



Australian Government

Department of Industry  
Tourism and Resources

# REHABILITASI TAMBANG

PRAKTIK KERJA UNGGULAN DALAM  
PROGRAM PENGEMBANGAN YANG  
BERKELANJUTAN DI  
INDUSTRI PERTAMBANGAN



SOCIAL  
ECONOMIC  
ENVIRONMENTAL



PRAKTEK UNGGULAN PROGRAM  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN  
UNTUK INDUSTRI PERTAMBANGAN



Translated by eTranslate (Diterjemahkan oleh eTranslate)  
Translator (Penerjemah) - Ir. Ray Indra  
Reviewer (Pemeriksa) - Ir. Tri Harjanto & Hendry Baiquni

OKTOBER 2006

## REHABILITASI TAMBANG

### **Pernyataan Penerbit**

Praktek Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan yang Berkelanjutan untuk Industri Pertambangan

Publikasi ini disusun oleh satu Kelompok Kerja yang mewakili para pakar, industri serta lembaga pemerintah dan swadaya masyarakat. Kerja keras para anggota dalam Kelompok Kerja ini sangatlah dihargai dengan penuh rasa terima kasih.

Pandangan dan pendapat yang diutarakan dalam publikasi ini tidaklah otomatis mencerminkan pandangan dan pendapat dari Pemerintah Persemakmuran dan Menteri Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya. Meskipun telah dilakukan upaya yang sebaik mungkin untuk memastikan isi dalam publikasi ini benar secara faktual, Persemakmuran tidak menerima pertanggungjawaban dalam hal keakuratan atau kelengkapan dari isi publikasi ini, dan tidak bertanggung jawab atas segala kerugian atau kerusakan yang mungkin muncul secara langsung ataupun tidak langsung melalui penggunaan dari, atau mengandalkannya pada, isi dari publikasi ini.

Para pengguna buku pedoman ini hendaknya menyadari bahwa buku ini dimaksudkan sebagai referensi umum dan bukan dimaksudkan untuk menggantikan saran profesional yang relevan terhadap keadaan tertentu dari masing-masing pengguna. Referensi kepada perusahaan-perusahaan atau produk-produk dalam buku pedoman ini janganlah dianggap sebagai bentuk dukungan dari Pemerintah Persemakmuran terhadap perusahaan-perusahaan tersebut atau produk-produk mereka.

Gambar sampul: Rehabilitation at Xstrata Coal's New Wallsend Colliery located in the Newcastle Coalfield, New South Wales

© Commonwealth of Australia 2006

ISBN 0 642 72481 4

Buku ini dilindungi oleh hak cipta. Selain penggunaan yang diizinkan dalam Copyright Act 1968 (Undang Undang Hak Cipta 1968), dilarang melakukan reproduksi dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari Persemakmuran. Permintaan dan pertanyaan tentang reproduksi dan hak harus dialamatkan kepada Commonwealth Copyright Administration, Attorney General's Department, Robert Garran Offices, National Circuit, Canberra ACT 2600 atau melalui <http://www.ag.gov.au/cca>

## DAFTAR ISI

	UCAPAN TERIMA KASIH	iv
	SEPATAH KATA	vii
1.0	PENDAHULUAN	1
2.0	PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN DAN REHABILITASI TAMBANG	3
2.1	PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN: ASPEK LINGKUNGAN	4
2.2	PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN: ASPEK-ASPEK SOSIAL	5
	Studi kasus: Melibatkan masyarakat dalam perencanaan seluruh usia tambang	6
2.3	PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN: SEBUAH KASUS BISNIS	9
3.0	PERENCANAAN	10
3.1	KONSULTASI SELAMA PERENCANAAN AWAL TAMBANG	10
3.2	PERSYARATAN HUKUM	10
3.3	KARAKTERISASI BAHAN	10
3.4	PENILAIAN LOKASI	16
3.5	MERENCANAKAN PROGRAM REHABILITASI	19
	Studi kasus: operasi tambang nikel Murrin Murrin, Western Australia	22
	Studi kasus: tambang batu bara Mt Owen, Hunter Valley, NSW	25
4.0	OPERASI	28
4.1	KONSULTASI SELAMA OPERASI PENAMBANGAN	28
4.2	KARAKTERISASI BAHAN	28
4.3	PENANGANAN BAHAN	28
4.4	NERACA AIR DI LIMBAH TAMBANG	31
4.5	REKONSTRUKSI Lahan-bentukan	33
4.6	LAPISAN PENUTUP	33
	Studi kasus: Sistem lapisan penutup "simpan/lepas", tambang emas Kidston, Queensland	36
4.7	LERENG LUAR PENYIMPANAN LIMBAH	37
4.8	PENGELOLAAN TANAH PUCUK ATAU TANAH LAPISAN ATAS	38
	Studi kasus: Alcoa World Alumina Australia	40
4.9	MEMBENTUK KOMUNITAS VEGETASI	42
	Studi kasus: tambang mangan GEMCO, Groote Eylandt, Northern Territory	47
5.0	PENUTUP	53
5.1	KONSULTASI SELAMA PENUTUPAN TAMBANG	53
5.2	PENYUSUNAN KRITERIA KEBERHASILAN REHABILITASI	53
5.3	PENYUSUNAN PROGRAM PEMANTAUAN REHABILITASI	53
5.4	PENYUSUNAN PANDUAN PEMANTAUAN	58
5.5	PENGEMBALIAN KUASA PENAMBANGAN	59
6.0	RANGKUMAN	60
	REFERENSI	62
	DAFTAR ISTILAH	65

# UCAPAN TERIMA KASIH

Praktek Unggulan Program Pengembangan Berkelanjutan atau the Leading Practice Sustainable Development Program ini dikelola oleh satu Komite Pengarah yang diketuai oleh Departemen Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya Pemerintah Australia. 14 tema di dalam program ini dikembangkan oleh kelompok kerja yang terdiri dari perwakilan pemerintah, industri, riset, akademik dan masyarakat. Buku Pedoman Praktek Unggulan ini tidaklah mungkin dapat diselesaikan tanpa kerjasama dan partisipasi aktif dari semua anggota kelompok kerja.

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang berikut ini, yang telah berpartisipasi dalam Kelompok Kerja Rehabilitasi Tambang dan para perusahaan yang telah mengizinkan untuk memberikan waktu dan keahlian para wakil-wakilnya ke dalam program ini:



**Assoc. Prof. David Mulligan**

Ketua – Kelompok Kerja  
Direktur - Centre for Mined Land Rehabilitation  
Sustainable Minerals Institute  
The University of Queensland

[www.cmlr.uq.edu.au](http://www.cmlr.uq.edu.au)



**Ms Jenny Scougall & Ms Katie Lawrence**

Sekretariat–Kelompok Kerja  
Sustainable Mining Section  
Departemen Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya

[www.industry.gov.au](http://www.industry.gov.au)



**Mr John Allan**

Manajer Grup–Lingkungan  
Newcrest Mining Limited

[www.newcrest.com.u](http://www.newcrest.com.u)



**Ms Rachelle Benbow**

Manajer Operasi Lingkungan  
NSW Minerals Council (Dewan Mineral NSW)

[www.nswmin.com.au](http://www.nswmin.com.au)



**Mr Cormac Farrell**

Pejabat Kebijakan–Lingkungan  
Minerals Council of Australia (Dewan Mineral Australia)

[www.minerals.org.au](http://www.minerals.org.au)



**Mr Wojtek Grun**

Ahli Teknik Pertambangan  
Mineral Resources Tasmania

[www.mrt.tas.gov.au](http://www.mrt.tas.gov.au)



**Mr Keith Lindbeck**

Kepala  
Keith Lindbeck & Associates

[keith@keithlinbeck.com.au](mailto:keith@keithlinbeck.com.au)



**Dr Rob Loch**

Konsultan Kepala  
Landloch Pty Ltd

[www.landloch.com.au](http://www.landloch.com.au)



**Dr Owen Nichols**

Manajer Program Penelitian  
Australian Centre for Minerals Extension and Research [www.acmer.com.au](http://www.acmer.com.au)



**Dr Mark Tibbett**

Direktur  
Centre for Land Rehabilitation  
School of Earth and Geographical Sciences  
The University of Western Australia

[www.clr.uwa.edu.au](http://www.clr.uwa.edu.au)



**Assoc. Prof. David J Williams**


Direktur–Centre for Geomechanics in Mining and Construction  
School of Engineering  
The University of Queensland

[www.uq.edu.au/geomechanics](http://www.uq.edu.au/geomechanics)

---







## SEPATAH KATA

Industri pertambangan Australia memiliki keterkaitan yang erat dengan upaya global untuk melaksanakan pembangunan yang berkelanjutan. Komitmen untuk melakukan pembangunan yang berkelanjutan melalui praktek kerja unggulan sangatlah penting bagi perusahaan pertambangan untuk mendapatkan dan mempertahankan 'izin sosial untuk beroperasi' dalam masyarakat.

Buku pedoman dalam seri Praktek Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan yang Berkelanjutan untuk Pertambangan ini memadukan aspek-aspek lingkungan, ekonomi dan sosial dari semua tahap-tahap produksi mineral, mulai dari eksplorasi sampai ke konstruksi, operasi dan penutupan tambang. Konsep dari praktek kerja unggulan adalah cara-cara terbaik untuk melakukan sesuatu pada lokasi tertentu. Karena akan selalu muncul tantangan-tantangan baru, pengembangan solusi-solusi baru, atau diciptakannya solusi yang lebih baik bagi masalah yang ada saat ini, maka praktek kerja unggulan ini haruslah bersifat fleksibel dan inovatif dalam mengembangkan solusi yang sesuai dengan kebutuhan spesifik di masing-masing lokasi tambang. Meskipun terdapat prinsip-prinsip yang mendasarinya, praktek kerja unggulan terutama membicarakan cara pendekatan dan sikap, selain merupakan serangkaian praktek baku atau teknologi tertentu. praktek kerja unggulan juga mencakup konsep 'manajemen adaptif', yaitu sebuah proses pengkajian yang konstan dan berkonsep 'belajar sambil mengerjakannya langsung', melalui penerapan prinsip-prinsip ilmiah yang terbaik.

