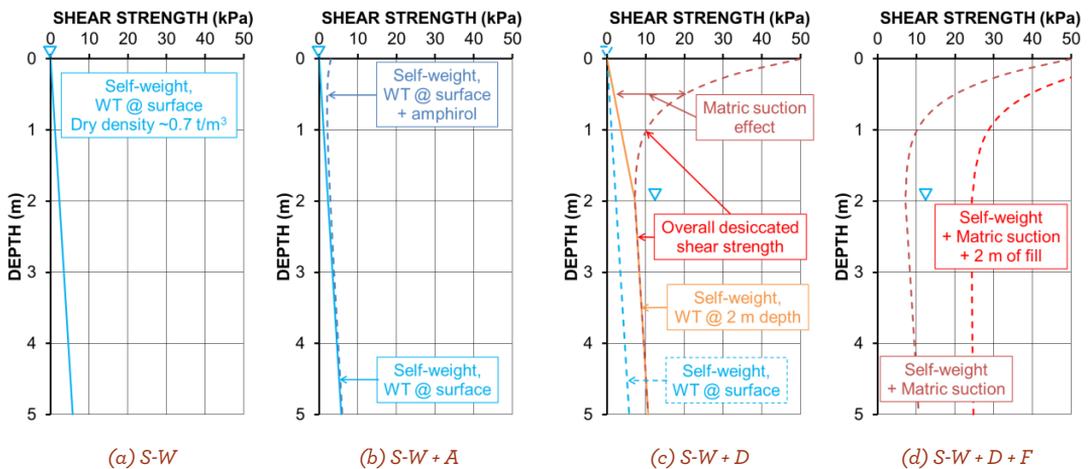
bidang), s_v = baling-baling (vane) yang tepat daya geser dalam kPa, F = factor keamanan yang tepat (mungkin 2), γ_{mul} = unit berat urukan (sekitar 18 kN/m³), dan H_e = setara ketinggian urukan diwakili oleh suatu D6 Swamp Dozer (sekitar 1 m).

Tingkat disipasi tekanan air pori berlebih yang dihasilkan oleh beban yang diterapkan adalah fungsi dari konduktivitas hidrolik tailing, yang akan menurun pada saat stabilisasi dan akan menurun dramatis terutama pada desikasi. Kemungkinan besar disipasi tekanan air pori akan memakan waktu berhari-hari sampai berminggu-minggu untuk tailing mengering. Peningkatan maksimal daya geser pada hilangnya tekanan air pori berlebih diberikan sebagai berikut:

$$\Delta\tau_{max} = \Delta\sigma' \tan \varphi' \quad [3]$$

di mana $\Delta\tau_{max}$ = peningkatan maksimal dalam daya geser, $\Delta\sigma'$ = peningkatan dalam tekanan vertikal efektif dari beban yang diterapkan, dan φ' = sudut friksi aliran dari tailing (sekitar 30°).

Gambar 26: Profil skematik daya geser dengan kedalaman



Gambar 26(a) hanya untuk bobot-sendiri untuk permukaan watertable; Gambar 26(b) untuk bobot-sendiri plus amphirol untuk permukaan watertable; Gambar 26(c) untuk bobot-sendiri plus desikasi untuk watertable pada kedalaman 2m; dan Gambar 26(d) untuk bobot-sendiri plus desikasi plus 2m urukan.

Untuk urukan yang ditempatkan berketinggian H dan unit berat γ_{mul} dari 18 kN/m³:

$$\Delta\tau_{max} \sim 18 H \tan 30^\circ = 10 H \quad [4]$$

Desikasi dan penempatan urukan merupakan cara paling efektif untuk mencapai konsolidasi dan penguatan tailing.

7.3.5 Pengendalian debu

Debu dari TSF permukaan mungkin berisiko bagi kesehatan publik dan menyebabkan dampak lingkungan dari partikulat dan pencemar yang beterbangan di udara. Hal ini mungkin menjadi kekhawatiran utama masyarakat sekitar, termasuk pekerja tambang dan keluarga mereka. Tailing berdebu (silty) atau tailing berpasir (sandy) tak terikat cenderung menyebabkan masalah debu selama periode angin kencang.

Debu tailing dapat dikendalikan dengan:

- penyemprotan permukaan dengan bahan kimia penekan debu
- menggunakan sistem sprinkler pop-up (seperti di Alcoa Kwinana)

- menutup tailing dengan lapisan tipis kerikil (sebagai di Mt Isa)
- menggunakan jebakan pagar lumpur, meskipun harus berjarak dekat dan dipertahankan untuk benar-benar efektif
- pembuangan limbah tailing untuk memaksimalkan permukaan terbasahi (meskipun ini meningkatkan kehilangan air dengan penguapan)
- menyediakan sedikit banyak pemadatan permukaan menggunakan dozer.

Tailing yang membentuk hardpan (lapisan permukaan yang mengeras) akibat akumulasi kadar garam yang tinggi mungkin tidak menciptakan masalah debu, kecuali terganggu oleh lalu lintas. Namun, potensi penghancuran jangka panjang kerak-kerak garam harus dibiarkan dan mungkin memerlukan penutup dari bahan yang tidak berbahaya.

7.4 Tinjauan dan pelaporan tahunan

Kinerja TSF harus ditinjau setiap tahun, dengan menggunakan pendekatan berbasis risiko, oleh seorang insinyur geoteknik berpengalaman dalam tailing dan desain bendungan. Ulasan harus kritis menilai kinerja aktual terhadap desain dan membuat rekomendasi untuk perbaikan dan tindakan pengurangan risiko. Ulasan tersebut diperintahkan oleh beberapa lembaga berwenang.

Ulasan harus mempertimbangkan:

- kinerja pengembangan tahapan dibanding desain—ketinggian puncak dan pantai, tonase tailing tersimpan dan volume terisi
- konfirmasi asumsi yang digunakan dalam desain—penilaian stabilitas di bawah keadaan pembebanan normal dan gempa serta kejadian-kejadian meteorologi terancang, parameter tailing insitu (kepadatan, kekuatan dan permeabilitas) dan posisi permukaan air tanah
- kinerja perangkat pengendalian seperti jaringan saluran bawah (untuk pengendalian rembesan), atau filter-filter internal (untuk pengendalian erosi internal maupun erosi jaringan pipa)
- kondisi pelapis (liner), di mana digunakan
- kinerja sistem pengawasan dan pemantauan sistem—status dan kondisi sistem pemantauan, kinerjanya dalam mendeteksi perubahan pada indikator awal (lingkungan dan/atau struktural) serta analisis dan evaluasi data pemantauan dibangunkan dengan tren yang diprediksi
- hasil-hasil pemantauan air tanah—perbandingan tingkat air tanah dan kualitas terhadap data dasar dan terhadap desain dan criteria penutupan, dengan mempertimbangkan
 - rembesan lateral dekat permukaan yang dapat menekan vegetasi atau membuat dinding bendungan tidak stabil
 - rembesan vertikal, yang dapat menyebabkan penyumbatan di bagian tertentu di bawah penyimpanan
- kinerja operasional—praktik-praktik penimbunan tailing (lapisan tipis) dan pengendalian air permukaan (air tersimpan minimal dan perawatan freeboard yang diminta)
- penilaian insiden-insiden operasional dan rekomendasi untuk perbaikan atau modifikasi guna memperbaiki dan membawa pelajaran yang didapat bagi desain dan operasi di masa depan
- ulasan tentang kemajuan bangunan dan proses-proses pada rencana penutupan yang ada untuk memastikan terus selaras dan saling melengkapi.

Pelaporan harus mencakup laporan pengoperasian, pengendalian dan insiden, yang terus diperbarui dan dilengkapi, selain ulasan rekayasa geoteknik tahunan independen. Penting agar data yang dikumpulkan dan laporan disimpan dengan aman dan dibuat back-up (duplikat), dan bahwa catatan elektronik menjadi bukti tidak dapat diutak-utik dan dapat diperoleh kembali. Hal ini sangat penting untuk melestarikan pengetahuan perusahaan, mengingat tingkat turnover tinggi personil lokasi tambang. Selain itu, data harus terus dikelola dengan pengaturan waktu guna menyoroti perubahan mendadak untuk memeriksa terhadap tingkat pemicu.

8.0 REHABILITASI DAN PERAWATAN PURNA OPERASI



Pesan-pesan kunci

- Fasilitas penyimpanan tailing merupakan risiko tinggi bagi kesehatan dan keselamatan publik dan lingkungan, baik selama operasi dan setelah penutupan.
- Paparan sedimen pada permukaan tailing dapat dimobilisasi kembali oleh angin dan curah limpasan hujan, serta DAL, salinitas dan pencemar lainnya mungkin dapat diangkut oleh limpasan curah hujan atau rembesan melalui fondasi dan/atau dinding TSF.
- Setelah 'platform' dibentuk pada permukaan tailing untuk kegiatan bangunan yang aman, mungkin merupakan penahan kapiler (capillary break) masa depan, sistem penutup dapat dibangun, apakah itu adalah penutup vegetatif sederhana atas tailing jinak atau penapisan curah hujan atau penutup simpan/lepas di atas tailing yang berpotensi mencemari tailing.
- Idealnya, tailing permukaan bentuk lahan harus sejauh mungkin meniru analog bentuk lahan alami sekitar dalam geometrinya, penutup permukaan, tekstur permukaan dan stabilitasnya.
- Persyaratan aturan minimum dan tujuan utama penutupan TSF adalah bahwa TSF akan di non-aktifkan dan direhabilitasi untuk menjadi sebuah struktur yang aman, stabil, dan tidak berpolusi, yang membutuhkan perawatan berkelanjutan yang sedikit.
- Keterlibatan masyarakat sangat penting dalam dekomisioning dan penutupan TSF.
- Penutupan dan rehabilitasi TFS harus mencapai penggunaan pasca-penutupan tanah atau ekosistem fungsional, dengan hasil revegetasi dan keanekaragaman hayati yang berkelanjutan yang telah disepakati.
- Rencana pemantauan dan pemeliharaan lokasi tertentu harus ditindaklanjuti untuk menegaskan bahwa TSF telah berhasil mencapai tujuan penutupan dan kriteria dekomisioning.

8.1 Risiko penutupan

Risiko yang dominan terkait tambang bagi kesehatan publik atau lingkungan adalah dari TSF (Envec 2005). Hal ini tercermin pada tingginya tingkat kepedulian masyarakat terhadap adanya operasi, penutupan, dekomisioning, rehabilitasi dan perawatan purna operasinya. Pencemar dapat dimobilisasi dari fasilitas ini melalui sejumlah mekanisme, termasuk yang beterbangan di udara (tailing debu dapat mengandung logam berat dan senyawa beracun), gerakan massa tailing dalam bentuk cair atau semi-cair, dan transportasi air sebagai padatan tersuspensi dan bahan terlarut (Lacy 2005).

Mode kegagalan dan risiko setelah penutupan TSF dapat mencakup sebagian besar mode kegagalan pengoperasian dan risiko, selain dari kegagalan pengiriman atau jaringan pipa air balik. Mode kegagalan pasca-penutupan tambahan dan risiko dapat mencakup:

- erosi curah hujan yang disebabkan wajah luar dari dinding bendungan, yang mungkin memaparkan dan memobilisasi tailing
- kegagalan spillway (jika tersedia)
- luberan oleh limpasan hujan, yang menyebabkan erosi dinding bendungan
- kegagalan sistem penutup yang ditempatkan di atas permukaan tailing, termasuk kegagalan untuk membatasi peresapan ke tingkat yang dimaksudkan dan kegagalan untuk menetapkan tingkat target revegetasi.



Sedimen pada permukaan tailing yang terpapar dapat dimobilisasi oleh angin dan limpasan curah hujan; dan DAL (lihat dua studi kasus berikut), salinitas dan pencemar lainnya dapat terbawa oleh curah limpasan hujan atau rembesan melalui fondasi dan/atau dinding TSF. Oleh karena itu, rehabilitasi permukaan tailing umumnya memerlukan semacam pencungkupan timbunan dan sistem penutup. Namun, tailing dapat terus menjadi stabil, sering berbeda-beda, pada laju yang semakin menyusut secara eksponensial lama setelah penimbunan berhenti. Hal ini didorong oleh konsolidasi bobot-sendiri dari tailing dengan disipasi tegangan air pori yang masih terjadi (underconsolidated), desikasi yang sedang berlangsung dan densifikasi tailing terpapar, serta pembebanan yang dikenakan oleh pencungkupan yang ditempatkan pada permukaan tailing. Selanjutnya, permukaan tailing mungkin tetap lembut dan tidak dapat diakses untuk peralatan bangunan, terutama menuju kolam penguras di mana lendiran tailing lembut akan terakumulasi dan di bawah genangan air di mana tidak dapat terjadi pengeringan.

Penutupan TSF harus dipertimbangkan sebagai bagian dari rencana penutupan tambang untuk memastikan bahwa kesehatan publik dan keselamatan, masyarakat dan kriteria lingkungan yang sesuai dapat ditetapkan untuk desain.¹⁸

Studi kasus: Rehabilitasi TSF di Benambra Mine, Victoria

Benambra Mine berlokasi di Victoria timur dioperasikan sebagai tambang logam dasar bawah tanah dari tahun 1992 hingga 1996. Selama operasi, 927.000 ton bijih diproses di tempat, dan hampir 700.000 ton tailing sulfida dipindahkan ke TSF di dekatnya, yang direkayasa sebagai struktur yang mampu menahan air. Setelah likuidasi perusahaan tambang tersebut pada tahun 1996, lokasi dikelola oleh Pemerintah Victoria. Pekerjaan rehabilitasi lokasi dilakukan pada tahun 2006, dengan fokus utama pada risiko DAL yang dihasilkan dari tailing (Earth System 2003).

¹⁸ Lihat buku-buku pegangan Praktik kerja unggulan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a), *Rehabilitasi tambang* (DIIS 2016e) dan *Keterlibatan dan pengembangan masyarakat* (DIIS 2016b).

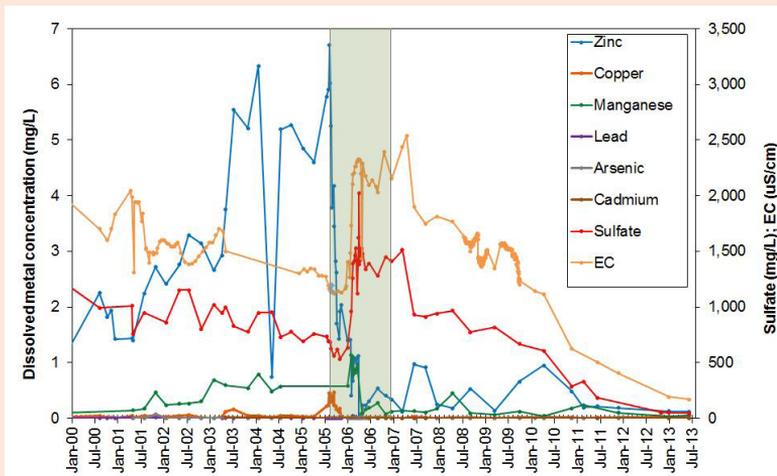
Sebelum rehabilitasi, TSF berisi sekitar 160 ML air supernatan yang terkontaminasi dan curah limpasan hujan, dengan kedalaman bervariasi dari 0 ke 8 m karena batimetri tailing tidak teratur. Genangan air hampir-netral, dengan konsentrasi logam tinggi dan sulfat. Rembesan dari TSF, mengalir di sekitar 1 L/s, sangat dipengaruhi oleh kualitas air kolam, tetapi dengan pH sedikit asam dan konsentrasi yang relatif tinggi mangan.

Rehabilitasi TSF mencakup menciptakan penutup air permanen atas tailing dengan kedalaman minimal 2 m untuk mencegah DAL yang dihasilkan dari tailing. Termasuk dalam pekerjaan rehabilitasi:

- pengembalian arah asli alur sungai untuk mengalir dari DAS-hulu kembali ke TSF
- bangunan spillway untuk memelihara penutup air berukuran 2 m, memungkinkan pengendalian peluapan dan menjamin stabilitas jangka panjang tanggul penahan air TSF
- penyebaran kembali tailing untuk mengurangi variasi kedalaman batimetri dan memastikan air penutup minimal berukuran 2 m di atas permukaan tailing
- menutup tailing yang diratakan dengan lapisan pasir kapur untuk meminimalkan suspensi ulang berbasis gelombang dan oksidasi tailing dalam kolom air
- menempatkan bahan organik di atas pasir kapur untuk mempromosikan logam sulfida curah hujan dan berkontribusi alkalinitas untuk penutup air, untuk mengembangkan aktivitas bakteri pengurang-sulfat, dan untuk lebih meminimalkan potensi oksidasi dengan menghambat perpindahan oksigen terlarut ke dalam tailing
- menghijaukan kembali tanggul penahan air TSF untuk menyediakan pasokan input organik konstan untuk tailing, mengembangkan aktivitas bakteri pengurang-sulfat dan meningkatkan kualitas air
- membangun lereng 4:1 (H:V) di bagian hilir muka tanggul guna memastikan stabilitas geoteknik dalam peristiwa gempa bumi yang ekstrim
- menambahkan alkalinitas ke sungai bagian hulu TSF untuk menaikkan pH asam alami untuk tingkat hampir netral
- membangun sebuah anaerobik vertikal keluaran langsung (upflow) lahan basah untuk mengobati rembesan secara pasif dari kaki dinding bendungan TSF bagian hilir, dengan rencana umur 20-30 tahun.

Temuan utama dari pemantauan air tailing sejak selesainya pekerjaan rehabilitasi pada tahun 2008 adalah sebagai berikut:

- pH telah efektif stabil pada nilai-nilai hampir-netral untuk sedikit basa, meskipun arus masuk air sungai sedikit asam.
- konsentrasi terlarut logam (lihat gambar di bawah) telah menurun setidaknya 90%—tembaga 2,4-0,01 mg/L, timah dari 0,44 menjadi kurang dari 0.001 mg/L, mangan 1,3-0,05 mg/L, seng dari lebih besar dari 1-0,1 mg/L, arsenik dari 0.068 menjadi kurang dari 0.001 mg/L, dan kadmium 0,014-0,0003 mg/L.
- Konsentrasi sulfat telah menurun secara drastis, dari sekitar 2.000 mg/L pada tahun 2006 menjadi kurang dari 50 mg/L pada tahun 2013, dengan pengurangan yang sesuai beban sulfat (massa) dalam tubuh air, dari lebih dari 200 tpa pada tahun 2006 menjadi sekitar 15 tpa pada tahun 2013, menunjukkan tidak ada bukti DAL yang dihasilkan.



Tren dalam kualitas tutup air memperlihatkan keberhasilan rehabilitasi (lamanya pekerjaan diperlihatkan dengan warna hijau; setelah Sistem Bumi (Earth Systems)) (2013).

Rembesan dari ujung kaki tanggul penahan air TSF bagian hilir sudah hampir-netral, dengan konsentrasi logam terlarut umumnya di bawah batas deteksi. Hal ini dikaitkan dengan peningkatan kualitas penutup air, dikombinasikan dengan operasi yang efektif dari lahan basah anaerobik hilir.

Penurunan konsentrasi tembaga secara bertahap membiarkan pertumbuhan alga, mendorong katak dan burung air untuk kembali. Pertumbuhan vegetasi di sekitar tanggul akan menambah karbon, dan kotoran dari burung air memperkenalkan bahan organik baru dan fosfor, yang diharapkan dapat lebih meningkatkan kualitas air.



Ekosistem perairan secara bertahap berkembang di penutup air, dengan vegetasi bawah air terlihat di tepian air.



Aliran air anaerobic (kosong oksigen) vertikal dari bawah ke atas ke bagian hulu wetland (lahan penuh air) dari tanggul TSF.

Studi kasus: Rehabilitasi Kolam B di Henty Gold Mine, Tasmania

Tambang Emas Henty terletak di 550 m di atas permukaan laut di pegunungan terjal pantai barat Tasmania—daerah alpine yang sensitif menerima curah hujan tahunan rata-rata 3.600 mm. Lokasi tambang mengakibatkan kondisi operasi dan peraturan pemerintah yang ketat yang ditetapkan untuk operasi pertambangan dan pengolahan.

Tambang bawah tanah mulai memproduksi pada tahun 1996, awalnya dioperasikan oleh Placer Dome, yang menjadi Barrick Ltd pada tahun 2006. Unity Mining Ltd mengambil alih kepemilikan pada tahun 2009. Awalnya, operasi direncanakan untuk kehidupan tambang lima tahun, tetapi penemuan sumber daya tambahan bijih diperpanjang umur tambang hingga akhir 2015.

Tailing dari tambang awalnya disimpan di fasilitas penyimpanan residu pelindian Kolam B, yang terdiri dari 'sarang kalkun' hilir, dikategorikan tanggul yang dibangun dengan urukan tanah dan batuan sisa dengan menggunakan bahan yang bersumber dari bangunan bawah tanah dan daerah urukan di tempat. Pond B dioperasikan pada tahun 1997-2001 sebelum mencapai kapasitas 700.000 ton tailing yang dihasilkan dari proses resapan sianida. Potensi pembentukan asam dalam residu pelindian diidentifikasi rendah.

GHD terlibat dalam penelitian, desain dan bangunan Kolam B selama tahap operasi dan kemudian terlibat pada tahun 2002 untuk menyediakan desain penutup dan jasa bangunan yang mengembangkan sistem penutup tanah/air parsial yang unik selama tailing (disebut 'penutupan lembek' oleh operator tambang). Penutupan singkat yang diperlukan bentuk lahan akhir yang akan memenuhi kriteria dan tujuan yang ketat, sebagai berikut:

- aman, stabil, tidak mengikis
- alami, garis visual menyenangkan

- tutupan vegetasi parsial sesuai dengan pemandangan sekitarnya, yang memungkinkan pembentukan kembali ekosistem asli
- perawatan yang rendah, semakin tidak memerlukan perawatan sama sekali dari jangka medium sampai jangka panjang.

Lapisan penutup dibangun dari bulan Januari hingga April 2002. Bahan urukan diperoleh dari gambut yang ditimbun dari bangunan Kolam B dan dari kliring untuk fasilitas resapan penyimpanan residu baru. Bahan urukan non-organik digunakan untuk profil lereng hilir tanggul Kolam B untuk membentuk bentuk lahan 'tarn-like' (seperti danau gunung) sesuai dengan topografi sekitarnya. Gambut bahan urukan digunakan untuk membentuk penutup tanah, dan jari-jari masuk batuan sisa didorong keluar ke dalam area untuk memiliki penutup air permanen. Penutupan lembek mengambil pendekatan konservatif dengan asumsi bahwa residu pelindian adalah penghasil-asam, dan mengandung residu pelindian baik di bawah penutup air permanen atau di bawah penutup tanah jenuh.



Kolam B Henty Gold Mine setelah rehabilitasi.

Pemantauan kualitas air Kolam B sejak operasi dimulai pada tahun 1996 telah menunjukkan bahwa air supernatan rendah sulfat dan logam terlarut. Rembesan dari Kolam B juga memiliki konsentrasi logam yang rendah terlarut, tetapi konsentrasi sulfat lebih tinggi. Konsentrasi sulfat dalam penutup air telah menunjukkan penurunan yang cepat sejak selesainya bangunan penutup, dari sekitar 800 mg/L menjadi kurang dari 50 mg/L.

Kriteria penutupan untuk TSF harus ditinjau dalam konsultasi dengan masyarakat selama tahap operasi, dan dengan demikian rencana tailing (termasuk modifikasi desain) direvisi.

Pendekatan praktik kerja unggulan kepada perencanaan penutupan TSF jelas menentukan, pada tahap awal mungkin dalam desain, penggunaan lahan pasca-penutupan dan penutupan bentuk lahan final, dan kemudian menunjukkan komitmen untuk mencapai tujuan tersebut melalui pelaporan transparan rutin terhadap kriteria tanda yang menunjukkan kemungkinan yang dapat terjadi dan masyarakat konsultasi (Bentel 2009). Praktik kerja unggulan juga menunjukkan komitmen untuk mencapai bentuk lahan yang stabil dan mandiri dengan rekayasa pengujian penutupan dan revegetasi konsep jauh sebelum penutupan terjadi sehingga desain penutupan dapat direkayasa dengan lebih konfidan dan biaya efektif.

Pertimbangan yang amat penting atas desain yang berkaitan dengan geoteknik dan stabilitas permukaan bentuk lahan, dan pengendalian polusi melalui desain dan bangunan penutup permukaan dan perawatan yang efektif.

Pertimbangan yang cermat yang harus diberikan mencakup:

- penggunaan lahan pasca-penutupan dan akhir bentuk lahan—pertimbangan harus mulai dalam tahap desain dan terus di sepanjang siklus hidup melalui konsultasi dengan pemangku kepentingan selama perencanaan penutupan
- karakterisasi dan inventarisasi bahan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan bahan penutupan—mempertimbangkan bahan yang tersedia, karakteristik fisik dan geokimia dan pemahaman tentang atribut mereka berkaitan dengan kendali peresapan, potensi melindungi dan kesesuaian sebagai substrat revegetasi
- penyediaan keuangan—yang mungkin model keuangan probabilitistik yang tepat untuk mempertimbangkan sepenuhnya rentang kemungkinan biaya penutupan, ukuran jejak dan ketebalan penutup (termasuk sumber bahan penutup yang berterima dan memadai), peristiwa (seperti badai dan gempa bumi), penjadwalan (desain, bangunan dan pemantauan dan perawatan pasca-penutupan), serta memetakan fasilitas tindakan drainase, risiko proyek (misalnya, kriteria yang lebih ketat dari yang diasumsikan) dan biaya uji coba untuk menghindari pengabaian yang signifikan dari ketentuan keuangan yang diperlukan (Bentel 2009);
- rencana pemantauan dan perawatan purna operasi—mendaftar semua kriteria pasca-penutupan dan penjadwalan tugas dan kegiatan yang dibutuhkan untuk mengukur dampak pasca-penutupan utama dan indikator keberlanjutan.

Pemantauan perawatan purna operasi dan pemeliharaan mungkin mencakup jumlah dan laju pelepasan zat terlarut dan pertumbuhan kembali vegetasi (spesies, kepadatan dan gulma). Periode pemantauan pasca-penutupan tergantung pada lokasi, tetapi ditentukan oleh periode yang dibutuhkan untuk menegaskan bahwa tidak ada dampak yang merugikan yang tidak berterima yang terjadi atau dapat terjadi setelah selesai. Rencana tersebut juga harus memperinci kewajiban, tanggung jawab, jadwal dan penyediaan keuangan untuk kegiatan pemantauan, pelaporan, konsultasi dan perawatan, jika diperlukan.

8.2 Tujuan penutupan

Tujuan utama dari penutupan, dekomisioning dan rehabilitasi TSF untuk meninggalkan fasilitas yang aman, stabil dan non-kontaminasi, dengan sedikit kebutuhan untuk pemeliharaan. Dalam beberapa kasus akan mungkin untuk meningkatkan nilai lahan bekas tambang untuk menciptakan lanskap yang dimodifikasi yang menawarkan nilai rekreasi, komersial atau alam yang dapat dinikmati di masa depan. Penutupan dan rehabilitasi TSF harus selalu bertujuan untuk membangun ekosistem yang berkelanjutan, dengan revegetasi dan keanekaragaman hayati, hasil analog yang berkelanjutan dengan nilai tanah asli. Untuk mencapai hasil tersebut, penting bahwa tata guna lahan pasca-penambangan dan tujuan fungsi ekologis dikembangkan dan disepakati dengan regulator, masyarakat lokal dan pemangku kepentingan.

Kerangka kerja strategis untuk pengelolaan tailing (MCMPR-MCA 2003) memperhitungkan tujuan berikut saat merencanakan TSF bentuk lahan akhir:

- membendung/encapsulasi tailing untuk mencegah tailing ke luar ke lingkungan
- meminimalkan rembesan air yang terkontaminasi dari TSF ke air permukaan dan air tanah
- menyediakan penutup permukaan yang stabil untuk mencegah erosi dari TSF
- menciptakan substrat yang kondusif untuk pembentukan revegetasi yang tepat
- merancang bentuk lahan akhir untuk meminimalkan perawatan pasca-penutupan.

Faktor yang harus dipertimbangkan saat merencanakan penutupan, dekomisioning dan rehabilitasi TSF meliputi:

- jenis bijih dan geokimia, yang akan menentukan potensi tailing untuk mencemari, dengan mempertimbangkan sifat variabel bijih

- pendekatan pada penghancuran dan penggilingan reagen proses yang digunakan untuk ekstraksi bijih, yang menentukan distribusi ukuran partikel tailing dan pori serta kualitas rembesan air
- kualitas air setelah pengolahan
- teknik pembuangan tailing
- operasi TSF dalam persiapan untuk penutupan (misalnya, menyimpan tailing jinak atau pelepasan terpusat untuk menciptakan permukaan penetasan air)
- lingkungan dan iklim di lokasi TSF
- penggunaan lahan pasca-penutupan
- estimasi biaya penutupan
- stabilitas bentuk lahan jangka panjang, termasuk stabilitas geoteknik dan erosi
- mengelola permukaan limpasan dan genangan pada tailing, yang akan mempengaruhi rembesan, dan kebutuhan untuk spillway penutupan
- drainase di luar fasilitas dan tindakan pengalihan air bersih
- kesesuaian dan kedekatan bahan penutupan
- rembesan jangka panjang terhadap lingkungan yang berpotensi terkontaminasi air tailing
- potensi pembentukan debu sebelum, selama dan setelah rehabilitasi
- kebutuhan, dan fungsi yang diinginkan dan seleksi fungsi, sistem penutup untuk tailing
- pengolahan permukaan dan vegetasi dari tailing
- profil, pengolahan permukaan dan vegetasi lereng gundukan bagian luar
- persyaratan perimeter, termasuk persyaratan drainase, jangka panjang rembesan intersepsi dan cara akses, yang mungkin akan terpengaruh oleh membuat profil ulang.