Definisi mengenai pembangunan yang berkelanjutan bagi sektor pertambangan dan logam dari International Council on Mining and Metals (ICMM) mengatakan bahwa investasi tersebut harus layak secara teknis, ramah lingkungan, menguntungkan secara keuangan dan bertanggung jawab secara sosial. *Nilai Yang Bertahan (Enduring Value) Kerangka Kerja Industri Mineral Australia untuk Pembangunan Berkelanjutan* memberikan panduan mengenai prinsip-prinsip dan elemen-elemen ICMM oleh industri pertambangan Australia, untuk penerapan di tingkat operasional.

Berbagai organisasi telah diwakili dalam komite pengarah dan kelompok-kelompok kerja, sebagai indikasi dari beragamnya minat dalam praktek unggulan di industri pertambangan. Organisasi-organisasi ini mencakup Departemen Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya, Departemen Lingkungan dan Warisan Sejarah, Departemen Perindustrian dan Sumberdaya (Western Australia), Departemen Sumberdaya Alam dan Pertambangan (Queensland), Departemen Perindustrian Primer (Victoria), Mineral Council of Australia (Dewan Mineral Australia), Australian Centre for Minerals Extension and Research (Pusat Riset dan Perluasan Mineral Australia), sektor universitas dan perwakilan dari perusahaan pertambangan, sektor riset teknis, konsultan pertambangan, lingkungan dan sosial, serta lembaga-lembaga non-pemerintah. Kelompok-kelompok ini bekerja sama untuk mengumpulkan dan menghasilkan informasi dalam berbagai topik, yang menggambarkan dan menjelaskan pembangunan yang berkelanjutan melalui praktek kerja unggulan di industri pertambangan Australia.

Publikasi-publikasi yang dihasilkan dirancang untuk membantu semua sektor dalam industri pertambangan didalam mengurangi dampak negatif produksi mineral terhadap masyarakat dan lingkungan dengan cara mengikuti prinsip-prinsip praktek unggulan pembangunan berkelanjutan. Ini merupakan suatu investasi agar sektor yang sangat penting dalam perekonomian kita ini dapat berkelanjutan, dan warisan alam kita juga dapat terus terlindungi dengan baik.



**The Hon Ian Macfarlane MP**

Menteri Perindustrian, Pariwisata dan Sumberdaya





# 1.0 PENDAHULUAN

Buku pedoman ini mengulas rehabilitasi tambang, salah satu tema dalam seri Praktek Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan yang Berkelanjutan. Program ini bertujuan untuk mengidentifikasi masalah-masalah utama yang mempengaruhi pengembangan berkelanjutan dalam industri pertambangan, serta menyediakan informasi dan studi kasus yang menggambarkan dasar-dasar yang lebih berkelanjutan bagi industri ini. Terdapat sejumlah buku pedoman bertema lain dalam seri ini, yang bertujuan untuk melengkapi buku pedoman ini. Pertukaran informasi di antara seluruh anggota dalam industri pertambangan sangatlah penting untuk mendukung praktek kerja terbaik, dan program ini bertujuan untuk semakin meningkatkan pertukaran informasi tersebut.

Buku pedoman praktek kerja unggulan ini relevan terhadap seluruh tahapan usia tambang - eksplorasi, kelayakan tambang, perancangan, konstruksi, operasi dan penutupan - dan terhadap semua tahapan dalam operasi. Meskipun prinsip-prinsip yang memandu praktek kerja unggulan ini seringkali bersifat generik, tapi tetap dapat digunakan untuk mendukung perencanaan program berkelanjutan yang bersifat spesifik pada tambang tertentu.

Target utama dari buku pedoman ini adalah manajemen di tingkat operasional, yaitu tingkat penting untuk menerapkan pengaturan praktik kerja unggulan di operasi penambangan.. Buku pedoman ini juga relevan bagi orang-orang yang berminat dalam praktek kerja unggulan di industri pertambangan, termasuk para pejabat dan petugas bidang lingkungan, konsultan pertambangan, pemerintah dan pembuat peraturan, lembaga non-pemerintah, masyarakat di pertambangan, serta pelajar dan mahasiswa. Buku ini ditulis untuk mendorong orang-orang tersebut agar siap memainkan peran penting untuk senantiasa meningkatkan kinerja pembangunan yang berkelanjutan di dalam industri pertambangan.

Buku pedoman ini menjabarkan prinsip-prinsip dan praktek kerja unggulan dalam rehabilitasi tambang, dengan penekanan pada perancangan lahan-bentukan (*landform*) dan revegetasi. Buku ini juga menunjukkan kepada para pembaca bagaimana cara menggunakan teknologi dan praktek kerja (baik yang sudah ada sekarang maupun yang sedang berkembang) dengan lebih efisien. Prinsip-prinsip yang dijabarkan dapat diterapkan ke semua lahan yang terganggu oleh pertambangan. Setelah urutan operasi dalam tambang seperti konsultasi, perencanaan, operasi dan penyelesaian, setiap bab akan berfokus pada proses dan masalah-masalah yang relevan terhadap lokasi tambang, di sepanjang rentang usianya. Diberikan penekanan khusus kepada pemulihan ekosistem alam, terutama penumbuhan kembali flora asli.

Topik-topik yang dibahas mencakup tujuan rehabilitasi, penanganan lapisan tanah (*soil handling*), pengerjaan tanah (*earthworks*), revegetasi, nutrisi atau unsur-unsur hara tanah, pengembalian fauna, pemeliharaan, kriteria keberhasilan dan pemantauan.. Para manajer dengan tanggung jawab rehabilitasi dapat mengadaptasi informasi ini ke situasi masing-masing, saat merencanakan sebuah strategi rehabilitasi.

Rehabilitasi adalah sebuah proses yang digunakan untuk memperbaiki dampak pertambangan kepada lingkungan. Tujuan jangka panjang dari rehabilitasi dapat bervariasi, mulai dari sekedar mengubah sebuah daerah ke kondisi yang aman dan stabil, sampai memulihkan semirip mungkin ke kondisi sebelum ditambang untuk mendukung keberlanjutan (*sustainability*) lokasi

tersebut di masa depan.

Rehabilitasi biasanya terdiri dari:

- Pengembangan rancangan lahan-lahan bentukan (landforms) yang tepat untuk lokasi tambang
- Penciptaan lahan-lahan bentukan yang akan berperilaku dan tumbuh dengan cara yang dapat diperkirakan, sesuai dengan prinsip-prinsip rancangan yang ditetapkan
- Pembentukan ekosistem-ekosistem berkelanjutan (lestari) yang tepatguna.

Rancangan lahan-bentukan untuk rehabilitasi memerlukan suatu sudut pandang yang holistik terhadap operasi penambangan, di mana masing-masing tahap operasi dan setiap komponen dalam tambang merupakan bagian dari sebuah rencana yang mempertimbangkan seluruh siklus usia tambang, misalnya operasi perencanaan dan penggunaan final lahan. Rencana ini harus fleksibel, agar mampu mengakomodasi perubahan dalam metode dan teknologi.

Memaksimalkan perencanaan akan mengurangi gangguan pada lahan dan memastikan bahwa bahan-bahan seperti batuan sisa/buangan tambang (waste rock) ditempatkan dekat dengan lokasi akhirnya. Titik beratnya adalah untuk mendapatkan dan menganalisis sebanyak mungkin informasi mengenai lokasi tambang tersebut. Penelitian semacam mempunyai dua kegunaan: memberikan data dasar untuk perencanaan tambang, dan informasi penting untuk tahap rehabilitasi dan penutupan, yaitu saat lahan akan dipulihkan ke tataguna pasca penambangan (*post mining use*) yang disepakati.

Faktor-faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam penelitian pra-penambangan mencakup persyaratan hukum, iklim, topografi, jenis tanah dan pandangan dari masyarakat. Pandangan masyarakat jelas merupakan yang terpenting dalam penetapan tataguna akhir lahan (*final land use*), karena merekalah calon terbesar pengguna lahan. Pengetahuan dan keahlian mereka juga tak ternilai dalam memahami aspek-aspek lokasi.

Tataguna lahan pasca-tambang di suatu daerah hendaknya ditentukan berdasarkan konsultasi dengan pihak-pihak terkait yang berkepentingan seperti departemen-departemen pemerintah, pemerintah daerah, lembaga swadaya masyarakat, Pemilik Adat dan pribadi.

Pemahaman akan lokasi, termasuk karakteristik drainasenya, juga diperlukan saat merancang dan menempatkan komponen-komponen operasi penambangan. Dengan mentransfer informasi ini ke piranti lunak (software) pertambangan, para perencana tambang (mine planners) akan memiliki modelling komputer yang terperinci mengenai lokasi asli serta pola saluran airnya, agar dapat mengambil keputusan tentang restorasi atau pengubahan terhadap rancangan akhirnya.