Setiap lokasi akan memiliki komitmen khusus terkait penutupan TSF, berdasarkan hasil studi teknis dan kesepakatan dengan pemilik tanah dan badan pengatur. Komitmen ini harus ditinjau sebelum menyelesaikan desain penutupan. Keterlibatan aktif pemangku kepentingan merupakan bagian penting dari proses, memungkinkan perusahaan pertambangan untuk menyajikan rencana penutupan, mendengarkan umpan balik dari para pemangku kepentingan utama dan menyempurnakan rencana ke titik di mana penerimaan masyarakat dan dukungan pemerintah tercapai.

Masalah penutupan teknis umumnya berkaitan dengan aspek geoteknik, geokimia, hidrologi dan lingkungan, membutuhkan pendekatan tim multidisiplin.¹⁹ Penutupan, dekomisioning dan rehabilitasi TFS memerlukan pendekatan bertahap, yang melibatkan:

- keterlibatan pemangku kepentingan (diskusi, kunjungan lapangan dan peninjauan dokumen)
- sampling, investigasi dan penelitian untuk menentukan tailing dan bahan rehabilitasi (pengetahuan ini kemudian digunakan untuk menyelesaikan masalah penutupan)
- penyusunan draft rencana dekomisioning untuk diserahkan kepada regulator dan lainnya kepada para pemangku kepentingan lainnya
- penyusunan rencana dekomisioning akhir, yang meliputi tanggapan pemangku kepentingan dan data teknis terbaru dan penelitian
- dekomisioning dan rehabilitasi TSF dan persiapan laporan dekomisioning akhir
- monitoring, perawatan purna operasi dan sign-off.

¹⁹ Contoh masalah umum yang dihadapi dan kemungkinan pilihan penutupan terdapat di Lampiran 2 dari buku pegangan praktik kerja unggulan *Penutupan tambang* (DIIS 2016a).

8.3 Keterlibatan masyarakat

Keterlibatan masyarakat sangat penting dalam dekomisioning dan penutupan TSF, pada saat konsultasi pemangku kepentingan, berbagi informasi dan dialog harus dipergiat, meskipun harus dimulai dalam tahap perencanaan proyek dan setelah itu berlanjut. Hal ini akan memungkinkan penidentifikasi sudut pandang pemangku kepentingan, keprihatinan dan harapan untuk diperhitungkan dalam perencanaan dan pelaksanaan pembongkaran dan penutupan TSF. Semakin besar ketidakpastian, semakin dibutuhkan pendekatan yang proaktif.²⁰

8.4 Neraca air pasca-penutupan tailing

Input ke neraca air pasca-penutupan TSF biasanya terbatas pada curah hujan dan limpasan (kecuali fasilitas ini digunakan sebagai fasilitas penyimpanan air periodik atau darurat). Oleh karena itu, kehilangan air dari TSF setelah penutupan biasanya meliputi luapan spillway, penguapan air tergenang, tailing basah dan tailing yang mengering, ditambah rembesan ke dasar TSF dan melalui tanggul penahan air TSF. Neraca air tailing pasca-penutupan diberikan dengan:

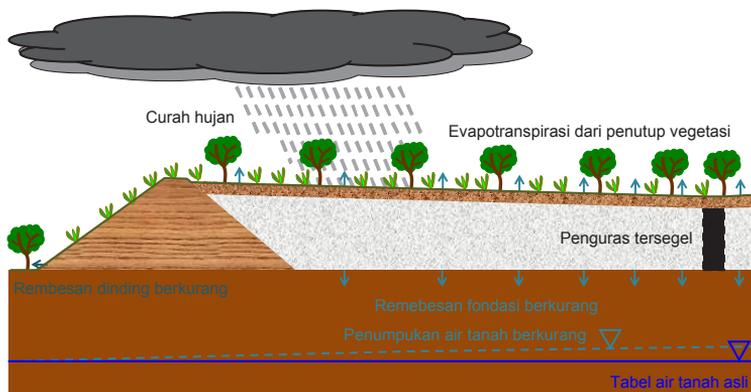
$$RR = SO + EW + SF + SW + SE \quad [5]$$

di mana **SO** adalah luapan spillway, dan **EW** adalah air sisa yang tertahan. (Istilah lain didefinisikan pada halaman 69).

Skema dari pasca-penutupan neraca air TSF diilustrasikan dalam Gambar 27, menunjukkan air pengurusan pusat yang disegel dan penutup vegetasi di atas tailing dan dinding. Permukaan air tanah dalam tailing akan cenderung mengalir turun setelah penutupan, dan pondasi dan dinding aliran rembesan akan cenderung menyusut secara eksponensial dengan waktu, dengan beberapa pemulihan setelah periode hujan lebat dan berkepanjangan. Penumpukan air dari air tanah juga akan cenderung menyusut seiring waktu.

Masalah keseimbangan air pasca-penutupan TSF termasuk kualitas air, menentukan apakah luapan spillway dapat dibuang langsung ke lingkungan atau tidak, atau memerlukan pengolahan, dan rembesan yang sedang berlangsung, yang diperkirakan akan menyusut karena tailing mengalir ke bawah, tapi akan terisi ulang dengan curah limpasan hujan yang tidak tumpah. Tirisan air dari tailing akan memapar pada oksidasi dan berpotensi mencemari limpasan dan rembesan.

Gambar 27: Skema neraca air pasca-penutupan fasilitas penyimpanan tailing



20 Prinsip-prinsip dan praktik-praktik untuk pelibatan para pemangku kepentingan tercakup dalam buku pegangan praktik kerja unggulan *Keterlibatan masyarakat dan pembangunan* (DIIS 2016b) and *Bekerja dengan masyarakat Pribumi* (DIIS 2016c)

8.5 Bentuk lahan pasca-penutupan

Idealnya, bentuk lahan permukaan tailing harus meniru analog bentuk lahan alami sekitarnya dalam geometri mereka, penutup permukaan, tekstur permukaan dan stabilitas. TSF di medan datar, seperti geologis tua, gersang sampai semi-gersang di pedalaman Australia, relatif dangkal dan mencakup wilayah yang relatif besar (Gambar 28). Bahkan dalam topografi alami datar ada beberapa relief vertikal. Ini biasanya melibatkan gundukan relatif rendah yang meluas sampai di daerah luas—produk dari periode panjang pelapukan dan kikisan yang mengukir bentuk lahan yang datar.

Gambar 28: Tailing yang dangkal dan luas dan bentuk lahan tailing yang ditinggikan secara alami



Pada iklim kering, di mana penutup vegetasi tentunya terbatas, kelanggengan dan ketahanan erosi dari lereng tergantung pada tekstur permukaan batuan bervegetasi yang maksimal oleh semak jarang. Bagi kondisi semi-gersang, bagian atas tailing yang bundar dapat divegetasi ulang, baik secara langsung maupun setelah penempatan lapisan penutup yang tepat (Gambar 29 (kiri)). Dalam kondisi semacam itu, kemampuan untuk menyimpan air di bentukan lahan TSF setelah curah hujan ekstrim harus dipertimbangkan untuk menghindari erosi lereng luar pada luberan. Dalam kondisi kering, bagian atas bentuk lahan tailing yang bundar akan menyerupai lading garam meninggi, mirip dengan landang garam alami yang ditutupi dengan tabah bertekstur halus dan hanya memiliki vegetasi spesies yang tahan garam (Gambar 29 (kanan)). Namun perlu dipertimbangkan pula kemungkinan adanya logam pembawa debu yang berasal dari permukaan tailing yang tidak tertutup atau bervegetasi buruk.

Pada iklim gersang, TSF tertutup akan kehilangan kejenuhan dan cenderung akan menjaga aliran bersih air ke atas yang didorong oleh penguapan. Aliran air ke bawah sehabis hujan cenderung terbatas (kecuali hujan deras), dengan penguapan yang mendorong kembalinya aliran air ke atas sebelum terjadinya perkolasi signifikan ke tailing. Hal ini mirip dengan aliran-aliran air lading garam alami, yang menghasilkan pengisian ulang yang terbatas dan lambat ke permukaan tanah.

Pada iklim yang lebih basah, untuk menghindari rembesan air tailing berpotensi kontaminasi ke bagian ujung kaki TSF atau ke tanah, mungkin perlu untuk dibuatkan spillway permanen untuk menyingkirkan limpasan hujan deras. Jika mungkin spillway harus digali melalui batuan alami atau saluran air yang dilapisi beton. Limpasan perlu menetap cukup lama dalam kolam sedimen agar padatan tersuspensi dapat terkumpul, serta mungkin memerlukan pengolahan untuk memastikan kualitas air yang cukup baik sebelum pelepasan. Potensi erosi dan degradasi spillway serta kebutuhan untuk pengendalian kualitas air menyiratkan perlunya kemungkinan untuk pemeliharaan.

Gambar 29: Revegetasi langsung pada tailing: (kiri) Revegetasi pada iklim semi-gersang; Revegetasi (kanan) vegetasi tahan garam pada iklim kering



Semua bentuk lahan akan terkikis seiring waktu, demikian juga TFS. Tujuannya adalah untuk menciptakan bentuk lahan akhir yang mengikis pada tingkat yang sangat lambat, yang lingkungan penerima dapat mengasimilasi. Sebagai konsekuensinya, tailing yang disimpan harus dienkapsulasi dengan kemasan penutup dengan bahan tebal yang tidak berbahaya dan ditindih dengan oleh batu dan vegetasi yang membatasi pengikisan. Selanjutnya, limpasan dari atas bentuk lahan tailing tidak boleh diarahkan melewati atas lereng luar, tetapi dievaporasi atau terjadi oleh vegetasi atau diarahkan ke spillway yang dibangun khusus, dengan pemahaman bahwa mungkin diperlukan pemeliharaan spillway.

Kebanyakan TSF dibangun di permukaan dan oleh karena itu merupakan bentuk lahan yang ditinggikan, membuat TFS terlihat jelas dan juga memberikan potensi erosi. Karenanya harus diingat bahwa TSF harus direncanakan, dirancang, dibangun dan direhabilitasi dengan estetika dan potensi erosi. Kemungkinan TSF akan meluas selama operasi tambang dan pabrik pengolahan juga harus dipertimbangkan dengan cermat. Bentuk lahan tailing akhir harus berterima secara estetis, risiko kesehatan dan keselamatan publik dapat diabaikan, dan berisiko rendah dari bahaya masa depan lingkungan yang berterima.

Tekanan dari regulator, masyarakat dan industri mineral semakin meningkat pada bentuk lahan akhir TSF agar sedapat mungkin menjadikan TFS terlihat tersamar dan untuk rehabilitasi progresif pembuangan bawah tanah atau dalam pit. Dalam hal di mana pertambangan bertambah maju sebagai serangkaian lubang, urukan progresif dari hasil tambang yang ke luar dari pit bersamaan dengan limbah tambang, termasuk tailing, harus dipadukan ke dalam rencana tambang.

8.5.1 Bangunan bentuk lahan terpadu

Pada kebanyakan lokasi tambang perlu (demi keamanan, fungsi dan alasan lainnya) untuk memisahkan berbagai elemen operasional yang terlibat—pit terbuka, penambangan bawah tanah, tumpukan batuan sisa, TSF, pabrik pengolahan dan kompleks perkantoran. Namun mungkin tidak perlu dan tidak diinginkan untuk sepenuhnya memisahkan tumpukan batuan sisa dan TSF, dan lubang terbuka dan pekerjaan bawah tanah yang selesai dapat dengan aman dan ekonomis digunakan untuk limbah toko pertambangan dan pengolahan.

Pembuangan batuan sisa dan TSF mungkin dapat berbagi dinding umum dan dua bentuk lahan akhir dapat terpadu, dalam beberapa kasus sejauh TSF seluruhnya dikelilingi oleh pembuangan limbah batuan. Batuan sisa dapat biaya-efektif didorong ke tailing basah atau kering selama operasi pembuangan, menciptakan sebuah platform yang stabil selama tailing yang penutup akhirnya dapat dibangun (Gambar 30). Hasil ini akan memastikan kepentingan masyarakat dan lingkungan dapat dipenuhi dan masalah dapat ditanggulangi.

Gambar 30: Limbah batu didorong ke tailing kering



8.5.2 Pencungkupan timbunan tailing dan pilihan penutup tailing

Tailing yang tidak ditutupi berpotensi mencemari dan berisiko kesehatan bagi manusia dan memberi dampak sosial dan lingkungan, terutama jika tailing rentan terhadap pembentukan debu, limpasan hujan yang dibiarkan masuk ke kolam langsung di atas tailing atau permukaan tailing tetap lembut. Mungkin sistem tutup tailing, dalam rangka perkiraan meningkatnya kompleksitas teknis dan biaya, adalah

- revegetasi langsung dari tailing (lihat studi kasus berikut pada revegetasi langsung dari TSF di Kidston Gold Mine di Queensland)
- lapisan tipis kerikil ditempatkan langsung di atas permukaan tailing untuk mengurangi debu
- penutup air permanen, lahan basah atau tanah jenuh mencakup lebih dari tailing reaktif di daerah beriklim lembab
- penutup bervegetasi yang ditargetkan untuk menapis curah limpasan hujan pada iklim lembab
- penutup bervegetasi, simpan/lepas dan tidak menapis, cocok untuk iklim kering atau kering musiman, yang ditujukan untuk meminimalkan perkolasi dengan pelepasan curah hujan musim basah yang tertahan dengan evapotranspirasi selama musim kemarau
- lapisan penahan kapiler, ditindih oleh medium yang tidak menapis, ditumbuhi vegetasi, yang ditujukan untuk mengendalikan penyerapan garam ke dalam medium pertumbuhan untuk memelihara vegetasi, guna penerapan pada iklim kering
- kombinasi di atas (Williams 2005; DIIS 2016e).

Setiap revegetasi langsung dari tailing atau penutup ditempatkan pada tailing akan mempengaruhi perkolasi bersih ke tailing. Konduktivitas hidrolik tailing pada kedalaman, gradien hidrolik dan air tertahan di tailing yang dapat meresap akan menentukan potensi rembesan tersebut ke dalam pondasi atau melalui tanggul penahan air TSF. Konduktivitas hidrolik dari fondasi TSF dan dinding kemudian akan menentukan jalur untuk rembesan air tailing dan proporsi rembesan relatif yang masuk ke fondasi dan di ujung kaki dinding bagian hilir. Semakin tinggi elevasi TSF, semakin besar potensi gradien hidrolik yang mungkin tersedia untuk mendorong rembesan ke dalam pondasi atau melalui dinding. Setiap rembesan dinding akan muncul pada titik-titik yang rendah topografi di sekeliling TSF, bertepatan dengan saluran drainase yang asli. Dengan mengurangi masukan air ke TSF pada dekomisioning pembuangan tailing, tailing akan menguras turun pada tingkat yang akan menyusut secara eksponensial dari waktu ke waktu, dan dengan demikian tingkat rembesan akan berkurang, selain saat TFS diisi oleh hujan lebat atau genangan permanen di penutup permukaan.