Seperti semua teknologi yang berkaitan dengan komputer, pasti akan terjadi pengembangan dan program tersebut dapat menjadi ketinggalan zaman dengan cepat. Oleh karena itu, prinsip-prinsip dalam digitalisasi dan analisis data lebih penting daripada paket piranti lunak spesifik yang digunakan. Penggunaan akhir untuk lubang (void) final akibat dari operasi penambangan juga memerlukan pertimbangan dan perencanaan yang baik. Pengisian balik (*backfilling*) mungkin tidak ekonomis pada operasi tertentu, tapi pada operasi yang lain perencanaan yang baik mungkin dapat menghindari terbentuknya lubang apapun. Keamanan juga hal yang penting, maka juga diperlukan perancangan yang kreatif bersama-sama dengan pembuatan halangan dan rambu-rambu peringatan.

## 2.0 PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN DAN REHABILITASI TAMBANG

Tambang-tambang yang direhabilitasi secara buruk mewariskan isu sulit bagi pemerintah, masyarakat dan perusahaan, dan akhirnya merusak reputasi industri pertambangan secara keseluruhan. Dan karena akses ke sumberdaya-sumberdaya semakin terikat dengan reputasi industri, maka proses penutupan yang efektif dan rehabilitasi tambang yang memuaskan menjadi sangat penting terhadap kemampuan perusahaan untuk mengembangkan proyek-proyek baru. Dengan menggunakan pendekatan yang lebih terpadu dalam rehabilitasi tambang, serta dengan melaksanakannya secara progresif, maka dapat diwujudkan suatu rehabilitasi tambang yang efektif. Serangkaian kerangka kerja kebijakan pembangunan berkelanjutan telah dikembangkan oleh industri dan beberapa organisasi lain, yang kini menjadi faktor pendorong praktek kerja yang lebih baik.

Untuk menyediakan satu kerangka kerja dalam menjelaskan dan menerapkan komitmen industri di bidang pembangunan berkelanjutan, Dewan Mineral Australia (*Minerals Council of Australia*) telah mengembangkan konsep Nilai Yang Bertahan (*Enduring Value*), yang merupakan satu Kerangka Kerja Industri Mineral Australia untuk Pembangunan Berkelanjutan.

**Tabel 1: Prinsip/Elemen/Panduan Nilai Yang Bertahan**

Prinsip Elemen/ Panduan ICMM	Keterangan
<b>Prinsip 6</b>	<b>Mengupayakan penyempurnaan yang terus menerus atas kinerja lingkungan kita</b>
<b>Elemen 6.3</b>	Merehabilitasi lahan yang terganggu atau dipakai oleh operasi-operasi penambangan sejalan dengan tatguna lahan pasca-tambang
<b>Panduan</b>	Berkonsultasi dengan para pemangku kepentingan ( <i>pemangku kepentingans</i> ) yang terkait, dan mengembangkan satu rencana penutupan yang menetapkan dengan jelas tataguna lahan pasca-penutupan.
	Jika memungkinkan, lakukan rehabilitasi secara progresif di sepanjang usia operasi. Pantau kriteria keberhasilan yang telah disepakati dengan para pemangku kepentingan terkait. Melaporkan kinerja.
	Melaksanakan dan mendukung riset mengenai praktek-praktek rehabilitasi lahan dan air.
	Menggunakan teknologi tepat untuk menurunkan dampak negatif pada lingkungan dan meningkatkan teknik-teknik rehabilitasi lahan.
	Mengelola dan (jika memungkinkan) merehabilitasi warisan kerusakan lahan masa lalu agar mencapai standar yang layak (lihat elemen 4.1, 6.3, .6.4, 7.1, 7.3, 9.1, 10.3).

## 2.1 Pembangunan yang berkelanjutan: aspek-aspek lingkungan

Janganlah berasumsi bahwa tujuan dari semua rehabilitasi adalah suatu bentuk ekosistem alami yang mirip dengan apa yang ada sebelum penambangan. Di daerah-daerah terpencil Australia, pilihan yang disukai seringkali adalah mengembalikan lahan tambang ke ekosistem alami yang stabil. Jika berhasil, ini dapat mewujudkan sebuah tataguna lahan final dengan kebutuhan pemeliharaan yang rendah, yaitu berusaha mengendalikan terlepasnya polusi potensial dari lokasi tersebut.

Di daerah Australia yang berpenduduk lebih padat (seperti daerah pertanian atau dekat dengan pusat pemukiman), tersedia pilihan-pilihan tataguna lahan yang lebih beragam. Jika komponen-komponen dari lokasi penambangan tersebut berpotensi dimanfaatkan untuk pertanian atau aktivitas berbasis masyarakat, maka diperlukan pengelolaan yang terus menerus. Maka penting dibangun sejak dini kapasitas jangka panjang dari masyarakat setempat, pemerintah daerah dan kelompok-kelompok masyarakat, didalam melaksanakan kegiatan-kegiatan semacam. Tanpa adanya komitmen jangka panjang dan Sumberdaya yang memadai, program rehabilitasi yang dikelola pasti akan menemui kegagalan.

### 2.1.1 Tuntutan-tuntutan peraturan

Tuntutan-tuntutan peraturan memberi batasan yang nyata terhadap pilihan-pilihan rehabilitasi. Batasan ini dapat berbentuk rencana tataguna lahan tingkat wilayah, yang membatasi jenis-jenis tataguna lahan final yang dapat diterapkan. Jika suatu area sudah ditetapkan sebagai daerah tangkapan air, maka ada peraturan untuk mengembalikan lahan ke kondisi yang sesuai dengan tujuan ini. Misalnya peraturan ini dapat melarang pertanian yang intensif, karena adanya potensi pestisida atau pupuk memasuki dan menyebabkan polusi pada jalur perairan setempat. Jika lahan dikelilingi oleh ekosistem alami, pembentukan budidaya perikanan yang intensif mungkin memberi ancaman terhadap spesies ikan asli di sungai sekitar.

Kondisi-kondisi yang dipersyaratkan dalam peraturan pelaksanaan rehabilitasi dapat pula ditetapkan sebagai bagian dari persyaratan khusus untuk mendapatkan izin operasi penambangan. Dalam beberapa keadaan, telah ada satu kumpulan kondisi baku yang berlaku terhadap proyek penambangan, tapi kini semakin banyak peluang publik untuk memberi masukan didalam menetapkan kondisi-kondisi tersebut. Hal ini dapat memberikan peluang keterlibatan masyarakat sejak awal, demi tercapainya manfaat bersama bagi proyek, fihak berwenang dan masyarakat.

### 2.1.2 Kendala-kendala fisik

Ciri-ciri fisik dari lahan memberikan kendala-kendala utama terhadap apa yang dapat dicapai oleh sebuah program rehabilitasi. Ada kalanya tidak memungkinkan untuk membentuk ulang beberapa jenis vegetasi tertentu, seperti hutan tropis dan hutan sklerofil basah, jika lahan tersebut tidak memiliki karakteristik yang diperlukan (seperti curah hujan dan kehangatan). Hal ini dapat diakibatkan oleh kisaran iklim normal pada lahan, proses-proses seperti perubahan iklim atau akibat langsung dari aktivitas penambangan. Penting untuk menentukan hambatan-hambatan fisik sedini mungkin dalam proses konsultasi, agar harapan pemangku kepentingan terkelola.

Beberapa kendalafisik utama yang perlu dipertimbangkan selama konsultasi tercantum dalam Tabel 2:

**Tabel 2: Kendala-kendala fisik utama**

**Iklim:** Situasi iklim merupakan faktor terpenting untuk dipertimbangkan saat mengembangkan pilihan-pilihan rehabilitasi tambang. Jika tujuan puncaknya adalah mencapai suatu bentang alam (*landscape*) yang stabil, maka harus konsisten dengan kondisi iklim yang ada dan harus mempertimbangkan potensi perubahan iklim. Curah hujan dan suhu memberi kendala-kendala nyata terhadap apa yang dapat dicapai di lahan tersebut.

**Ukuran:** Ukuran lahan juga berdampak pada pilihan yang tersedia. Lahan-lahan bentukan juga merupakan satu faktor, khususnya ketika mempertimbangkan masalah yang memiliki efek tepi (*edge effect*) yang kuat seperti kolonisasi oleh spesies tumbuhan asli dan hewan, serta serangan gulma.

**Jenis - jenis tanah/batuan:** Jenis tanah (liat, lempung, pasir), sifat fisik/kimia (pH, liat-liat dispersif/non-dispersif) serta tersedianya unsur hara merupakan faktor-faktor penentu jenis vegetasi yang dapat didukung oleh lahan tersebut. Praktek-praktek budidaya seperti penggunaan penyubur tanah dan pupuk, serta penyimpanan tanah lapisan atas atau tanah pucuk (*topsoil*) untuk kelak digunakan dalam rehabilitasi, dapat meredakan beberapa kendala, tapi mungkin akan memerlukan waktu puluhan tahun sebelum akhirnya siklus unsur hara penting dapat terbentuk kembali.

## 2.2 Pembangunan yang berkelanjutan: aspek-aspek sosial

Perusahaan pertambangan di Australia telah berkomitmen terhadap pengembangan sosial dan ekonomi dalam masyarakat tempat mereka beroperasi. Ini mencakup komitmen untuk meminimalkan dampak negatif pertambangan pada masyarakat sekitar, serta mengkaji cara mempertahankan atau meningkatkan kesejahteraan dan keberlanjutan sosial (*social sustainability*) pada masyarakat yang terkena pengaruh penambangan ini.