Studi kasus: Revegetasi langsung dari fasilitas penyimpanan tailing di Kidston Gold Mine, Queensland

Kidston Gold Mine, yang berlokasi di 260 km barat daya Cairns di utara Queensland, dioperasikan sampai tahun 2001 oleh Placer Pacific. Iklim ditandai oleh musim hujan dan kemarau yang berat. Rata-rata, lebih dari 80% dari curah hujan tahunan (rata-rata 719 mm) jatuh antara bulan November dan April pada badai berintensitas tinggi dan hujan musiman. Suhu harian rata-rata 18°C pada musim dingin dan 33°C pada musim panas.

Tujuan penutupan Kidston Gold Mine antara lain vegetasi savana mandiri hutan pohon asli dan spesies penutup tanah diperkenalkan dan asli. TSF 310 ha yang terkandung sekitar 68 Mt tailing ditimbun antara tahun 1985 dan 1996. Percobaan revegetasi awal yang dilakukan pada awal hingga pertengahan 1990-an menunjukkan kapasitas tailing relatif jinak untuk mendukung pertumbuhan vegetasi secara langsung, tanpa persyaratan untuk lapisan penguncupan tanah atau bahan penutup lainnya.

TSF dinonaktifkan pada akhir tahun 1997 dan, karena daerah yang dapat diakses pada permukaan fasilitas menjadi semakin tersedia (dari Maret 1998 hingga Desember 2001), penanaman dan pembibitan lebih dari 50 pohon dan semak spesies asli dan delapan yang diperkenalkan dan dilakukan penanaman spesies rumput asli. Dengan dukungan irigasi tetes selama beberapa bulan pertama dan pemupukan awal, tailing alkali terbukti menjadi substrat yang kondusif untuk pembentukan vegetasi.

Studi awal menunjukkan bahwa penggunaan tabung stok itu mungkin menjadi sarana sukses bagi membangun komponen menengah dan atas rantai dari komunitas vegetasi pada tailing. Uji coba penebaran pembenihan spesies asli pada tailing Maret 1998 terbukti berhasil, menunjukkan bahwa ada potensi untuk membangun spesies kayu, khususnya spesies ironbark lokal, dari penyemaian langsung pada tailing. Banyak percobaan penelitian lainnya dan kampanye pemantauan dilakukan untuk membangun kepercayaan dalam kekokohan strategi untuk langsung menanam kembali tailing, menyediakan penutup yang dapat mendukung binatang ternak.



Fasilitas penyimpanan tailing Kidston Gold Mine sebelum revegetasi langsung (kiri) dan beberapa tahun setelah itu (kanan).



Bagian yang lebih tua dari tailing yang direvegetasi, tujuh tahun setelah penanaman dan pembibitan.

Masyarakat vegetasi didirikan pada tailing Kidston awalnya dikembangkan dengan positif, memberikan kontribusi untuk penurunan drainase dalam dan rembesan dari ujung kaki hilir tanggul penahan air TSF. Namun seiring waktu kondisi penutup revegetasi pada tailing semakin memburuk karena kombinasi dari penggembalaan, terutama oleh ternak dan brumbies, tahun kemarau yang berkepanjangan, sifat bebas menguras tailing berpasir, dan hilangnya nutrisi dari atas profil tailing. Juga, rembesan dari kaki hilir tanggul penahan air TSF telah meningkat sehabis hujan deras, dan kualitas tetap buruk, dengan pH tertekan dan logam terlarut meningkat dan sulfat.

Beberapa keuntungan dan kerugian dari berbagai sistem penutup alternatif dirangkum dalam Tabel 9.

Tabel 9: Keuntungan dan kerugian sistem penutup alternatif

SISTEM PENUTUP	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Vegetasi langsung	Biaya rendah, jika tailing (jinak) mendukungnya dan ada waktu yang cukup untuk pengembangan penutup organik mandiri	Mungkin tidak berkelanjutan karena kurangnya nutrient dan/atau air tawar, atau jika perkolasi bersih perlu dibatasi
Kerikil tipis	Biaya rendah, jika penyemprotan debu merupakan tujuan utama	Mungkin tidak vegetasi Tidak akan membatasi peresapan curah hujan dan rembesan yang dihasilkan Mengurangi penguapan
Penutup air permanen, lahan basah, atau penutup tanah jenuh lebih dari tailing reaktif	Akan membatasi masuknya oksigen ke dalam tailing, membatasi oksidasi dan DAL	Membutuhkan iklim keseimbangan air bersih yang positif atau daerah tangkapan dan topografi pengisian kembali jejak TSF untuk menjaga penutup air yang cukup/saturasi Tailing yang sudah teroksidasi akan membutuhkan penambahan kapur untuk menetralkan DAL Mungkin memerlukan pelapis dasar
Penampisan curah hujan	Dapat membatasi perkolasi bersih dengan mendorong limpasan Memberikan penutup bervegetasi pada iklim lembab	Mungkin merusak karena diferensial konsolidasi tailing di bawahnya atau mengering pada iklim kering, berakibat genangan dan resapan hujan Kemungkinan untuk mengikis jika revegetasi tidak cukup atau tekstur permukaan musiman dan/atau mudah terkikis Mungkin memerlukan konsentrasi limpasan curah hujan pada saluran air dan spillway yang mungkin akan membutuhkan perawatan
Simpan/lepas	Panen curah hujan untuk mendukung penutup vegetasi Dapat membatasi perkolasi bersih tailing di bawahnya	Membutuhkan ketebalan yang signifikan dari media pertumbuhan di atas lapisan dasar penyegelan Lapisan dasar penyegelan mungkin rentan untuk diferensial konsolidasi tailing di bawahnya, yang juga dapat mengakibatkan genangan lokal resapan curah hujan Mungkin gagal jika vegetasi yang dipilih tidak sesuai atau tidak berkelanjutan, atau lalu lintas fauna dan fauna merumput mempengaruhi keutuhan penutup
Penahan kapiler	Dapat membatasi penyerapan salinitas ke dalam medium pertumbuhan atasnya, memungkinkan revegetasi	Penahan kapileri yang kurang sesuai atau terlalu tipis akan memungkinkan penyerapan garam ke dalam medium pertumbuhan atasnya pada iklim yang menguapkan Medium pertumbuhan yang terlalu tipis atau terlalu berbutir kasar tidak akan menyimpan air untuk melanggengkan vegetasi Kendali mutu sangat penting, dan pasir yang sering tidak sesuai karena memungkinkan masuknya butiran halus di atasnya

Rehabilitasi tailing lembut mungkin memerlukan penempatan hidrolis awal bahan penguncupan timbunan (Gambar 31 (kiri)) untuk membangun platform bangunan untuk menyelesaikan rehabilitasi. Menimbun tailing pada tingkat ketinggian pada kerendahan yang tepat dan di tumpukan tipis yang memungkinkan pengeringan antara tumpukan (Gambar 31 (kanan)), atau menggunakan tailing pasta atau kue filter, akan memungkinkan akses yang aman sebelumnya untuk pencungkupan timbunan untuk tujuan rehabilitasi dan pasca nilai yang lebih tinggi tata guna lahan pasca-penambangan dan fungsi ekologis.

Pencungkupan timbunan tailing yang aman dimulai dari bagian atas terbuka dari pantai, umumnya menggunakan skala kecil, peralatan pembebanan bantalan dengan tekanan yang rendah, dan perlahan-lahan maju ke tailing yang lebih lembut dan pada bagian depan yang luas (Gambar 32), untuk menghindari kegagalan bow wave (gelombang haluan) yang tak terkendali (Gambar 33). Setelah platform bangunan telah dibentuk pada permukaan tailing, sistem penutup dapat dibangun.

Gambar 31: Contoh: (kiri) pencungkupan timbunan tailing secara hidrolik; (Kanan) meningkatkan daya dukung tailing dengan menimbun di tumpukan tipis dan mengering



Gambar 32: Pencungkupan timbunan tailing secara bertahap menggunakan peralatan skala kecil: (left) menambah timbunan tailing dengan menggunakan truk-truk kecil; (kanan) mendorong tambahan dalam tumpukan tipis dengan menggunakan D6 Swamp Dozer



Gambar 33: Pencungkupan timbunan tailing: (kiri) menyebabkan kegagalan gelombang haluan karena peralatan berskala besar; (kanan) kerusakan eskavator pada lapisan penutup yang terlalu tipis atas tailing lembut

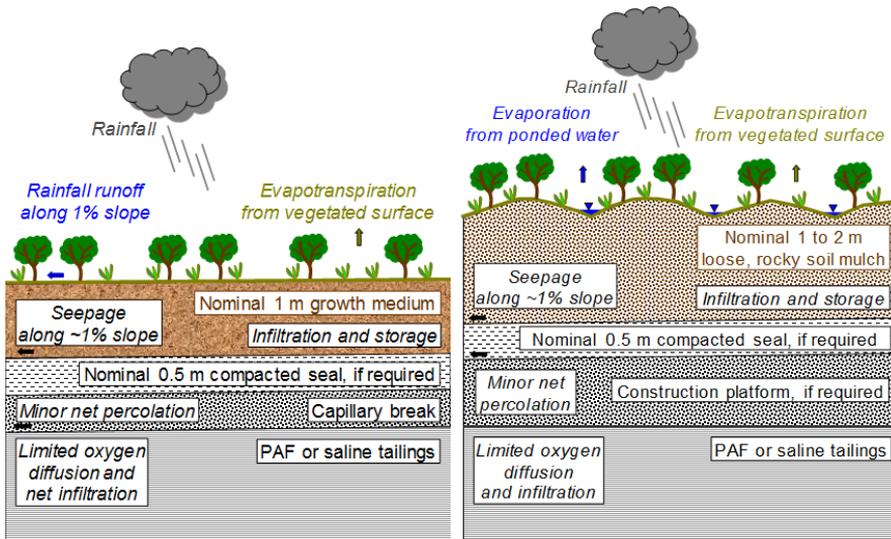


Kebanyakan tailing mengikuti lereng landai (sekitar 1%) dari pantai tailing dan karenanya penampiran curah hujan konvensional, umumnya menuju spillway yang dibangun melalui tanah tinggi alami. Jika tailing berpotensi mencemari, platform bangunan tailing lembut harus berbutir kasar dan tidak memiliki butiran halus untuk membentuk penahan kapiler dan membatasi potensi penyerapan produk oksidasi dan garam ke dalam penutup.

Lapisan seperti itu perlu setidaknya memiliki ketebalan 300 mm untuk mencegah penguapan permukaan kenaikan kapiler diinduksi, dan umumnya dibuat lebih tebal untuk memfasilitasi penempatannya dan untuk memberikan faktor keamanan terhadap peresapan jangka panjang infiltrasi butiran halus yang akan membuatnya kurang efektif. Tergantung pada konduktivitas hidrolik tailing, segel yang dipadatkan di atas lapisan penahan kapiler mungkin diperlukan atau dapat juga tidak diperlukan. Jika segel dipadatkan tersedia, harus dibuat kelonggaran dalam pemilihan bahan penyegel untuk dekomisioning proses stabilisasi diferensial jangka panjang dari tailing, yang dapat mengancam keutuhan segel. Sebuah medium pertumbuhan permukaan akan disediakan, miring ke arah lereng tailing pantai di bawahnya.

Sebuah penutup simpan/lepas (Williams 1997, 2005) juga mungkin tepat untuk PAF atau tailing pantai garam. Mengingat ketebalan yang lebih besar dari penutup simpan/lepas dibandingkan dengan penutup penampisan curah hujan, efek penguapan tidak mungkin untuk mencapai kedalaman tailing dan lapisan penahan kapiler kemungkinan tidak diperlukan. Namun, tailing lembut mungkin memerlukan penempatan platform bangunan dan, tergantung pada konduktivitas hidrolik tailing, segel dipadatkan di atas platform bangunan mungkin diperlukan tapi juga mungkin tidak diperlukan. Lapisan tanah batu mulsa yang gembur dengan permukaan gundukan untuk menangkap curah hujan dan mencegah limpasan akan disediakan. Sistem penutup skematik khas penampisan curah hujan dan simpan/lepas tepat untuk digunakan di pantai tailing berpotensi mencemari seperti diperlihatkan pada Gambar 34.

Gambar 34: Sistem penutup tanah yang skematik khas tepat untuk digunakan pada pantai tailing yang berpotensi kontaminasi: (kiri) penampisan curah hujan; (Kanan) simpan/lepas



8.5.3 Penanggulangan dinding bendungan

Kebanyakan TSF dinding bendungan lereng luar sekarang dibangun pada sudut kemiringan penutupan bentuk lahan keseluruhan dari 4(H):1(V) ke 3:1. Namun, beberapa lereng luar dari dinding bendungan tua TSF, serta dinding bendungan dibangun menggunakan batuan yang ditimbun di sudut kritis, mungkin masih pada sudut kemiringan relatif curam dari 2,5(H):1(V) menjadi 1,5:1 pada penutupan, yang berfungsi untuk meminimalkan jejak TSF dan luar ukuran kemiringan tangkapan. Bahan paling tepat untuk bangunan dinding bendungan berpermeabilitas rendah sering ber Kandungan butiran halus/ tanah liat, yang mungkin mudah terkikis. Lereng curam dan/atau mudah terkikis mungkin memerlukan profil ulang untuk memberikan profil penutupan yang tepat.

Kemiringan profil ulang dan tindakan drainase formal mungkin diperlukan, bersama-sama dengan pelindung dan revegetasi muka. Lapisan penutup mungkin diperlukan di lereng TSF luar untuk membatasi perkolasi bersih (seperti yang dijelaskan dalam Bagian 8.5.2), tetapi sulit untuk memeliharanya di lereng.

Pada iklim kering yang tidak mendukung tutupan vegetasi yang memadai atau berkelanjutan, permukaan sering ditutupi dengan bahan batuan jinak untuk perlindungan erosi (Gambar 35). Pada iklim lembab, lereng luar umumnya di beri topsoil (lapisan tanah teratas/humus) dan dihijaukan kembali.

Gambar 35: Pelindung dari batuan dan vegetasi muka luar fasilitas penyimpanan tailing



8.5.4 Pengelolaan air dan sedimen

Pada tahap pasca-penutupan, tailing yang ditimbun akan terus meniris bawah, berpotensi menghasilkan rembesan terkontaminasi ke dalam pondasi dan melalui dinding. Penirisan rembesan ke bawah bagaimana pun juga akan terus berlanjut, apakah penutup perkolasi bersih rendah di tempat atau tidak. Namun, curah limpasan hujan akan membawa sedimen permukaan dan pencemar yang dapat diangkut, yang akan disampaikan ke arah spillway akhir, atau ke arah pusat fasilitas jika berdesain cekung menguras secara internal. Dalam skenario pelepasannya, sedimen dapat ditangkap di kolam sedimen yang terletak di tailing bagian hulu spillway untuk menghindari penumpahan pada lingkungan (Gambar 36). Spillway merupakan titik kegagalan yang sangat sering pada TSF tertutup, karena TFS tersebut sering tidak dirancang dan/atau dibangun untuk spesifikasi yang dapat menahan arus tinggi dan kecepatan periodik curah hujan dengan intensitas tinggi.

Gambar 36: Tampilan dari: (kiri) kolam sedimen terletak di bagian hulu spillway; (kanan) spillway dibangun melalui tanah tinggi alami



8.6 Pemantauan dan pemeliharaan perawatan purna operasi

Rencana pemantauan dan pemeliharaan perawatan purna operasi pasca-penutupan harus disiapkan (lihat studi kasus berikut). Tujuan rencana ini adalah untuk memastikan agar tujuan pasca-penutupan yang telah disepakati dan kriteria dekomisioning yang dapat dicapai. Periode perawatan purna operasi terkadang dapat menuntut sumber daya dan perhatian yang lebih besar dari yang diperkirakan, tetapi pemantauan kualitas yang baik, pemeliharaan, perbaikan dan perbaikan untuk meningkatkan rencana dapat meningkatkan kemungkinan tujuan pasca-penutupan yang disepakati terpenuhi. Ini juga memungkinkan keterlibatan progresif dengan para pemangku kepentingan di mana kriteria dekomisioning memerlukan tinjauan dan penyesuaian berdasarkan kinerja aktual. Tingkat dan durasi periode perawatan purna operasi tergantung pada kondisi di lokasi tertentu dan karena itu pada kompleksitas lokasi yang tertutup serta tujuan dan kriteria penyelesaian, dalam hal TSF tertutup berkemungkinan mencapai sampai minimal 10 tahun.

Studi kasus: Perencanaan penutupan TSF di Mt McClure, Western Australia

Mt McClure Mine terletak pada iklim gersang di lading-ladang emas di daerah utara, 80 km timur laut dari Leinster di Western Australia. Operasi emas Mt McClure dimulai pada tahun 1991. Lokasi ini dimiliki dan dioperasikan oleh empat perusahaan pertambangan yang berbeda sebelum berada di bawah kendali Newmont Australia Ltd pada tahun 2002. Tambang ini dibeli oleh View Resources pada tahun 2005 setelah pekerjaan dekomisioning diselesaikan oleh Newmont.

Sebuah pabrik karbon-dalam-pelindian diproses bijih pada tingkat 1,2 Mtpa. Oksida dan bijih batuan segar (dengan beberapa serpih pirit) bersumber dari beberapa lubang, dan tailing ditempatkan di dua fasilitas penyimpanan.

TSF 4, subjek studi kasus ini, adalah lingkaran dengan radius sekitar 325 m dan luas permukaan 33 ha. Lingkaran ini dikelilingi oleh limbah ROM dengan ketebalan 70-300 m. Pembuangan tailing berhenti Maret 1999.



Pandangan udara TST 4 terpadu Mt McClure.

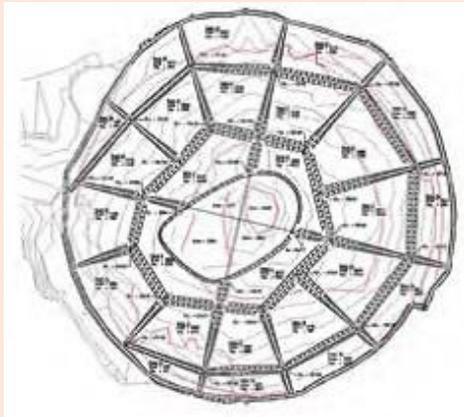
Program dekomisioning untuk TSF 4 yang melibatkan program bertahap yang mengidentifikasi masalah penutupan di masa awal kehidupan tambang dan pilihan manajemen untuk mengatasi permasalahan tersebut. Perhatian yang cukup besar diberikan kepada penyelidikan dan pemahaman fasilitas sebelum dekomisioning, serta hal-hal yang menyebabkan desain penutupan akhir yang patut, mencakup rekayasa lapisan penutup dan lereng tanggul berprofil cekung. Lima langkah pendekatan dekomisioning dijelaskan di atas telah diterapkan.

Komponen utama dekomisioning yang efektif adalah untuk mengidentifikasi permasalahan risiko jangka panjang yang sudah ada dan yang mungkin terjadi. Informasi ini memberikan bahan rujukan penting dan dapat memandu proses dekomisioning TSF terhadap sebuah strategi penutupan yang tepat. Hal ini membutuhkan pendekatan multidisiplin untuk memastikan bahwa semua daerah risiko yang signifikan diselidiki. Empat disiplin teknis utama diidentifikasi: geoteknik, hidrologi, geokimia dan lingkungan.

Parameter geokimia tailing ditemukan menjadi faktor kunci untuk penutupan TSF 4. Tailing yang ditemukan memproduksi asam, situasi yang dapat menyebabkan dampak jangka panjang untuk sistem lingkungan dan air tanah sekitarnya. Berikut ini strategi mitigasi risiko dikembangkan sebagai tanggapan:

- A 2 m oksida/tailing saprolit penutup ditindih oleh 0,5 m laterit/cap-rock/humus dibangun. Uji kerja lapangan dan pengujian kolom memprediksikan kapasitas penahanan air ini akan cukup untuk membatasi sebagian besar curah hujan dari peresapan dalam.
- Bagian atas permukaan dirancang dengan banyak sel individu yang lebih kecil untuk membendung curah hujan dalam setiap sel. Sebagian besar air yang menyusup ke penutup kemudian dilepaskan melalui penguapan dan evapotranspirasi.
- Lereng-lereng dengan sudut kritis (angle of repose) dibuat menjadi lereng cekung ke $20^{\circ}/14^{\circ}/8^{\circ}$, yang direkayasa untuk mengurangi limpasan dan meminimalkan erosi tanggul. Suatu lapisan penutup batuan atas/laterit setebal 0,5 m ditempatkan sebagai pelindung/penguat, diikuti oleh lapisan tanah bagian atas yang tipis, dibajak secara menyilang pada kontur dan ditebari benih-benih.

Pekerjaan penggalian tanah selesai pada tahun 2004, dan TSF saat ini dalam tahap pemantauan. Selama tahun 2006, Peninjauan Sumber Daya untuk pengurangan jaminan prestasi (performance bond) diajukan ke Departemen Industri dan Sumber Daya (Department of Industry and Resources), yang kemudian dikabulkan. Aplikasi ini diajukan atas dasar stabilitas yang dibuktikan dan keberhasilan keberlanjutan dalam pembentukan dan pertumbuhan vegetasi.



Rencana memperlihatkan sel-sel permukaan untuk menangkap curah hujan dan meminimalkan erosi pada lereng (kiri); lereng cekung setelah lapisan tanah atas telah diterapkan pada tahun 2006 (kanan).

Persyaratan pemantauan mungkin termasuk kuantitas dan kualitas rembesan, kualitas permukaan kelebihan air, kualitas udara, kinerja perkolasi bersih, proses stabilisasi, erosi dan revegetasi. Informasi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah-daerah di mana kinerja kurang memadai untuk memenuhi kriteria dekomisioning. Pemeliharaan mungkin melibatkan perbaikan pengikisan, pembibitan kembali, pengelolaan akses, dan rebangunan tindakan drainase di mana nilai telah berubah atau penirisan gagal.

9.0 KESIMPULAN DAN ARAHAN MASA DEPAN



Pesan-pesan kunci

- Nilai bertahan, meliputi prinsip-prinsip bangunan berkelanjutan dan desain untuk mencapai penutupan sukses, mendasari izin sosial industri pertambangan untuk beroperasi.
- Kegagalan atau buruknya kinerja suatu TSF dapat berdampak dramatis negatif pada masyarakat sekitar dan lingkungan, dan dapat berdampak besar pada inti perusahaan serta reputasi dan izin sosial untuk beroperasi.
- Penyebab utama insiden tailing yang dilaporkan adalah kurangnya pengendalian neraca air yang mengarah ke luberan, kepatuhan yang kurang memadai untuk merancang, pengendalian bangunan yang buruk, dan kurangnya pemahaman tentang fitur dan praktik yang baik yang mengendalikan operasi yang aman.
- Konsultasi awal dan berkelanjutan, berbagi informasi dan dialog dengan pemangku kepentingan yang diperlukan selama tahap desain, operasi dan penutupan.
- Latar belakang dan dasar kondisi harus mapan sebelum dimulainya operasi untuk dampak lingkungan dan penilaian risiko.
- Pendekatan desain berbasis risiko menyediakan kerangka kerja untuk mengelola ketidakpastian dan perubahan yang terkait dengan TSF dan potensi dampak lingkungan.
- Kunci perencanaan dan kendala desain pada TSF permukaan adalah pengaruh iklim lokasi, topografi dan pola drainase; persaingan pengguna air dan tanah; dan penurunan nilai bijih dan penggilingan yang lebih halus bahkan memproduksi lebih besar jumlah butiran halus, tailing berkekuatan rendah.
- Risiko utama yang timbul dari pembangunan TSF antara lain bangunan tidak mengikuti rancangan, bahan bangunan tidak tepat atau tidak cukup, QA/QC buruk, dan penimbunan tailing dan pengelolaan kurusan tuang tidak kompatibel dengan maksud rancangan.
- Pengelolaan tailing yang baik biasanya mencakup pengalihan limpasan hujan bersih, penggunaan tailing setebal yang dapat secara efektif dikelola, spigotting tailing di lapisan tipis dan siklus endapan antara jumlah sel, pemeliharaan kolam penguras kecil, dan memiliki penguapan atau kolam penguras air tailing yang terpisah.
- Untuk memastikan kinerja TSF optimal, TSF harus ditinjau sepanjang tahun, dengan menggunakan pendekatan berbasis risiko, oleh seorang insinyur geoteknik dengan kualifikasi yang sesuai berpengalaman dalam tailing dan desain bendungan.

- Para regulator kini mengharapkan semua pengajuan desain TSF untuk menunjukkan tanpa ragu bahwa hasil yang berkelanjutan akan dicapai dengan penerapan desain berbasis risiko praktik kerja unggulan yang:
 - sepenuhnya menilai risiko yang terkait dengan penyimpanan tailing di tempat tertentu
 - membandingkan kesesuaian semua metode penyimpanan yang tersedia, khususnya mereka yang menguras tailing sebelum dibuang dan/atau menghilangkan kebutuhan untuk bendungan air kelebihan dalam TSF
 - menunjukkan bahwa metode penyimpanan tailing yang dipilih akan mengelola semua risiko dalam tingkat yang berterima dan sedapat mungkin praktis.
- Pemulihan pra-pembuangan air tailing adalah cara yang efektif untuk memaksimalkan pemulihan air dan proses sisa reagen proses untuk daur ulang ke pabrik pengolahan.
- Tujuan minimal peraturan penutupan TSF adalah struktur yang aman, stabil dan tidak mencemari
- Kriteria penutupan yang disetujui untuk penggunaan lahan pasca-penutupan atau fungsi ekologis yang telah disepakati, mengharuskan pembentukan ekosistem, dengan hasil revegetasi dan keanekaragaman hayati yang berkelanjutan.
- Idealnya, bentuk lahan permukaan tailing tertutup harus sejauh mungkin meniru analog sekitarnya dalam geometri, penutup permukaan, tekstur permukaan dan stabilitas.
- Pemantauan penutupan suatu lokasi tertentu dan rencana pemeliharannya harus diikuti untuk menunjukkan bahwa tujuan penutupan TSF yang disepakati dan kriteria dekomisioning telah dicapai.

9.1 Kesimpulan

Kerangka kerja bangunan berkelanjutan yang luas harus diterapkan pada desain awal TSF, tailing dan penutupan TSF. Sistem pengelolaan menggabungkan pendekatan terpadu LoM berbasis risiko yang diperlukan untuk memastikan bahwa operasi dan tujuan penutupan terpenuhi. Ada banyak contoh praktik yang tersedia guna membantu perusahaan pertambangan untuk mencapai hasil yang bertanggung jawab, beberapa di antaranya didokumentasikan dalam buku pegangan ini.

TSF harus memberikan penyimpanan tailing yang aman, stabil dan ekonomis sehingga risiko terhadap kesehatan dan keselamatan publik dapat diabaikan, dan dampak sosial dan lingkungan selama operasi dan setelah penutupan yang cukup rendah. Pendekatan sistematis untuk tailing yang efektif sangat dianjurkan. Pendekatan seperti itu harus mencakup strategi manajemen berbasis risiko yang memperhitungkan sudut pandang dan harapan masyarakat di mana perusahaan beroperasi. Penghematan biaya jangka pendek yang bertujuan untuk meminimalkan biaya tailing, penyimpanan dan penutupan harus ditimbang terhadap risiko sosial dan lingkungan yang tinggi dan biaya tinggi terkait jangka panjang dari perbaikan jika terjadi kegagalan atau jika penutupan yang sukses tidak dapat dicapai.

Banyak tantangan yang harus diatasi untuk mencapai hasil pengelolaan tailing praktik kerja unggulan. Metode pembuangan tailing dapat menciptakan masalah lingkungan, karena dapat:

- menduduki permukaan area yang amat luas (Figure 37)
- terlihat jelas (Figure 37).

Gambar 37: Luas (sampai melintasi 6 km), TSF terlihat jelas



- mensinkronisasi dan mungkin menyimpan volume besar air
- penyebab rembesan air yang terkontaminasi ke dalam pondasi dan melalui dinding bendungan, yang memuncak selama operasi TSF dan menurun setelah penutupan saat air tailing tidak lagi ditambahkan ke fasilitas
- pelepasan terkontaminasi limpasan ke permukaan sungai
- rentan terhadap erosi, sehingga berpotensi melepaskan padatan tailing ke lingkungan
- daerah menjadi keanekaragaman hayati yang rendah dan infestasi gulma
- menyebabkan masalah debu.

Menghindari masalah-masalah dan risiko yang terkait ini membutuhkan komitmen untuk perencanaan yang ketat dan penerapan praktik kerja unggulan selama siklus hidup tambang penuh, termasuk setelah penutupan. Hasil tersebut juga membutuhkan kejelian dan pengakuan bahwa TSF dapat dikenakan biaya lingkungan dan sosial dalam jangka panjang jika prinsip praktik kerja unggulan tidak diikuti.