### 2.2.1 Keterlibatan masyarakat

Untuk dapat mencapai kesepakatan tataguna lahan final terhadap lokasi tambang yang telah direhabilitasi memerlukan upaya penyeimbangan yang hati-hati terhadap tuntutan yang saling bersaing dari badan berwenang, penduduk setempat dan masyarakat yang lebih luas. Saran yang lebih terperinci mengenai subyek ini bisa didapatkan dari buku pedoman dalam seri ini yang berjudul *Penutupan dan Penyelesaian Tambang*. Tujuan dari keterlibatan dan konsultasi masyarakat dalam hal tataguna lahan final adalah agar bisa membuat kesepakatan mengenai tujuan lokasi tersebut, sehingga perusahaan dapat mengembalikan hak penambangan dengan cara yang memenuhi persyaratan peraturan dan dapat memuaskan ekspektasi dari masyarakat. Rehabilitasi progresif adalah proses yang berlangsung sepanjang usia tambang, yang memungkinkan perusahaan mencapai tujuan tataguna lahan final.

Buku pedoman Praktek Kerja Unggulan dalam seri ini yang berjudul *Keterlibatan dan Pengembangan Masyarakat* memberikan informasi lebih lanjut dan studi kasus mengenai Praktek kerja terbaik dalam keterlibatan masyarakat dan program pengembangan masyarakat yang efektif.

Pilihan rehabilitasi yang dipilih untuk lokasi tersebut harus cocok dan idealnya bersifat melengkapi tataguna lahan di sekitarnya. Harus diberikan perhatian khusus terhadap setiap peluang untuk dapat melibatkan atau membentuk habitat yang saling berhubungan di antara petak-petak vegetasi yang tersisa. Juga ada peluang untuk membuat sebuah rencana rehabilitasi regional yang lebih luas, yang turut mencakup aktivitas tataguna lahan di sekitar. Manfaat bagi masyarakat juga dapat ditingkatkan dengan adanya tindakan saling berbagi pengalaman dan koordinasi terhadap aktivitas-aktivitas utama.



Beberapa wilayah hukum turut terlibat dalam perencanaan keanekaragaman hayati di tingkat bentang alam, misalnya rencana keanekaragaman hayati regional yang sedang diterapkan di New South Wales. Perencanaan di tingkat ini merupakan sebuah cara efektif untuk menangani masalah-masalah seperti koridor satwa liar, penentuan alokasi air alam, serta pengelolaan spesies terancam dan masyarakat ekologi, selama proses penilaian dan persetujuan.

## **Studi kasus: Melibatkan masyarakat dalam perencanaan seluruh usia tambang**

### **Tambang batu bara Gregory Crinum, Queensland, Australia**

Gregory Crinum berlokasi 60 km sebelah timur laut pusat pedesaan Emerald, dan 375 km sebelah barat laut Gladstone di Queensland dan terdiri dari dua buah tambang. Operasi di tambang lubang-terbuka Gregory dimulai tahun 1979, sedangkan tambang bawah tanah Crinum di dekatnya dibuka pada tahun 1995. Kedua tambang dioperasikan oleh BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA). Operasi tambang lubang-terbuka dan bawah tanah tersebut memasok batu bara ke sebuah pabrik pengolahan tunggal, dan diangkut melalui rel. Tambang-tambang ini terletak dalam sebuah area yang telah dikosongkan secara ekstensif untuk padang rumput dan pertanian, tapi juga masih memiliki beberapa petak area vegetasi yang tersisa, dan beberapa diantaranya mempunyai nilai konservasi karena kelangkaannya. Praktek kerja unggulan yang baik untuk operasi penambangan yang baru adalah berkonsultasi dengan masyarakat pada tahap proyek yang sedini mungkin. Metode konsultasi masyarakat yang digunakan BMA untuk mengembangkan perencanaan seluruh usia tambang merupakan sebuah contoh bagus bagaimana sebuah operasi penambangan yang sudah ada dapat meningkatkan praktek kerjanya dan melibatkan para pemangku kepentingan untuk membantu membuat keputusan penting mengenai masalah tataguna lahan di jangka panjang.

Proses ini dilanjutkan dengan satu rapat umum di bulan September 2002. Kemudian dibentuk satu kelompok kerja masyarakat dari pemangku kepentingan setempat. Kelompok kerja ini terdiri dari para perwakilan Landcare; kelompok lingkungan, perencanaan wilayah dan kelompok pertanian; pemerintah daerah, Badan Perlindungan Lingkungan Queensland (Queensland Environmental Protection Agency); dan manajemen tambang Gregory Crinum beserta Petugas lingkungan dan hubungan masyarakat. Seorang fasilitator independen juga dikontrak untuk membantu mengatur proses ini.

Masukan dari kelompok ini digunakan untuk membantu menentukan pilihan penggunaan yang terbaik di masa depan untuk berbagai unit-unit lahan (disebut 'domain') yang



**Padang rumput dan pepohonan pelindung di lahan buangan galian**

berbeda di seluruh lahan kuasa penambangan pengerjaan tanah, sehingga tambang dapat melakukan pengolahan tanah yang diperlukan, menanam pohon, semak-semak dan rumput yang benar, dan segala hal yang diperlukan untuk mengubah rencana menjadi kenyataan.

Kelompok kerja ini juga membantu mengembangkan kriteria yang akan digunakan untuk menilai apakah upaya-upaya rehabilitasi Gregory





### **Area semak-semak Yellowwood yang tidak ditambang**

berbagai domain di sana. Antara lain mencakup konservasi vegetasi asli, padang rumput, hutan agro, rekreasi, area pertanian dan area industri.

Ukuran keberhasilan yang spesifik dikembangkan berdasarkan pada rentang tataguna lahan pasca-tambang yang potensial. Kategori kriteria mencakup pembentukan vegetasi (kepadatan, komposisi, kekayaan spesies, dan kelestariannya); pengelolaan debu, api, gulma dan hewan liar; fungsi ekosistem; konektivitas, misalnya menghubungkan daerah-daerah yang memiliki nilai penting bagi lingkungan; pengelolaan lahan pasca-tambang; serta keberlanjutan dari tataguna lahan pasca tambang yang diusulkan. Perlindungan terhadap tegakan-tegakan vegetasi sisa hutan Brigalow (*ekaliptus*) dipandang penting bagi upaya konservasi yang sedang dilakukan atas ekosistem-ekosistem yang terancam



**Wallaby ekor paku**

punah yang menjadi bagian dari habitat wallaby atau kanguru kecil ekorpaku (*Kanguru kecil ekorpaku (bridled nail-tail wallaby)*) yang langka.

mengkaji rencana seluruh usia tambang, mengukur perkembangan rehabilitasi saat ini dibandingkan dengan ukuran keberhasilan, dan jika diperlukan melakukan perubahan terhadap rencana tersebut.

BMA kini menggunakan pendekatan yang serupa didalam mengembangkan strategi-strategi rehabilitasi dan penutupan tambang-tambang batu bara lain miliknya.

Informasi untuk studi kasus ini disediakan oleh Tambang Gregory Crinum BMA. Informasi lebih lanjut mengenai proses konsultasi masyarakat yang digunakan bisa didapatkan dengan menghubungi BMA melalui <[www.bmacoal.com](http://www.bmacoal.com)>.

Crinum ke depan telah berhasil secara progresif menuju ke tataguna lahan yang direncanakan.

Telah disusun satu proses pengkajian- ulang (*review process*) untuk memastikan bahwa rencana dapat berubah seiring waktu, untuk mencerminkan perubahan pada nilai-nilai masyarakat dan kemajuan pengetahuan ilmiah.

Kelompok kerja masyarakat ini bertemu 16 kali selama delapan bulan. Para anggotanya sepakat bahwa ada sejumlah tataguna lahan yang memungkinkan di

Proses pengkajian- ulang yang sedang berlangsung mencakup penyebaran informasi oleh Gregory Crinum mengenai setiap perkembangan yang dapat berdampak pada rencana tambang. Kemudian, sekali setahun, anggota kelompok kerja masyarakat dan anggota serta kelompok-kelompok masyarakat lain yang diundang akan bertemu untuk

## **2.2.2 Pengelolaan warisan budaya Penduduk Asli**

Sekitar 60 persen dari operasi penambangan bertetangga dengan masyarakat Penduduk Asli. Di banyak operasi, muncul masalah pengelolaan warisan budaya Penduduk Asli. Umumnya, perusahaan mencari bantuan eksternal untuk mengelola masalah warisan budaya Penduduk Asli, karena mengakui perlunya ketrampilan khusus agar dapat menangani masalah ini dengan baik. Sistem dan standar pengelolaan yang baik memerlukan konsultasi dan pengkajian dengan kalangan Penduduk Asli yang relevan sejak awal, untuk mengetahui apakah aktivitas yang diusulkan dapat berdampak pada nilai-nilai warisan budaya, dan bersama-sama dengan Penduduk Asli mencari tahu cara terbaik untuk merencanakan dan melaksanakan aktivitas tersebut agar dapat menghindari atau meminimalkan dampaknya.

Satu masalah penting adalah mengidentifikasi para Pemilik Tradisional dan kalangan Penduduk Asli lainnya yang memiliki hak dan kepentingan pada lokasi tersebut. Pengetahuan akan lokasi mungkin tergantung pada pembatasan-pembatasan budaya. Penduduk asli cenderung menjelaskan nilai penting sebuah tempat bersejarah secara umum, dan menghindari pembicaraan mengenai tempat-tempat dan nilai warisan budaya karena sensitivitas budaya yang dikandungnya.

Pemantauan dan pengelolaan dampak operasi penambangan pada lingkungan setempat dan restorasi area yang terkena dampak aktivitas penambangan merupakan masalah yang besar bagi masyarakat Penduduk Asli dan pemangku kepentingan lain. Dalam banyak hal, satu-satunya pilihan yang dapat diterima kalangan Penduduk Asli adalah perlindungan total terhadap lokasi tertentu. Ekspektasi masyarakat Penduduk Asli terhadap proses rehabilitasi dapat mencakup restorasi terhadap lokasi penting yang telah disingkirkan atau diubah selama penambangan. Persyaratan dalam manajemen Penduduk Asli ini dapat mencakup hal-hal seperti program penyelamatan lokasi, penyingkiran dan/atau penyimpanan materi-materi budaya yang terkena dampak aktivitas penambangan; serta pengembalian materi yang telah disingkirkan dari area tersebut untuk dianalisis.

Selain nilai pentingnya dalam pengelolaan lokasi yang memiliki warisan budaya, pengetahuan Penduduk Asli dapat memberi bantuan sangat berharga dalam memahami lingkungan lahan sebelum penambangan dan memahami interaksi ekologi di antara masing-masing spesies dengan ekosistem, yang dapat sangat penting untuk keberhasilan pembuatan ekosistem asli di dalam program rehabilitasi.

## **2.2.3 Pengelolaan warisan budaya untuk kalangan bukan Penduduk Asli**

Selain penting untuk mencakup pertimbangan spesifik terhadap warisan budaya Penduduk Asli, lokasi tambang juga berpotensi mencakup lokasi yang memiliki nilai penting bagi sejarah kalangan bukan Penduduk Asli, khususnya di daerah yang memiliki sejarah panjang mengenai pemukiman dan pertambangan.

Meskipun beberapa lokasi ini mungkin sudah tercakup dalam daftar resmi oleh badan yang berwenang, operasi penambangan jangan hanya mengandalkan pada badan berwenang untuk mengidentifikasi semua nilai bersejarah yang relevan dari suatu lokasi.

Satu fokus dari keterlibatan masyarakat haruslah mengidentifikasi setiap area yang memiliki nilai penting bagi masyarakat. Terutama dalam masalah kepercayaan dan nilai-nilai sosial lainnya, di mana pengakuan resmi dan perlindungan terhadap nilai-nilai ini sangat berbeda-beda di antara berbagai wilayah hukum (jurisdictions).

## 2.3 Pembangunan berkelanjutan: kasus bisnis

Kasus bisnis untuk melaksanakan rehabilitasi tambang dalam kerangka kerja pembangunan yang berkelanjutan dengan cara yang terencana, terstruktur dan sistematis, dan diterapkan secara progresif di sepanjang siklus proyek keseluruhan mencakup:

### **Pengelolaan tambang yang lebih baik**


- peluang untuk mengoptimalkan perencanaan dan operasi penambangan selama usia aktif tambang yaitu ekstraksi Sumberdaya dan tataguna lahan pasca tambang yang efisien (misalnya mengurangi tumpang tindihnya pekerjaan penanganan limbah dan tanah lapisan atas, serta mengurangi area lahan yang terganggu)
- identifikasi daerah dengan resiko tinggi sebagai prioritas dalam riset dan remediasi yang sedang berjalan
- rehabilitasi secara progresif memberi peluang untuk pengujian dan perbaikan teknik-teknik yang digunakan
- risiko yang lebih kecil atas ketidakpatuhan terhadap peraturan.

### **Meningkatkan keterlibatan pemangku kepentingan dalam perencanaan dan pengambilan keputusan**

- mengembangkan strategi dan program untuk menangani dampak pertambangan dengan informasi yang lebih baik, idealnya sebagai bagian dari metode pengembangan masyarakat sejak awal usia tambang
- meningkatkan penerimaan masyarakat untuk proposal penambangan di masa depan
- meningkatkan citra dan reputasi di mata publik.

### **Pengurangan risiko dan pertanggungjawaban hukum**

- memastikan tersedianya dana dan materi untuk rehabilitasi tambang melalui estimasi biaya rehabilitasi tambang yang lebih akurat
- mengurangi pertanggungjawaban hukum yang berkaitan dengan keamanan publik serta bahaya dan risiko terhadap lingkungan.



## 3.0 PERENCANAAN

### 3.1 Konsultasi selama perencanaan awal tambang

Fokus selama perencanaan awal rehabilitasi tambang adalah mengidentifikasi kelompok-kelompok dan organisasi dalam masyarakat yang sudah terlibat dalam aktivitas seperti ini. Kelompok-kelompok seperti Landcare, Greening Australia, kelompok tani dan penjaga lahan tradisional memiliki pengetahuan lokal yang penting dan dapat membantu meminimalkan dampak penambangan dan memperbesar potensi keberhasilan rehabilitasi.

Sebagian besar kegiatan dalam tahap awal perencanaan rehabilitasi tambang ini adalah mengetahui pengetahuan apa saja yang belum dimiliki, dan mengidentifikasi program-program riset atau uji coba yang bersifat spesifik terhadap lokasi, dalam rangka mendapatkan informasi yang penting. Konsultasi dengan kelompok pemangku kepentingan utama di tahap ini dapat menghasilkan program riset terarah dan uji coba yang lebih baik, dan meningkatkan potensi transfer teknologi ke proyek-proyek masyarakat. Di area yang sudah mengalami pembukaan lahan yang ekstensif, misalnya di wilayah pertanian, konsultasi ini memungkinkan program rehabilitasi diintegrasikan ke proyek pengelolaan lahan tingkat regional yang lebih luas.

### 3.2 Persyaratan hukum

Setiap negara bagian dan teritori Australia memiliki persyaratannya sendiri dalam hal penanganan dan pengelolaan bahan limbah (bahan buangan) di lokasi penambangan. Perusahaan harus menghubungi badan berwenang yang terkait untuk membicarakan persyaratannya, dan apakah ada panduan yang juga harus dipertimbangkan.

### 3.3 Karakterisasi bahan

Baik bahan limbah dan bijih mineral yang akan diekskavasi menimbulkan peluang sekaligus risiko bagi rehabilitasi. Karakterisasi Tanah lapisan atas (topsoil) dan batuan penutup (overburden) hendaknya dimulai sedini tahap eksplorasi, dan terus dilakukan sampai ke tahap pra-kelayakan tambang (pre-feasibility) dan tahap kelayakan tambang sebagai dasar untuk perencanaan tambang. Karakterisasi bahan sejak dini memungkinkan perusahaan membuat rencana untuk menghindari risiko potensial dan untuk mendapatkan manfaat maksimal dari bahan-bahan yang mungkin cocok untuk konstruksi infrastruktur lokasi atau untuk digunakan dalam rehabilitasi.

Karakterisasi bahan ini harus dilakukan untuk memastikan bahwa bahan-bahan itu tidak berpotensi menciptakan dampak negatif, atau berpotensi menghalangi keberhasilan revegetasi selama penambangan atau pada saat penutupan tambang. Persyaratan untuk melakukan karakterisasi ini terus berlanjut selama operasi penambangan, khususnya ketika kadar bijih tambang dan rencana penambangan berubah sebagai respon terhadap kondisi pasar yang berubah.

Struktur di lokasi tambang, misalnya landasan bagi penempatan bahan yang baru ditambang atau run-of-mine (ROM), jalan angkut atau area kerja bongkar muat kontraktor hanya boleh dibangun dengan menggunakan bahan-bahan yang tidak membahayakan. Sedapat mungkin, struktur-struktur ini harus ditempatkan di area yang sudah dibuka, untuk meminimalkan

jumlah rehabilitasi yang diperlukan.

Untuk stabilitasi dan rehabilitasi suatu lahan-bentukan (landform), karakterisasi terhadap bahan yang terkandung di sana akan memungkinkan pola penempatan selektif selama konstruksi lahan-bentukan, untuk meminimalkan risiko erosi atau kegagalan revegetasi. Selain itu, karakterisasi bahan juga menjadikan pekerjaan perbaikan, perencanaan atau penyelidikan lebih tepat waktu dan hemat biaya.

Karakterisasi bahan biasanya mencakup analisis mineralogi, fisik, kimia dan biologi. Nilai uji laboratorium yang digunakan dalam karakterisasi bahan di lokasi penambangan sangat tergantung pada rancangan protokol pengambilan contoh yang efektif. Dollhopf (2000), De Gruijter (2002) serta Yates dan Warrick (2002) memberikan panduan yang berguna untuk aktivitas ini.

Uji laboratorium sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi batasan-batasan utama dalam stabilitas tanah atau terhadap pertumbuhan tanaman. Untuk jenis vegetasi tertentu, mungkin diperlukan uji coba dalam rumah kaca (Asher et al., 2002) dan di lokasi penambangan untuk menilai aspek-aspek kemungkinan tingkat keberhasilan spesies tumbuhan yang berlainan di tanah pasca-tambang (Bell, 2002).

### **Analisis mineralogi**

Analisis mineralogi adalah bantuan yang sangat berguna dalam melakukan karakterisasi overburden, batuan sisa/buangan tambang (waste rock), bahan heap leach yang telah diproses, dan tailing (ampas) karena dapat mengidentifikasi adanya sulfida pembentuk asam beserta sifatnya. Zat ini dapat berpengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman, baik secara langsung melalui kandungan pH yang rendah, atau secara tidak langsung melalui pembentukan kadar logam larut yang berlebihan.

Pembahasan komprehensif mengenai bentuk-bentuk uji yang cocok untuk menilai batasan-batasan mineralogi terhadap bahan tanah di lokasi tambang untuk mendukung pertumbuhan tanaman tersedia dalam buku Dixon dan Schulze (2002). Uji-uji yang cocok untuk menilai batasan-batasan geokimia pada tanah tambang dan limbah tambang sebagai medium pertumbuhan dijelaskan dalam buku Williams dan Schuman (1987), Hossner (1988) serta Sparks et al. (1996). MEND Manual Volume 2 (Tremblay et al, 2002) menjelaskan metode-metode yang dikembangkan di Kanada mengenai pengambilan contoh dan analisis geokimia terhadap bahan tanah di lokasi tambang.