Teknik-teknik pengeringan tailing yang lebih efisien dan ekonomis, pengolahan dan pembuangan tengah diperkenalkan di lokasi tambang Australia. Beberapa sistem ini berhasil mencapai efisiensi dan ekonomi yang lebih besar dengan menghilangkan kelebihan air dari tailing sebelum transportasi dan penimbunan. Ini memaksimalkan pemulihan air dan reagen proses untuk digunakan kembali dan meminimalkan pembuangan air dan pencemar ke TSF, sehingga mengurangi risiko rembesan dan pelepasan ke permukaan air.

Desain, operasi dan penutupan TFS praktik kerja unggulan harus meninggalkan bentuk lahan yang aman, stabil, yang tidak memerlukan pengelolaan pasca-penutupan yang berlanjut, dan menyatu dengan lanskap sekitarnya. Hal ini memberikan perusahaan pertambangan peluang untuk menampilkan komitmen terhadap sosial dan lingkungan— dan, saat perusahaan mengusulkan perkembangan masa depan, memosisikannya sebagai salah satu perusahaan yang berkomitmen untuk pembangunan berkelanjutan.

9.2 Pengarahan masa depan

Karena kegagalan atau buruknya kinerja suatu fasilitas TSF dapat berdampak negatif secara dramatis pada masyarakat dan lingkungan sekitar, dan dapat berdampak besar pada inti perusahaan dan reputasi, perusahaan tambang yang bertanggung jawab menempatkan pada tempatnya prinsip-prinsip manajemen dan praktik-praktik yang meminimalkan risiko kegagalan TSF, yang mencakup melaksanakan inspeksi harian TSF, pemantauan terhadap tingkat pemicu yang telah disetujui, melaporkan insiden, mengelola pembangunan peninggian dinding, mengelola perubahan, meninjau ulasan-ulasan geoteknik tahunan independen TSF, dan menyelia ulasan ahli seawhat pada tingkat keseringan yang berhubungan langsung dengan potensi bahaya dan/atau kategori konsekuensi kegagalan bendungan.

Desain dan pengelolaan TSF permukaan yang baik umumnya antara lain menyediakan tempat penyimpanan yang memadai untuk memastikan laju kenaikan cukup lambat guna memungkinkan penumpukan lapisan tipis, konsolidasi dan pengeringan; mengalihkan curah bersih limpasan hujan; pemakaian tailing setebal mungkin yang dapat dikelola secara efektif; spigotting tailing di lapisan tipis dan siklus endapan di antara sejumlah sel; memelihara kolam penguras air kecil; dan memiliki penguapan atau kolam penyimpanan air tailing terpisah.

Masyarakat, para regulator dan kalangan industri mineral kini berupaya untuk pengurangan lumpur tailing dalam pengangkutan dan penyimpanan TSF permukaan guna mengurangi risiko operasional terkait, serta potensi risiko dan kewajiban penutupan masa depan. Pemulihan air sebelum transportasi dan penumpukan memaksimalkan pemulihan air untuk daur ulang dan retensi setiap reagen proses sisa.

Pengeringan pra-pembuangan dapat melibatkan pengentalan, sampai ke konsistensi pasta, pemutaran atau penyaringan, dan biaya dan efektivitas peningkatan dalam urutan itu. Namun, tailing pasta lebih mahal untuk diangkut ke TSF permukaan, membutuhkan pompa dual piston perpindahan positif dan gerakan titik pembuangan lebih sering karena pantai curam yang membentuknya. Tailing yang disentrifugasi mungkin hanya dapat dipompa dengan pompa dual piston perpindahan positif, dan mungkin tidak diangkut dengan truk atau konveyor. Filtrasi tailing adalah teknik pengeringan paling mahal, tetapi adalah salah satu yang memungkinkan transportasi dengan truk atau konveyor serta jika perlu siap susun dan pemadatan.

Biaya yang meningkat terlibat dalam pengentalan atau pemutaran tailing dapat diimbangi dengan peningkatan proses pemulihan air hasil pengolahan, diameter lebih kecil jaringan pipa tailing (di mana air tailing masih dapat dipompa), peningkatan kepadatan tailing, persyaratan yang dikurangi untuk meninggikan tanggul penahan air TSF, penurunan risiko luberan, dan berkurangnya rembesan. Di mana butiran sisa kasar juga diproduksi pada pengolahan, tailing kental atau yang disentrifugasi dapat dicampur dengan aliran limbah ini untuk memfasilitasi transportasi dengan truk atau konveyor dan mungkin susun kering.

Biaya peningkatan lebih lanjut yang terlibat dalam penyaringan tailing dapat diimbangi oleh lebih ditingkatkannya pemulihan air hasil pengolahan, kemampuan untuk mengangkut tailing yang telah disaring oleh truk atau konveyor, kemampuan untuk mengeringkan tumpukan tailing yang telah disaring tanpa perlu meninggikan dinding bendungan, sangat meningkatkan kepadatan tailing (terutama jika tailing dipadatkan), sangat meningkatkan stabilitas massa tailing yang disimpan dan rembesan sangat berkurang. Dua pendorong utama filtrasi dan susun kering tailing sampai saat ini adalah pemulihan air hasil pengolahan langka, dan pembuangan tailing di topografi atau fondasi kondisi sulit. Di masa depan, filtrasi dan susun kering tailing dapat menjadi sarana yang disukai dalam pembuangan dan penyimpanan tailing di TSF permukaan dan di dalam pit.

Di mana sesuai, rehabilitasi TSF telah melampaui tujuan penutupan menurut peraturan minimal yaitu struktur yang aman, stabil, non-polusi menuju rehabilitasi untuk penggunaan lahan pasca-penutupan yang telah disetujui atau fungsi ekologis, dengan fokus pada penghijauan yang berkelanjutan dan keanekaragaman hayati. Penutupan berkelanjutan TSF harus menggabungkan desain bentuk lahan dan permukaan tekstur akhir yang sejauh mungkin meniru analog bentuk lahan alami sekitarnya dalam geometri, penutup permukaan, tekstur permukaan dan stabilitas. Penutupan dan rehabilitasi TSF yang berhasil mengharuskan rencana pemantauan dan pemeliharaan di tempat yang ditentukan untuk dikembangkan secara menyeluruh dan ditindaklanjuti guna memastikan agar TFS memenuhi tujuan penutupan dan kriteria penyelesaian dalam jangka panjang.

REFERENSI

- ANCOLD (Australian National Council on Large Dams) (1998). *Guidelines for design of dams for earthquake*, ANCOLD, Hobart.
- ANCOLD (2000a). *Guidelines and assessment of consequences of dam failure*, ANCOLD, Hobart.
- ANCOLD (2000b). *Guidelines on selection of acceptable flood capacity for dams*, ANCOLD, Hobart.
- ANCOLD (2003). *Guidelines on dam safety management*, ANCOLD, Hobart.
- ANCOLD (2012a). *Guidelines on tailings dams: planning, design, construction, operation and closure*, ANCOLD, Hobart.
- ANCOLD (2012b). *Guideline on the consequence categories for dams*, ANCOLD, Hobart.
- AS/NZS 4360 2004, *Risk management*, Standards Australia.
- Bentel, GB (2009). 'Key closure planning considerations', in *Proceedings of Fourth International Conference on Mine Closure* (pp. 41–54), Perth, 9–11 September.
- Boger, D, Scales, PJ, Sofra, F (2002). 'Rheological concepts', in RJ Jewell, AB Fourie, ER Lord (eds), *Paste and thickened tailings: a guide* (Chapter 3), Australian Centre for Geomechanics, University of Western Australia Press, Perth.
- Bowden, AR, Lane, MR, Martin, JH (2001). *Triple bottom line risk management: enhancing profit, environmental performance, and community benefits*, Wiley.
- Chapman, PJ, Williams, DJ (2014). 'Comparison of field and laboratory data in relation to cover design on TSF closure', *Proceedings of Sixth International Conference on Unsaturated Soils* (pp. 1475–1480), Sydney, 2–4 July.
- Davies, M (2011). 'Filtered dry stacked tailings—the fundamentals', *Proceedings of Tailings and Mine Waste 2011* (p. 9), Vancouver, 6–9 November.
- Davies, MP, Rice, S (2004). 'An alternative to conventional tailings management: 'dry stack' filtered tailings', *Proceedings of Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste* (pp. 411–422), Vail, USA, 10–13 October.
- DME (Western Australian Department of Minerals and Energy) (1998). *Guidelines on the development of an operating manual for tailings storage*, DME, Perth.
- DME (Western Australian Department of Minerals and Energy) (1999). *Guidelines on the safe design and operating standards for tailings storages*, DME, Perth.
- DMP (Western Australian Department of Mines and Petroleum) (2013). *Code of practice: tailings storage facilities in Western Australia 2013*, DMP, Perth, http://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Environment/MSH_COP_TailingsStorageFacilities.pdf.
- DIIS (Department of Industry, Innovation and Science) (2016a). *Mine closure*, Australian Government, Canberra.
- DIIS (Department of Industry, Innovation and Science) (2016b). *Community engagement and development*, Australian Government, Canberra.

DIIS (Department of Industry, Innovation and Science) (2016c). *Working with indigenous communities*, Australian Government, Canberra.

DIIS (Department of Industry, Innovation and Science) (2016d). *Preventing acid and metalliferous drainage*, Australian Government, Canberra.

DIIS (Department of Industry, Innovation and Science) (2016e). *Mine rehabilitation*, Australian Government, Canberra.

DNRM (Queensland Department of Natural Resources and Mines) (2002). *Queensland dam safety management guidelines (2002)*, DNRM, Brisbane.

DPI (Victorian Department of Primary Industries) (2004). *Environmental guidelines: management of tailings storage facilities*, Minerals and Petroleum Division, DPI, Melbourne.

DRET (Department of Resources, Energy and Tourism) (2008). *Cyanide management*, Australian Government, Canberra.

Earth Systems (2003). *Geochemical study of the Benambra tailings dam, eastern Victoria*, prepared for Minerals and Petroleum Division, Department of Primary Industries.

Earth Systems (2013). *Tailings management options for the Stockman Project*, prepared for Independence Group Limited.

Envec (Environment Security Initiative) (2005). *Mining for closure: policies and guidelines for sustainable mining practice and closure of mines, south east Europe*, UNEP, UNDP, OSCE and NATO.

ICMM (International Council on Mining and Metals) (2006). *Good practice guidance on mining and biodiversity*, ICCM, London.

ICMM (International Council on Mining and Metals) (2008). *Planning for integrated mine closure: toolkit*, ICMM, London.

ICOLD (International Commission on Large Dams) (2001). 'Tailings dams risk of dangerous occurrences—lessons learnt from practical experiences', *Bulletin 121*, CIGB, ICOLD and UNEP PNUE.

ICOLD (International Commission on Large Dams) (2013). 'Sustainable design and post-closure performance of tailings dams', *Bulletin 153*, ICOLD, Paris.

Jewell, R.J., Fourie, A.B. (eds) (2006) *Paste and thickened tailings—a guide*, 2nd edition, Australian Centre for Geomechanics, Perth, Australia.

Lacy, H. (2005). 'Closure and rehabilitation of tailings storage facilities', in M Adams (ed.), *Developments in minerals processing* (Chapter 15), Elsevier.

Landriault, D.A. (1995). 'Paste backfill mix design for Canadian underground hard rock mining', *Proceedings of 97th Annual General Meeting of the CIM*, Rock Mechanics and Strata Control Session, Halifax, Canada, 14–18 May.

Matthewson, D., Norris, R., Dunne, M. (2006). 'Tailings dewatering, dry screening and water clarification for reduced water usage', *Proceedings of Water in Mining 2006 Conference* (pp. 315–322), Brisbane, AusIMM.

MCA (Minerals Council of Australia) (1996). *Tailings storage facilities at Australian gold mines*, submission to the Senate Environment, Recreation, Communication and the Arts References Committee, Canberra, Australia.

- MCA (2004). *Enduring value: the Australian minerals industry framework for sustainable development*, MCA, Canberra.
- MCMPR & MCA (Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources and Minerals Council of Australia) (2003). *Strategic framework for tailings management*, National Capital Printing, Canberra.
- MCMPR & MCA (Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources and Minerals Council of Australia) (2006). *Draft strategic framework for water management*.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2000). *Guidelines for multinational enterprises*, DAFFE, IME, p. 20.
- Potvin, Y, Thomas, EG, Fourie, AB (eds) (2005). *Handbook on mine fill*, Australian Centre for Geomechanics, Perth.
- Standards Australia (2004). HB 436 *Risk management guidelines*, companion to AS/NZS 4360:2004, Standards Australia.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2001). *APELL for mining: guidance for the mining industry in raising awareness and preparedness for emergencies at the local level*, Technical Report no. 41, UNEP.
- UNEP-ICME (United Nations Environmental Program and International Council on Metals and the Environment) (2009). *International Cyanide Management Code for the Manufacture, Transport, and Use of Cyanide in the Production of Gold*, UNEP-ICME.
- Vick, SG (2014). 'The use and abuse of risk analysis', *Proceedings of Tailings and Mine Waste 2014* (pp. 49-56), Keystone, Colorado, USA.
- Williams, DA (1997). 'The use of risk-based methods to facilitate management of tailings dams', *Proceedings of AIC Tailings Disposal Management Summit, Sydney, Australia* (p. 23), AIC Conferences.
- Williams, DJ (2001). *Risk assessment of Bowen Basin spoil rehabilitation*, ACARP Project C8039 final report, Australian Coal Association Research Program.
- Williams, DJ (2002). 'Engineering closure of an open pit gold operation in a semi-arid climate', *International Journal of Surface Mining and Reclamation, Special Edition on Mining and the Environment*, pp. 35-50.
- Williams, DJ (2005). 'Placing covers on soft tailings', in B Indraratna and J Chu (eds) *Ground improvement: case histories* (Chapter 17, pp. 491-512), Elsevier.
- Williams, DJ (2014). 'Improved tailings management: how to achieve optimal water recovery and tailings density, and facilitate closure', *Proceedings of Fifth International Conference on Mining and Industrial Waste Management*, Rustenburg, South Africa, 10-12 March.
- Williams, MPA (2000). 'Evolution of thickened tailings disposal in Australia', *Proceedings of the Paste Technology 2000 Seminar*, Perth, Australia, Australian Centre for Geomechanics, Perth.
- Williams, DA & Williams, DJ (2004). 'Trends in tailings storage facility design and alternative disposal methods', *Proceedings of ACMER Workshop on Design and Management of Tailings Storage Facilities to Minimise Environmental Impacts During Operation and Closure* (p. 28), Australian Centre for Minerals Extension and Research, Brisbane.
- World Commission on Dams (2000). *Dams and development: a new framework for decision making*.