### **Analisis fisik**

Uji fisik memungkinkan penilaian sifat-sifat yang penting untuk pertumbuhan tanaman, yaitu:

- kapasitas air-tersedia-tersedia tersedia yang memadai agar tumbuhan dapat bertahan dalam masa kemarau,
- drainase internal yang memadai agar tidak menghambat pertumbuhan akar akibat kurangnya pemasukan aerasi, dan
- impedansi mekanis yang tidak membatasi penetrasi akar.

Selain itu, uji fisik juga dapat memperkirakan kerentanan tanah dan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) terhadap erosi. Informasi ini sangat penting dalam membangun lahan-bentukan pasca-tambang yang stabil.

Pengukuran sifat-sifat fisik tanah yang spesifik antara lain mencakup:

- distribusi ukuran partikel
- plastisitas tanah dan tailing yang berbutiran halus

- kerapatan atau porositas
- kekuatan dan kompresibilitas
- kapasitas retensi air dan konduktivitas hidrolik, baik dalam kondisi jenuh maupun tak jenuh.

Kapasitas penyimpanan air suatu profil tanah biasanya didefinisikan sebagai kapasitas air-tersebut tersedia bagi tanaman atau *plant available water capacity* (PAWC) yang bukan hanya merupakan satu fungsi kapasitas penyimpanan air bahan tertentu, namun juga kedalaman akar yang disediakan. Drainase dari lapisan permukaan ke kedalaman juga merupakan satu fungsi dari PAWC, yang akan semakin besar jika nilai PAWC-nya rendah.

Tingkat PAWC yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman yang baik dan minimalisasi drainase air ke kedalaman merupakan fungsi curah hujan dan pola hujan. Namun secara potensial ada situasi di mana konduktivitas hidrolik lapisan permukaan yang rendah dapat membatasi masuknya air dan secara drastis mengurangi air yang tersedia bagi tumbuhan. Setiap pembuatan model neraca air harus mempertimbangkan dampak dari sifat-sifat tanah terhadap masuknya air, dan dampak dari pertumbuhan tanaman terhadap sifat-sifat tanah. Telah banyak dilaporkan terjadinya peningkatan besar dalam laju infiltrasi sejalan dengan pertumbuhan tanaman (Silburn et al., 1992; Scanlan et al., 1996; Carroll et al., 2000).

Karakterisasi fisik terhadap bahan atau media di lokasi tambang umumnya didasarkan pada pengujian laboratorium ditambah dengan pengujian lapangan, agar dapat lebih baik mencerminkan kondisi dan skala lapangan. Contoh-contoh dari pengujian lapangan mencakup pengayakan ukuran besar atas batuan buangan kasar, perkiraan distribusi ukuran partikel pada batuan buangan kasar dengan analisis komputer terhadap foto digital beresolusi tinggi, uji kerapatan lapang (termasuk pengujian penggantian air berskala luas untuk batuan buangan kasar) dan uji permeabilitas lapang atas batuan buangan, *tailing* dan bahan-bahan penutup (*cover materials*). Bentuk-bentuk pengujian yang sesuai untuk menilai keterbatasan fisik bahan-bahan di lokasi tambang didalam mendukung pertumbuhan tanaman dijabarkan dalam buku karya Williams dan Schuman (1987), Hossner (1988), Sobek et al. (2000) dan Dane dan Topp (2002). Bentuk-bentuk pengujian yang sesuai untuk menilai keterbatasan fisik pada bahan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman di lokasi tambang dijabarkan dalam buku karya Williams dan Schuman (1987), Hossner (1988), Sobek et al. (2000) dan Dane dan Topp (2002).

### **Erodibilitas (erodibility)**

Secara luas, istilah erodibilitas (erodibility) merupakan kerentanan bahan tertentu terhadap erosi. Karena begitu beragamnya sifat keterkikisan bahan-bahan yang digali selama penambangan, penggunaan rancangan profil lereng (slope) secara generik sukar untuk berhasil secara konsisten.

Erodibilitas ini dapat diperkirakan (dengan akurasi yang terbatas) berdasarkan sifat-sifat bahan atau dapat diukur dengan lebih akurat menggunakan eksperimen laboratorium dan di lapangan (Loch, 2000a). Pengukuran ini harus mempertimbangkan contoh-contoh karakteristik terhadap bahan yang diselidiki, dan memastikan bahwa bahan tersebut (saat diuji) berada dalam kondisi yang konsisten dengan kemungkinan kondisi tanah di jangka panjang. Pengujian erodibilitas dapat mencakup penelitian di laboratorium atau di lapangan dengan menggunakan aliran air permukaan dan hujan simulasi, atau dapat menggunakan petak-petak lahan percobaan dibawah hujan alami.

Sifat-sifat tanah yang dapat mempengaruhi erodibilitas secara langsung mencakup:

- laju infiltrasi, yang dipengaruhi oleh struktur tanah dan kestabilan struktur, vegetasi, dan oleh fauna tanah
- kohesi tanah, yang dapat mempengaruhi tingkat pelepasan sedimen
- sifat-sifat sedimen (ukuran dan kepadatan) yang mempengaruhi tingkat pengangkutan sedimen.

Bahan-bahan berbatu (rocky materials) dapat dianggap sebagai komponen intrinsik dalam bahan, atau sebagai penutup mulsa (mulch cover).

### **Analisis kimia**

Satu pertimbangan penting dalam hal sifat-sifat kimia limbah tambang adalah potensi pembentukan asam dari oksidasi sulfida, dan topik tersebut telah dibahas secara terperinci dalam buku-buku pedoman yang terkait.

Satu pengujian kimia yang penting untuk tanah dan limbah mencakup sifat-sifat yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (pH, salinitas, dan kandungan hara), kestabilan bahan, serta pengujian terhadap elemen-elemen yang mungkin menyebabkan masalah dengan kualitas air.

Meskipun telah dilakukan serangkaian analisis bahan yang tepat untuk membantu perencanaan tambang dalam operasi dan penutupan tambang, keberhasilan karakterisasinya bergantung pada penggunaan protokol pengambilan contoh yang sangat seksama, untuk memastikan telah mendapat keberagaman bahan yang akurat untuk dinilai.

### **Nilai pH yang ekstrim**

Agar dapat melakukan rehabilitasi yang berhasil baik, bahan limbah atau bahan penutup medium pertumbuhan harus diuji agar memastikan bahwa pH bahan tersebut berada dalam rentang 5,5 sampai 8,5 yang umumnya dianggap baik untuk pertumbuhan tanaman, atau mirip dengan tingkat pH tanah permukaan di lokasi. Diakui ada daerah-daerah di mana vegetasi aslinya telah beradaptasi dengan nilai pH di luar rentang 'normal'-nya.

Aspek kimia paling sederhana untuk mengukur potensi medium pertumbuhan adalah pH dan kadar garam (salinitas). Meskipun tersedia analisis tanah yang cepat dan relatif murah, nilai pH dan kadar garam yang ekstrim tetap merupakan penyebab paling umum buruknya pertumbuhan tanaman pada area rehabilitasi.

### **Kadar garam (salinitas)**

Naiknya garam ke lapisan atas tanah atau material penutup secara kapiler serta infiltrasi garam (*saline seepage*) dapat terjadi jika bahan-bahan yang mengandung garam digali dan ditaruh pada lahan bentukan di atas permukaan (*above-ground landform*). Kadar garam yang tinggi dapat menghalangi perkecambahan benih, memperlambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi keanekaragaman ekosistem. Kenaikan garam karena efek kapiler dapat diminimalkan dengan cara:

- menggunakan tanah lapisan atas (tanah pucuk) yang berpasir, karena konduktivitas hidrolik tak jenuhnya lebih rendah daripada tanah-tanah liat
- mencampur batuan dengan tanah lapisan atas untuk meningkatkan pelindian (leaching)
- meletakkan tanah lapisan atas dengan ketebalan lebih dari 500 milimeter.

### **Sodisitas dan potensi pembentukan terowongan**

Bahan-bahan yang sodik (*sodic materials*) umumnya didefinisikan sebagai bahan-bahan yang kapasitas tukar kationnya didominasi oleh lebih dari enam persen sodium. Sodisitas perlu



diperhatikan karena bahan-bahan yang sodik dapat mengalami dispersi liat bila dibasahi. Hal itu akan menyebabkan turun drastisnya laju permeabilitas dan drainase, terbentuknya lapisan keras permukaan (*hard-setting*) saat kering, dan berpotensi besar untuk terbentuknya erosi terowongan (*tunnel erosion*). Dispersi liat akan lebih banyak terjadi pada bahan-bahan yang kandungan liatnya lebih dari 10 persen. Tingkat dispersi yang terjadi juga dipengaruhi oleh kadar garam, yang cenderung menekan dispersi.

Pembentukan terowongan umum terlihat pada lahan bentukan (*landform*) dimana genangan air telah meluruhkan garamnya, memicu dispersi liat, dan sekaligus menyediakan air genangan yang mendorong proses pembentukan terowongan. Erosi terowongan juga dapat ditemukan di bahan-bahan berdebu yang halus, non-dispersif, dan protokol pengujian perlu mempertimbangkan seluruh potensi mekanisme pembentukan terowongan. Bahan-bahan yang sodik biasanya diberi gipsium (terkecuali bila tanah atau bahan tersebut sudah mengandung kadar gipsium yang tinggi). Kapur (*lime*) juga efektif jika bahan yang diberi perlakuan tersebut bersifat masam.

Sodisitas umumnya dinilai dengan menggunakan analisis kation yang dapat dipertukarkan, dan dengan kapasitas tukar kation (KTK). Untuk bahan-bahan yang salin, kehati-hatian diperlukan untuk membedakan antara kation yang mampu larut dan kation yang dapat dipertukarkan.

### **Unsur-unsur hara bagi tumbuhan**

Untuk mendapatkan pemahaman umum mengenai status unsur hara tanah, dapat dilakukan analisis terhadap unsur hara makro bagi tumbuhan (nitrogen, fosforus, kalium serta kalsium, magnesium dan sulfur), bersama dengan berbagai jenis unsur hara mikro lain. Namun demikian, penggunaan pupuk yang efektif memerlukan pemahaman yang mendalam tentang kondisi rehabilitasi yang spesifik.

Terlalu sederhana untuk menyatakan bahwa tumbuhan asli telah 'beradaptasi terhadap kondisi nutrisi yang rendah dan oleh karena itu tidak membutuhkan pupuk tambahan'. Keadaannya tidaklah selalu demikian; vegetasi asli dapat bereaksi sangat bagus terhadap hara tambahan jika tanah yang sebelumnya dikupas dan kemudian dikembalikan telah mengalami penurunan mutu. Respon terhadap nutrisi tertentu juga berbeda-beda, dan terkadang memberi peluang untuk mendukung pengembangan spesies tertentu dibandingkan dengan pesaingnya. Namun sebaliknya, tingkat nutrisi yang tinggi, atau tingkat elemen tertentu yang tinggi, dapat membantu pengembangan spesies gulma tertentu.

Cara penggunaan pupuk juga penting. Misalnya, menyebarkan nutrisi yang tidak dapat bergerak di permukaan area rehabilitasi mungkin tidak banyak mendapat respon karena akar tumbuhan jarang aktif di permukaan.

Karena pupuk cenderung digunakan satu kali saja - yaitu saat pembenihan - maka jumlah pupuk yang dipakai harus dapat memberi respon awal sekaligus tahan lama terhadap vegetasi yang sedang dikembangkan.

### **Analisis biologi**

Vegetasi lestari pada lahan pasca tambang, sebagai bagian dari suatu ekosistem yang berkelanjutan, mengharuskan komponen-komponen vegetasi di atas dan di bawah tanah berfungsi dalam parameter-parameter tertentu. Langkah pertama untuk melakukan revegetasi yang lestari adalah melaksanakan penilaian dari sisi biologi pada titik awal tanah pasca-tambang, termasuk lapisan atasnya (*topsoil*).

Faktor-faktor utama yang harus dipertimbangkan adalah:

- Biomassa atau aktivitas mikroba dari bahan - ini memberikan indikasi tingkat aktivitas



biologi residual dalam tanah dan dapat diperbandingkan dengan tanah lapisan atas di sekeliling tambang atau lokasi dengan kondisi pra-tambang (analogue) yang sesuai lainnya.

- Kandungan bahan organik memberi dasar aktivitas biologi sebelum dan selama pembaruan ekosistem. Selain itu juga berperan dalam hal retensi air dan pasokan hara.
- Benih sehat yang tersimpan dalam tanah lapisan atas - ini merupakan persyaratan penting jika sistem aslinya akan dipulihkan atau akan mengendalikan gulma.
- Pengujian di rumah kaca dapat menentukan kelayakan spesies yang diuji terhadap tanah tambang dan lebih akurat menilai defisiensi nutrisi dan potensi toksik daripada uji laboratorium saja.
- Pengikat nitrogen (baik yang simbiotik maupun hidup bebas) seringkali merupakan kunci dalam mendorong tahap-tahap awal dalam pengembangan ekosistem. Ini mungkin bersifat spesifik pada tanah tertentu, dan adanya organisme yang tepat dapat sangat penting bagi keberhasilan spesies tumbuhan tertentu.
- Jamur mikoriza memberikan mekanisme utama terhadap asupan hara bagi sebagian besar spesies tumbuhan asli Australia. Simbiosis ini tidak bersifat spesifik pada tanah tertentu seperti pengikat nitrogen, tapi sering penting dalam membentuk asupan hara bawah tanah yang stabil, memperkuat daya toleransi terhadap kemarau, dan membantu menekan patogen.
- Pada kasus tertentu, mungkin diperlukan penilaian khusus seperti kandungan bakteri yang melakukan metabolisme sulfur.

Faktor-faktor ini menentukan karakteristik biologi esensial pada tanah, khususnya tanah yang akan digunakan sebagai tanah lapisan atas dan di zona akar tumbuhan.

Berbagai faktor biologi lainnya juga patut dipertimbangkan, seperti 'para insinyur ekosistem' (umumnya invertebrata seperti *springtail* dan *collembola*-semacam kutu loncat, semut, rayap dan cacing tanah yang menguraikan zat organik dan memberi udara pada tanah) dan para polinator, yang mungkin memiliki peran penting dalam rekonstruksi ekosistem darat pada material-material tambang.

### 3.3.1 Pemisahan Tanah dan Penempatan yang Selektif

Karakterisasi yang komprehensif terhadap tanah, overburden dan limbah akan memberi dasar untuk pemisahan yang seksama dan penempatan yang selektif terhadap tanah, agar dapat membuat lapisan penutup vegetatif yang lestari dan mencegah kontaminasi pada Sumberdaya air, baik di permukaan maupun di bawah tanah.

Kecuali dalam keadaan tertentu, pembuatan ekosistem yang lestari setelah penambangan biasanya membutuhkan konservasi dan penempatan kembali tanah di atas area yang telah ditambang. Masalah-masalah yang harus ditangani secara sistematis antara lain:

- pemilihan horizon atau lapisan-lapisan tanah yang akan dikonservasikan;
- proses pengupasan lapisan tanah dan penempatannya;
- efek penimbunan (stockpiling) pada sifat-sifat tanah; dan
- kedalaman optimal tanah pengganti.

Pemisahan dan penempatan lapisan overburden yang selektif dilakukan berdasarkan dua alasan, yaitu;

- 1) untuk membenamkan bahan atau tanah yang bersifat buruk terhadap pertumbuhan tanaman, atau yang mungkin mengkontaminasi air permukaan atau air tanah; dan
- 2) untuk menyelamatkan bahan-bahan yang dapat membantu program rehabilitasi. Penumpukan overburden tertentu mungkin tidak baik karena sifat kadar garamnya, kandungan sodiumnya atau potensinya dalam menghasilkan asam melalui oksidasi sulfida.

Analisis mineralogi, fisik dan kimia terhadap sampel-sample hasil pemboran (*drill core*) dan kepingan (*chip sample*) di tahap awal pengembangan tambang memungkinkan batuan buangan (sisa) di sekeliling bijih dibuatkan model bloknnya (*block modelled*) dengan cara yang sama seperti terhadap bijih. Klasifikasi overburden, dalam hal faktor-faktor seperti kapasitas pembentukan asam, kerentanan terhadap erosi, serta pembatasannya untuk mendukung pertumbuhan tanaman, memberi dasar untuk melakukan pemisahan bahan yang efektif selama konstruksi tempat penimbunan batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*).

Jika *overburden* sebelum penambangan telah mengandung bahan-bahan sulfida yang dapat menghasilkan drainase asam, maka zona permukaan yang telah melapuk (teroksidasi) merupakan sumber yang berharga, dan perlu berhati-hati untuk memastikan bahan ini akhirnya tidak tertimbun oleh batuan sulfida di akhir operasi penambangan.

Personil yang berpengalaman harus terlibat dalam klasifikasi berbagai jenis batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*), dan dalam mengawasi pengambilan dan penempatannya selama konstruksi tempat penimbunan batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*). Kegagalan dalam menjaga kontrol kualitas dalam tahap operasi penambangan ini dapat membahayakan perlindungan lingkungan, baik saat operasi dan saat penutupan tambang kelak.

Pembuatan vegetasi yang lestari pada tailing mungkin harus menutup tailing tersebut dengan tanah atau batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*) yang tidak berbahaya (*benign*). Dalam situasi tertentu, pemisahan tailing dalam hal ukuran partikel dan/atau mineralogi dalam mesin proses metalurgi mungkin dapat digunakan di tahap endapan berikutnya, untuk menghasilkan bahan tidak berbahaya yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman.

### 3.3.2 Pengalokasian dan jadwal untuk bahan

Perencanaan tambang penting untuk dilakukan, yaitu untuk menghitung volume bahan yang diperlukan untuk berbagai tujuan rehabilitasi, seperti bahan untuk membentuk horison 'B' di profil tanah penutup, medium pertumbuhan di permukaan yang akan ditaruh di atas horison 'B', dan bahan untuk mencungkup (*encapsulate*) limbah sulfida.

Pengalokasian bahan dan lokasi bahan kemudian dipadukan dengan rencana tambang untuk meminimalkan terjadinya tumpang tindih pekerjaan dan penumpukan (terutama jangka panjang) bahan-bahan yang bermanfaat ini. Pengalokasian dan jadwal bahan memastikan adanya bahan yang tepat pada saat diperlukan dalam proses rehabilitasi.