SITUS WEB DAN TAUTAN (LINK)

- Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD), www.ancold.org.au
- Department of the Environment and Heritage, www.deh.gov.au
- Department of Industry, Tourism and Resources, www.industry.gov.au
- Leading Practice Sustainable Development Program, www.industry.gov.au/sdmining
- Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources, www.industry.gov.au/resources/mcmpmr
- Minerals Council of Australia, www.minerals.org.au
- Enduring Value, www.minerals.org.au/enduringvalue
- Australian Centre for Geomechanics, Curtin University, www.acg.uwa.edu.au
- NSW Dams Safety Committee, www.damsafety.nsw.gov.au
- International Commission on Large Dams (ICOLD) bulletins, www.icold-cigb.net
- Tailings information, www.tailings.info
- Infomine, www.infomine.com
- Mining Association of Canada, www.mining.ca/www/Public_Policy_Issues/Tailings.php
- United Nations Environment Programme, Mining, www.unep.org/pc/mining
- International Council on Mining and Metals, Good Practice Library, www.goodpracticemining.com/tailings

PEDOMAN LAIN

- ANCOLD (2003). *Guidelines on dam safety management*, ANCOLD, Hobart, www.ancold.org.au
- ANCOLD (2012). *Guidelines on tailings dams: planning, design, construction, operation and closure*, ANCOLD, Hobart, www.ancold.org.au
- DME (Western Australian Department of Minerals and Energy) (1998). *Guidelines on the development of an operating manual for tailings storage*, DME, Perth.
- DME (Western Australian Department of Minerals and Energy) (1999). *Guidelines on the safe design and operating standards for tailings storages*, DME, Perth.
- DNRM (Queensland Department of Natural Resources and Mines) (2002). *Queensland dam safety management guidelines* (2002), DNRM, Brisbane, www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/guidelines_refer_dams.html
- DPI (Victorian Department of Primary Industries) (2004). *Environmental guidelines: management of tailings storage facilities*, Minerals and Petroleum Division, DPI, Melbourne, www.dpi.vic.gov.au
- WA EPA (Western Australian Environmental Protection Authority) (2015). *Guidelines for preparing mine closure plans*, WA EPA, Perth, www.epa.wa.gov.au/Policies_guidelines/other/Pages/GuidelinesforPreparingMineClosurePlans.aspx

GLOSARIUM

Abu stasiun pembangkit listrik

Hasil sampingan dari produksi listrik dari suatu pembangkit listrik tenaga batu bara.

AEP

Singkatan dari Annual exceedence probability, yang berarti probabilitas atau kemungkinan suatu badai atau peristiwa tertentu akan terlampaui di suatu tahun; misalnya, 1 dari 1000 badai AEP (atau 1 dari 100 AEP atau 1 dari 10.000 AEP) adalah badai yang menghasilkan curah hujan yang secara statistik dapat terjadi sekali dalam 1.000 tahun (atau 100 atau 10.000 tahun) di lokasi yang diteliti (ANCOLD 2012).

Air supernatan, Air yang mengambang

Air yang menggenang pada permukaan suatu tailing setelah sedimentasi dari lumpur tailing yang ditimbun.

Air supernatan (air kurasan/genangan atau air yang mengambang)

Air hasil pemrosesan yang telah terpisah dari padatan tailing (air supernatan) saat tailing mengeras dan terkonsolidasi dalam fasilitas penyimpanan tailing, ditambah limpasan hujan yang terkumpul pada area tangkapan di fasilitas tersebut.

ALARP

Singkatan dari As low as reasonably practicable, yang berarti pengelolaan dari semua risiko tailing dan Fasilitas Penyimpanan Tailing untuk dapat mencapai tingkat yang dapat diterima, sejauh yang dapat dipraktikkan.

Analog alami

Suatu bentuk lahan (landform) yang tidak ditambang terhadap mana suatu bentuk lahan yang ditambang dapat diperbandingkan untuk mengembangkan bentuk-bentuk lahan pasca penambangan yang berkelanjutan.

Bahaya

Satu potensi yang dapat menimbulkan kerusakan/cedera.

Batasan luar atau hilir

Batas eksternal/luar dari suatu fasilitas penyimpanan tailing yang terpapar ke lingkungan.

Bendungan tailing

Sebuah dinding bendungan atau tanggul yang dibangun untuk mempertahankan tailing dan/atau untuk mengelola air yang terkait dengan penyimpanan tailing.

Bendungan tailing, Pembendungan tailing

Fasilitas yang biasanya pada mulanya dibangun sebagai tanggul pemula dari tanah, dengan peninggian-peninggian dinding yang dibangun menggunakan bahan urukan dan/atau tailing. Konstruksi dapat menuju ke hilir menggunakan bahan urukan, atau ke garis tengah atau ke hulu dengan menggunakan bahan urukan atau umumnya tailing.

Dampak sosial

Bahaya yang merusak terhadap masyarakat.

Dampak terhadap lingkungan

Bahaya yang mengganggu/merusak lingkungan.

Dampak terhadap masyarakat

Bahaya yang merusak terhadap masyarakat sekitar.

Dewatering (Pengurasan)

Pengeluaran air dari lumpur dengan pengentalan, penyaringan dan sentrifugasi.

Dewatering in situ (Pengurasan setempat)

Pengurasan air dari tumpukan tailing basah saat mengalami proses sedimentasi, konsolidasi dan desikasi.

Dinding bendungan (Containment wall)

Suatu struktur yang menyediakan enkapsulasi luar bagi tailing (lihat juga 'tanggul').

Drainase asam dan logam

Drainase asam dan logam, secara tradisional disebut sebagai "drainase tambang asam" atau "drainase batuan asam", meliputi drainase asam, bahan logam, dan drainase bahan yang hampir netral namun tetap mengandung logam.

Drainase bawah

Penyediaan saluran-saluran drainase di bawah timbunan tailing untuk memfasilitasi pengurasannya.

DSA

Singkatan dari Design Storage Allowance, yang berarti kapasitas penyimpanan aman yang tersisa yang harus disediakan Fasilitas Penyimpanan Tailing yang belum diserahkan untuk mengakomodasi tailing (padatan dan air), curah hujan dan gelombang, dengan faktor keamanan yang cukup memadai terhadap limpasan dan tumpahan air yang terkontaminasi. DSA juga harus mempertimbangkan waktu setelah musim hujan yang mungkin diperlukan untuk mengembalikan kolam ke tingkat operasi normalnya, atau waktu yang dibutuhkan (dengan mempertimbangkan penundaan cuaca) untuk membangun peningkatan inkremental dalam kapasitas penyimpanan (misalnya bendungan baru atau menaikkan tanggul yang ada)

Efektivitas Biaya dan Risiko

Efektivitas strategi pengelolaan tailing yang dipilih dalam meminimalkan biaya dan risiko.

Ekologi industri

Sinergi antara proses-proses industrial.

Enkapsulasi, Pencungkupan

Pengelilingan suatu limbah reaktif dengan bahan-bahan yang tidak berbahaya yang mengisolasi bahan limbah reaktif tersebut terhadap masuknya oksigen dan/atau arus air.

Faktor keselamatan

Faktor di mana tindakan-tindakan yang menahan melampaui tindakan-tindakan yang mengganggu.

Fasilitas penyimpanan tailing (TSF)

TSF adalah singkatan dari Tailings Storage Facility, atau Fasilitas Penyimpanan Tailing, biasanya sebuah area penyimpanan di permukaan yang digunakan untuk menyimpan tailing yang biasanya berbentuk lumpur (slurry), dan di sini padatan tailing akan mencapai sedimentasi, konsolidasi dan desikasi, dan air supernatant akan dipulihkan dan didaur ulang ke pabrik pengolahan atau akan disimpan tanpa berdampak pada lingkungan. Istilah ini merujuk pada fasilitas keseluruhan, dan mungkin melibatkan satu atau lebih penyimpanan-penyimpanan tailing dan fasilitas terkait.

Filter cake (Kue saringan)

Struktur semi padat yang terbentuk saat tekanan diberikan saat penyaringan slurry.

Flokulan

Zat kimia tambahan yang memfasilitasi aglomerasi partikel-partikel tailing untuk membantu dan mempercepat sedimentasi dan konsolidasinya.

Freeboard (Batas ketinggian penyimpanan air)

Jarak vertikal antara tingkat air dalam bendungan dan tingkat desain kritis. Untuk bendungan tailing, berbagai freeboard diperlukan untuk tujuan yang berbeda, termasuk jumlah total freeboard, alokasi penyimpanan tailing, alokasi penyimpanan air kurasan minimal, alokasi penyimpanan saat musim hujan (atau DSA), alokasi penyimpanan untuk badai ekstrim, alokasi penyimpanan kontingensi, freeboard operasional, tingkat operasi maksimum, kedalaman tumpahan banjir, freeboard gelombang, freeboard beach, dan tingkat operasi maksimum (lihat ANCOLD 2012a untuk perinciannya).

Fungsi ekologi pascapenutupan

Fungsi ekologi yang disetujui di mana penggunaan lahan bekas tambang sebagai jejak TSF tidak dimungkinkan atau diinginkan.

Gaya berat spesifik partikel (atau 'kepadatan partikel tanah')

Massa padatan kering per unit volume padatan kering, relatif terhadap berat jenis air (unit untuk air murni), terbaik ditentukan dengan menggunakan piknometer helium.

Geomembran

Satu lembaran buatan dengan permeabilitas rendah seperti polietilen dengan tingkat kepadatan tinggi (High Density Polyethylene atau HDPE) (lihat juga 'liner')

Geosynthetic clay liner (GCL)

Tanah liat dengan permeabilitas rendah yang terjepit di antara lapisan-lapisan geotextile.

Geoteknik

Rekayasa struktur tanah dan/atau bumi.

Infiltrasi

Masuknya air ke dalam suatu bahan berpori.

Insinyur tailing

Seorang insinyur geoteknik berpengalaman dalam penyelidikan, perencanaan, desain, konstruksi atau manajemen bendungan tailing dan fasilitas penyimpanan.

Izin sosial untuk beroperasi

Pengakuan dan penerimaan kontribusi perusahaan terhadap masyarakat tempat ia beroperasi, melebihi pemenuhan persyaratan hukum dasar, menuju upaya pengembangan dan pemeliharaan hubungan yang konstruktif dengan para pemangku kepentingan yang diperlukan agar bisnis dapat berkelanjutan. Pada dasarnya, azas ini berupaya mendapatkan hubungan baik yang berdasarkan atas asas kejujuran dan saling menghormati.

Jaminan kualitas

Memastikan kualitas suatu proses, misalnya konstruksi, termasuk dokumentasi dan pelaporan kerja pengujian.

Jangka panjang

Biasanya periode nominal 1.000 tahun; berlaku untuk pertimbangan potensi umur rancangan dari bentuk lahan pascapenutupan (ANCOLD 2012a).

Kadar air volumetrik

Volume air/volume total (dari padatan, ditambah air, ditambah udara), dinyatakan sebagai desimal. Lihat juga 'kadar kelembaban gravimetri', 'Total kadar kelembaban' dan 'kandungan padatan'.

Kadar kelembaban total

Massa air/massa padatan ditambah air, dinyatakan sebagai persentase. Lihat juga 'kadar kelembaban gravimetri', 'kadar air volumetrik' dan 'kandungan padatan'.

Kandungan kelembaban gravimetrik

Massa air/massa padatan, dinyatakan sebagai persentase. Lihat juga 'total kandungan air', 'kandungan air volumetrik' dan 'kandungan padatan'.

Kandungan padatan (atau 'konsentrasi')

Massa kering padatan tailing per total massa (padatan kering ditambah air proses) dalam lumpur slurry tailing, dinyatakan sebagai persentase.

Kapasitas penyimpanan

Potensi kapasitas Fasilitas Penyimpanan Tailing untuk menyimpan tailing, biasanya disebut dalam satuan ton kering (dry ton). Ini membutuhkan pengetahuan tentang kepadatan kering tailing di lokasi yang mungkin dicapai pada deposisi.

Kategori kosekuensi

Peringkat keparahan konsekuensi dari kegagalan bendungan sebagaimana ditetapkan dalam *Panduan kategori konsekuensi dari bendungan*, ANCOLD 2012. Istilah ini menggantikan istilah 'peringkat bahaya' yang digunakan dalam panduan sebelumnya.

Keamanan pribadi

Menjaga keselamatan personil di lokasi tambang dan masyarakat umum dalam menghadapi risiko cedera di lokasi tambang.

Kegagalan

Terjadinya suatu peristiwa di luar perkiraan kondisi desain atau lisensi fasilitas, yang bisa berkisar mulai dari lepasnya air secara tidak terkendali, termasuk rembesan, hingga ketidakstabilan besar pada tanggul yang menyebabkan hilangnya tailing dan/atau air (ANCOLD 2012).

Kekuatan geser

Kemampuan suatu bahan berpori, termasuk tailing, untuk mendukung beban; biasanya diukur dengan menggunakan baling-baling geser di tailing jenuh.

Kepadatan bulk

Kepadatan keseluruhan atas suatu benda, yaitu massa zat padat dan air per satuan volume padatan ditambah cairan ditambah rongga udara. Lihat juga 'kepadatan kering' dan 'gaya berat spesifik partikel' (ANCOLD 2012).

Kepadatan kering

Massa padatan kering per volume total (padatan, ditambah air, ditambah udara) (lihat juga kepadatan bulk dan gaya berat spesifik partikel).

Kepadatan lumpur slurry (atau kepadatan pulp/bubur)

Massa total slurry per volume total (padatan, ditambah air proses).

Kolam air kurasan/genangan

Sebuah kolam di Fasilitas Penyimpanan Tailing di mana air supernatan tailing terkumpul dan menjadi jernih, ditambah limpasan hujan yang terkumpul pada area tangkapan di fasilitas tersebut.

Kompaksi

Pengeluaran udara dari tailing tak jenuh (desikasi) pada pengiriman.

Komunitas, Masyarakat

Dalam istilah industri pertambangan, umumnya dimaksudkan sebagai penduduk di daerah setempat dan di sekitarnya, yang terpengaruh oleh aktivitas operasi pertambangan. 'Masyarakat lokal' biasanya merujuk pada masyarakat tempat operasi berada dan dapat termasuk penduduk asli maupun pendatang.

Konduktivitas hidrolik

Dikenal juga sebagai permeabilitas (air); suatu ukuran kemampuan suatu bahan berpori, termasuk tailing, untuk melewatkan air, baik jenuh maupun tak jenuh.

Konsolidasi

Pengeluaran air dari lumpur tailing yang mengeras saat pemuatan.

Konsultasi

Tindakan menyediakan informasi atau saran, dan mencari tanggapan atas suatu peristiwa, aktivitas atau proses, baik yang nyata atau yang diperkirakan/diusulkan.

Kriteria penyelesaian

Kriteria stabilitas, lingkungan dan penggunaan lahan atau kriteria fungsi ekologi untuk Fasilitas Penyimpanan Tailing setelah penutupan tambang.

Lapisan penutup simpan/lepas

Penutup tanah bervegetasi, dan tidak bersifat menepis (non-shedding) bertujuan untuk meminimalkan rembesan yang melewatinya dengan cara melepas curah hujan musiman yang tersimpan dengan cara evapo-transpirasi selama musim kering.