### 3.4 Penilaian lokasi

Di masa lalu, rancangan yang digunakan untuk pekerjaan rehabilitasi cenderung relatif tetap, menerapkan rancangan lahan-bentukan (*landform*) yang spesifik sedangkan praktek kerja konstruksi nyaris tidak memandang lokasi ataupun sifat bahan. Kini, semakin banyak yang berminat untuk mengembangkan rencana rehabilitasi yang sesuai untuk menangani dan menempatkan bahan yang ada secara benar, dengan menggunakan lingkungan yang masih ada, serta turut mempertimbangkan tujuan tataguna lahan final.

### 3.4.1 Tindakan perlindungan

#### Spesies langka dan terancam punah

Spesies hewan dan tumbuhan yang langka dan terancam punah dilindungi oleh perundang-undangan Australia, negara bagian dan teritori. Undang Undang Persemakmuran Australia yang berlaku adalah *Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act 1999* (UU Perlindungan Lingkungan dan Konservasi Keanekaragaman Hayati 1999).

Badan berwenang akan melakukan penilaian terhadap dampak dari setiap proposal penambangan sebelum memberikan persetujuan. Setiap potensi dampak negatif terhadap spesies langka dan terancam punah harus ditangani dan diredakan, sampai tingkat yang memuaskan badan berwenang tersebut.

#### Lokasi dengan nilai sejarah

Australia memiliki berbagai cara untuk melakukan identifikasi dan melindungi tempat-tempat penting dan bernilai sejarah. Keputusan untuk mengelola tempat-tempat bersejarah dilakukan berdasarkan peraturan di semua tingkatan pemerintah. Negara Bagian dan Teritori mengemban tanggung jawab utama untuk melindungi warisan sejarah budaya. Semua Negara Bagian dan Teritori mempunyai Undang Undang yang memberi perlindungan umum terhadap lokasi arkeologi Penduduk Asli. Sekarang ini, hukum Negara Bagian dan Teritori mempunyai definisi tentang warisan budaya Aborigin yang cukup berbeda. Beberapa peraturan, termasuk Persemakmuran, melindungi area-area dan lokasi yang penting sehubungan dengan tradisi Aborigin. Undang Undang dari yurisdiksi yang lain mempunyai definisi yang berfokus pada 'relik' atau lokasi arkeologi dan tidak memberi bobot penting pada nilai budaya Aborigin.

*Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999* (EPBC Act/UU Perlindungan Lingkungan dan Konservasi Keanekaragaman Hayati 1999) merupakan Undang Undang warisan sejarah nasional utama bagi Pemerintah Australia. EPBC Act ini menekankan pengelolaan dan perlindungan terhadap tempat-tempat bersejarah Australia. Setiap tindakan yang kemungkinan akan berdampak pada tempat yang memiliki nilai sejarah dunia atau tempat bersejarah nasional harus terlebih dahulu diajukan kepada Menteri Lingkungan Persemakmuran untuk dipertimbangkan lebih lanjut.

*Aboriginal and Torres Strait Islander Heritage Protection Act 1984* (ATSIHP Act atau UU Perlindungan Warisan Sejarah Aborigin dan Torres Strait Islander) merupakan sebuah Undang Undang Persemakmuran yang memberi pemeliharaan dan perlindungan dari perusakan atau penodaan terhadap area-area dan benda-benda di Australia dan di perairan Australia yang memiliki nilai penting terhadap kaum Aborigin dan sesuai dengan tradisi Aborigin. Undang Undang Persemakmuran ini dimaksudkan untuk mencakup situasi di mana peraturan dari Negara Bagian dan Teritori tidak memberi perlindungan yang efektif kepada suatu area atau benda yang sedang terancam. Perlindungan tidak akan diberikan melalui ATSIHP Act jika hukum di Negara Bagian atau Teritori sudah dianggap efektif.

Jika suatu pembangunan mungkin berdampak pada nilai-nilai, tempat atau lokasi Penduduk Asli, maka pengembangannya diharuskan mendapat persetujuan sesuai peraturan Negara Bagian/Teritori, dan dalam keadaan tertentu harus sesuai dengan Undang Undang Persemakmuran. Konsultasi dengan Penduduk Asli sejak dini dan dengan cara yang baik secara budaya merupakan elemen penting dalam pengkajian dan pengelolaan dampak terhadap nilai-nilai bersejarah Penduduk Asli.

### 3.4.2 Iklim

Iklim mempunyai dampak sangat besar terhadap kestabilan alam dan rehabilitasi lahan. Evaluasi terhadap iklim lokasi penting untuk memastikan bahwa:

- sasaran rehabilitasi dan tataguna lahan final adalah realistis
- spesies tumbuhan yang digunakan adalah cocok
- profil tanah yang dikembangkan cocok untuk pertumbuhan tanaman
- lahan-lahan bentukannya dirancang akan stabil dalam kondisi-kondisi yang ada selama ini
- sistem penutup lahan telah dirancang dengan baik.

Data iklim cenderung membuat rata-rata dari kondisi cuaca ekstrim. Oleh karena itu, perencanaan harus mempertimbangkan tidak hanya kondisi rata-rata jangka panjang, tapi juga kemarau, angin dan hujan yang ekstrim di jangka pendek.

Hujan musiman dapat berdampak besar terhadap lahan-bentukan dan kinerja vegetasi. Jika ada pembagian musim kemarau dan hujan yang jelas, maka saat pelaksanaan rehabilitasi dapat sangat menentukan keberhasilannya.

### 3.4.3 Medium pertumbuhan

Medium pertumbuhan adalah bahan-bahan yang ditaruh di permukaan daerah atau lahan-bentukan yang direhabilitasi dengan harapan akan mendukung pertumbuhan tanaman. Bahan-bahan ini biasanya berupa Tanah lapisan atas (topsoil) yang diambil sebelum penambangan, meskipun tidak harus demikian. Pengaturan waktu, kondisi tanah, dan teknik penanganan semua mempengaruhi kemampuan mempertahankan struktur tanah dan untuk mengurangi kepadatan. Penting untuk sepenuhnya memahami keterbatasan yang ada terhadap pertumbuhan tanaman di suatu area, sebelum merencanakan pekerjaan rehabilitasi.

Dalam kasus-kasus tertentu, tanah lapisan atas mengandung banyak benih gulma atau spesies yang tidak dikehendaki. Untuk menghindari penyebaran spesies ini, mungkin perlu menangani vegetasi sebelum pengambilan tanah lapisan atas, atau menggunakan bahan-bahan dari tanah yang lebih dalam. Namun demikian, dalam banyak kasus, komponen biologi dalam tanah lapisan atas sangatlah penting. Di sini terkandung benih-benih yang dapat mencakup spesies yang sulit didapatkan atau dikedambahkan (dikedambahkan) serta berbagai mikro-organisme yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menstabilkan tanah. Dalam kasus seperti ini, sangatlah penting melakukan pengelolaan tanah yang baik untuk meminimalkan kerusakan terhadap mikro-organisme yang dikandungnya.

### 3.4.4 Neraca garam

Di banyak lokasi tambang, beberapa atau semua air yang tersedia mungkin mengandung garam, khususnya jika didaur-ulang. Satu konsekuensi dari penggunaan air adalah pergerakan garam di sekeliling lokasi, dan berpotensi menumpuk garam di berbagai lokasi. Misalnya, jika air asin ini digunakan untuk pengendalian debu di jalan, maka jalan tersebut akan mengakumulasi garam yang akan mempengaruhi rehabilitasinya kelak. Lokasi potensial untuk akumulasi garam adalah danau evaporasi dan jebakan sedimen.

Dengan demikian, pengaturan air di lokasi sangat terkait dengan pengaturan garam. Ini memastikan bahwa area-area yang berpotensi mengakumulasi garam dapat diidentifikasi dan telah memiliki rencana pengelolaan untuk meminimalkan masalah jangka panjang.

### 3.5 Merencanakan program rehabilitasi

Jika penilaian awal lokasi (dibahas dalam Bab 3.3) menunjukkan adanya risiko atau masalah besar untuk rehabilitasi, maka diperlukan riset untuk mengembangkan dan mengesahkan metode-metode (cara-cara pengendalian) untuk menangani risiko-risiko tersebut dan untuk memantau keberhasilan dari teknik yang digunakan. Namun, riset ini jangan menunda pengembangan rencana rehabilitasi yang komprehensif untuk lokasi tambang tersebut. Hasil dari riset dan uji coba rehabilitasi di lapangan akan digunakan untuk memodifikasi rencana di seluruh usia tambang, dalam proses penyempurnaan yang berkesinambungan.

#### 3.5.1 Rancangan lahan bentukan

Sangatlah penting untuk merancang lahan-bentukan (landform) dalam rangka meminimalkan biaya konstruksi dan meminimalkan biaya perawatan di jangka panjang. Secara tradisional, limbah ditaruh untuk memlahan bentukan sampai ke ketinggian yang diinginkan, sedangkan lereng luar akan dibentuk kemudian. Pem-buldozer-an lereng terluar timbunan yang memiliki sudut kritis dapat menyebabkan penanganan berulang kali bahan buangan, serta penghancuran dan perubahan batuan yang sebenarnya sudah pas. Sedapat mungkin, pembuangan batuan ini harus direncanakan dengan baik, agar dapat memenuhi persyaratan dalam penempatan selektif bahan, dan untuk meminimalkan biaya pembentukan final.

Juga penting untuk sepakat mengenai tujuan dari suatu lahan-bentukan tertentu sehubungan dengan tataguna lahan final, stabilitas, ekspektasi masyarakat dan manajemen jangka panjang. Rancangan lahan-bentukan yang terperinci jangan dibuat sampai tujuan-tujuan ini sudah dijabarkan dengan jelas.

##### Penempatan lahan-bentukan

Lahan-bentukan yang telah