Liner (pelapis)

Suatu bahan dasar dengan permeabilitas rendah yang terdiri dari tanah liat, dan/atau geomembran atau geosintetis (tanah liat di antara lapisan geotekstil), atau komposit yang digunakan di bawah tailing dan/atau air dalam kolam.

Lumpur slurry tailing

Padatan-padatan tailing yang menempel dalam air olahan yang diproduksi di pabrik pengolahan dengan tingkat kepadatan yang rendah, yang membentuk pantai di lereng datar, terpisah di pantai, dan menghasilkan air supernatan yang cukup banyak.

Manajemen adaptif

Suatu proses sistematis untuk terus memperbaiki kebijakan dan praktik pengelolaan dengan mempelajari hasil-hasil dari program operasional. *Panduan Praktik yang Baik dalam Pertambangan dan Keanekaragaman Hayati* dari ICMM 2006 merujuk manajemen adaptif sebagai langkah 'lakukan-pantau-evaluasi-revisi'.

MCE

Singkatan dari maximum credible earthquake, yaitu gempa bumi hipotetis terbesar yang dapat diperkirakan terjadi di sepanjang sesar tertentu atau sumber gempa lainnya. Ini merupakan peristiwa yang dapat dipercaya, didukung oleh semua data geologi dan seismologi yang diketahui. Sebuah gempa hipotetis disebut deterministik jika sesar atau daerah sumbernya dapat didefinisikan secara spasial dan lokasinya dapat ditentukan dalam jarak tertentu dari bendungan yang sedang dipertimbangkan. Sedangkan gempa hipotetis disebut probabilistik jika dianggap suatu peristiwa acak, dan jarak episentralnya ditentukan secara matematis dengan hubungan kemunculan ulang dan besarnya untuk beberapa daerah tertentu. MCE dapat dikaitkan dengan struktur geologi permukaan yang spesifik dan juga dapat dikaitkan dengan gempa bumi acak atau mengambang (gerakan yang terjadi pada kedalaman yang tidak menyebabkan pergerakan di permukaan) (ANCOLD 2012).

MDE

Singkatan dari maximum design earthquake, merupakan gempa yang dipilih untuk desain atau evaluasi struktur. Gempa ini akan menghasilkan gerakan tanah yang paling penting untuk evaluasi kinerja seismik struktur. Bendungan bisa diharapkan akan rusak oleh gempa ini tetapi akan mempertahankan fungsinya (ANCOLD 2012).

Metode, pembangunan atau peninggian garis tengah

Konstruksi dinding-dinding bendungan tailing di atas garis puncak yang ditetapkan, menggunakan batuan sisa, bahan urukan atau tailing.

Metode, pembangunan atau peninggian hilir

Pembangunan dinding-dinding bendungan tailing pada arah hilir, umumnya menggunakan batuan sisa tambang atau bahan-bahan urukan.

Metode, pembangunan atau peninggian hulu

Pembangunan dinding-dinding bendungan tailing ke arah hulu di atas tailing yang terkonsolidasi dan terdesikasi, menggunakan batuan sisa atau tailing.

Moda-moda kegagalan

Mekanisme-mekanisme yang dapat menyebabkan kegagalan suatu fasilitas penyimpanan tailing.

Neraca air

Jumlah input air, termasuk air olahan dan limpasan hujan, dan outputnya, termasuk evaporasi (penguapan), air yang mengalir balik, air yang tertahan pada tailing dan rembesan, dalam suatu fasilitas penyimpanan tailing.

OBE

Singkatan dari operational basis earthquake, yaitu suatu gempa bumi (dengan mempertimbangkan geologi lokal dan regional, seismologi dan karakteristik tertentu dari bahan di bawah permukaan setempat) cukup bisa diperkirakan akan terjadi dan akan mempengaruhi bendungan selama masa operasi dari pabrik pengolahan; ini merupakan gempa yang menyebabkan gerakan tanah yang bergetar. Fitur-fitur dari bendungan yang diperlukan agar operasi dapat terus berlangsung tanpa menyebabkan risiko yang tidak perlu pada kesehatan dan keselamatan masyarakat dirancang untuk tetap fungsional berdasarkan gerakan tanah dari gempa ini. (ANCOLD 2012).

Pabrik pengolahan

Sebuah fasilitas yang dirancang untuk memilah mineral atau logam yang ekonomis dari bijih yang ditambang.

Pantai tailing

Delta yang terbentuk akibat pembuangan lumpur slurry tailing cair yang mengalir.

Pascapenutupan

Periode setelah penutupan tambang ketika Fasilitas Penyimpanan Tailing diharapkan tetap berfungsi dengan aman dalam jangka panjang.

Pemangku kepentingan

Orang, kelompok atau organisasi dengan potensi untuk mempengaruhi atau dipengaruhi oleh proses atau hasil dari penutupan tambang.

Pembuangan gabungan

Pembuangan gabungan atas limbah-limbah tambang berbutiran kasar dan halus, seperti pembuangan gabungan dengan pompa dari limbah-limbah pencucian batu bara.

Pembuangan ke lembah di bawah

Pembuangan tailing kental ke lembah di bawah menuju dinding bendungan yang berada di bagian atas suatu area tangkapan.

Pemompaan air kembali dan sistem jaringan pipa

Sistem yang dirancang untuk mengembalikan air olahan supernatan ke pabrik pengolahan mineral (daur ulang).

Pemulihan/ekstraksi bahan pereaksi/reagen

Penangkapan bahan-bahan kimia pemroses dari aliran tailing.

Penahan kapiler (Capillary break)

Sebuah bahan bertekstur kasar dengan kemampuan kenaikan kapiler yang terbatas, dimaksudkan untuk membatasi masuknya kontaminan melalui gaya evaporatif.

Penekan saringan

Alat yang mengeringkan lumpur (slurry) hingga ke konsistensi filter cake melalui aplikasi tekanan di sepanjang dua permukaan drainase yang dilewati lumpur.

Pengakhiran kerja (Decommissioning)

Sebuah proses yang dilakukan di antara tahap operasi dan kemungkinan pembukaan kembali operasi, ketika Fasilitas Penyimpanan Tailing masuk dalam tahap perawatan dan pemeliharaan, tetapi tidak mesti direhabilitasi.

Pengelolaan tailing

Mengelola tailing sepanjang siklus hidupnya, termasuk produksi, transportasi, penempatan, dan penyimpanan, serta penutupan dan rehabilitasi fasilitas penyimpanan tailing, serta pengelolaan pasca penutupan.

Pengeluaran atau pembuangan kental yang terpusat

Pengeluaran tailing kental dari satu atau lebih menara atau pembuangan yang berlokasi di dalam badan dari fasilitas, dengan hanya sedikit dinding keliling di mana air supernatan dikumpulkan.

Pengental bertekanan tinggi

Satu pengental dengan laju atau kecepatan tinggi, dengan tambahan tekanan yang didapatkan dari konfigurasi garpu-garpu untuk meningkatkan kepadatan yang dapat dicapai.

Pengental dengan laju atau berkecepatan tinggi

Suatu pengental yang dilalui lumpur pada kecepatan tinggi, dengan waktu berdiam yang terbatas, sehingga memungkinkan dosis flokulan yang tinggi.

Pengental sistem deep bed

Pengental yang tergantung pada satu tindakan pengangkatan untuk meminimalkan terjadinya pelumpuran dan memungkinkan suatu lumpur deep bed untuk dikentalkan dan dipindahkan sesuai permintaan.

Pengeringan, Desikasi

Pengeringan, penyusutan dan peretakan permukaan tailing oleh penguapan karena matahari dan/atau angin.

Penggunaan lahan pascapenutupan

Penggunaan lahan pascapenutupan yang disetujui, untuk jejak Fasilitas Penyimpanan Tailing.

Pengurukan hidrolis

Bahan isi untuk pengurukan, biasanya termasuk tailing berbutiran kasar, yang ditempatkan sebagai cairan untuk mengisi ulang sebuah stope atau galian tambang bawah tanah.

Penutupan Fasilitas Penyimpanan Tailing

Sebuah proses yang dilakukan antara tahap operasi dan tahap penyelesaian penghentian operasi (diikuti dengan periode perawatan dan pemeliharaan dan kemungkinan pembukaan kembali) atau rehabilitasi.

Penyelesaian Fasilitas Penyimpanan Tailing

Tujuan dari penutupan, ketika sewa pertambangan dilepaskan dan tanggung jawab diterima oleh Pemerintah atau pengguna lahan berikutnya.

Perkolasi

Rembesan infiltrasi ke lingkungan penerima.

Perkolasi bersih

Rembesan infiltrasi air hujan melalui sistem penutup dan masuk ke dalam tailing yang mendasarinya.

Permeabilitas udara

Kemampuan bahan berpori tak jenuh, termasuk tailing, untuk melewati udara.

Piezometer

Sensor-sensor yang digunakan untuk memantau penumpukan air tanah di bawah dan di sekitar fasilitas penyimpanan tailing.

Piping (Erosi pipa)

Terbentuknya suatu terowongan erosi melalui suatu struktur tanah karena arus air yang melaluinya.

PMF

Singkatan dari probable maximum flood, yaitu hidrograf banjir terbesar yang disebabkan dari PMP dan (jika ada) pencairan salju, ditambah dengan kondisi area tangkapan yang menyebabkan banjir terburuk yang dapat diperkirakan secara realistis dalam kondisi meteorologi yang berlaku (ANCOLD 2012a).

PMP

Singkatan dari probable maximum precipitation, merupakan kedalaman teoritis curah hujan yang terbesar untuk durasi yang diberikan, dan secara fisik mungkin terjadi di area tangkapan tertentu, diatur oleh volume teoritis kelembaban maksimum yang dapat dimiliki oleh atmosfer (ANCOLD 2012a).

Praktik unggulan

Praktik terbaik yang ada saat ini dalam mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Proses manajemen risiko

Aplikasi sistematis terhadap kebijakan, prosedur dan praktik dari manajemen untuk kegiatan berkomunikasi, konsultasi, membangun konteks, dan mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, menangani, memantau dan mengkaji risiko (AS/NZS dan ISO 31000).

Rehabilitasi

Penyediaan fasilitas penyimpanan tailing yang aman, stabil dan tidak menimbulkan polusi dalam jangka panjang, dengan mempertimbangkan penggunaan-penggunaan yang bermanfaat dari lokasi dan lahan sekitarnya.

Reologi

Penelitian mengenai perubahan bentuk dan arus lumpur tailing di bawah pengaruh suatu tekanan yang diberikan.

Risiko

Kemungkinan terjadinya kerusakan/cedera.

Risiko kesehatan masyarakat

Kemungkinan gangguan terhadap kesehatan masyarakat.

ROM

Singkatan dari Run-of-mine, yaitu bijih atau batuan sisa tambang yang dihasilkan langsung dari tambang terbuka (open-pit) atau tambang bawah tanah.

Scat atau Slag

Limbah berbutiran kasar dari peleburan bijih logam metalliferous.

Sedimentasi

Pemisahan padatan-padatan dari lumpur yang mengandung air.

Sentrifugasi

Satu perangkat yang menguras air dari lumpur tailing melalui aplikasi gaya sentrifugal terhadap suatu permukaan drainase.

Siklus hidup

Seluruh hidup fasilitas penyimpanan tailing, mulai dari tahap perencanaan, melalui desain, konstruksi, operasi, penutupan, rehabilitasi, dan setelah penutupan.

Sistem saluran pemompaan dan jaringan pipa tailing

Sistem yang dirancang untuk mengirim lumpur slurry tailing dari pabrik pengolahan mineral ke fasilitas penyimpanan tailing.

Sisa (batu bara) halus

Bagian halus dari bahan mineral yang dipisahkan dari batu bara hasil penambangan dengan cara pencucian.

Sisa (batu bara) kasar

Bagian kasar dari zat mineral yang dikeluarkan dari batubara hasil penambangan dengan cara pencucian.

Sisa/residu lumpur merah

Hasil sampingan produksi alumina dari bauksit.

Sistem pengendalian rembesan

Sistem yang dapat meliputi pondasi yang dipadatkan atau memiliki permeabilitas rendah, atau liner (tanah liat dan/atau geomembran atau GCL yang dipadatkan), dan sistem pengumpulan drainase bawah.

Slime (Lendiran)

Lumpur dan/atau komponen berukuran tanah liat di tailing yang terkumpul di ujung ekor pantai tailing, biasanya memiliki kadar air yang tinggi dan konsistensi lunak.

Slope (Lereng)

Merujuk kepada sudut dari dinding bendungan tailing dan dari pantai tailing.

Sortir hidrolis

Pemisahan tailing ke bawah pantai tailing sesuai dengan ukuran partikel dan/atau berat jenisnya.

Spigot (Keran)

Satu cabang dari jaringan utama pipa pengiriman tailing, dan dari sinilah tailing dikeluarkan dari dinding bendungan suatu fasilitas penyimpanan tailing.

Spillway (Saluran pembuangan air berlebih)

Struktur yang dibangun di sekeliling fasilitas penyimpanan tailing, yang dirancang untuk melewatkan kelebihan limpasan air hujan.

Tailing

Limbah atau residu berbutiran halus yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan mineral, biasanya dalam lingkungan air. Dapat berupa tepung batuan giling dari pengolahan bijih logam; limbah berbutiran halus yang dihasilkan dari pemanfaatan pasir mineral, batu bara atau bauksit; residu atau sisa dari pengolahan alumina atau nikel laterit; debu terbang dari pembangkit listrik tenaga batu bara; gipsum yang diproduksi dari pengolahan fosfat; dan sebagainya.

Tailing kental

Tailing yang mengental hingga ke tingkat kepadatan yang tinggi, yang membentuk pantai di lereng yang lebih curam dan terpisah kurang dari lumpur tailing, menghasilkan air supernatan yang jauh lebih sedikit.

Tailing PAF: Tailing yang berpotensi membentuk asam

Singkatan dari *potentially acid-forming (PAF) tailing* atau tailing sulfida dengan potensi untuk beroksidasi saat terpapar dan bergabung dengan air menghasilkan keasaman.

Tailing pasta

Lumpur tailing yang mengental hingga mencapai konsistensi seperti pasta, dengan tekanan yang dihasilkan tinggi, dan mengurangi kekenyalan dan air rembesan. Semen ditambahkan untuk memproduksi urukan tailing pasta semen untuk stope tambang bawah tanah.

Tailing pasta bersemen

Tailing dengan konsistensi seperti pasta, di mana semen ditambahkan guna meningkatkan kekuatan untuk pengurukan stope (galian-galian tambang) bawah tanah.

Tanggul

Sebuah dinding penahan dari tanah.

Tanggul atau dinding

Dinding penahan tailing atau air (lihat juga 'dinding bendungan').

Tanggul awal

Dinding tanggul atau bendungan awal dari Fasilitas Penyimpanan Tailing.

Thickener (Pengental)

Alat untuk meningkatkan kepadatan lumpur (slurry).

Usia hidup tambang

Perencanaan dan desain selama pertambangan, termasuk setelah penutupan.



Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan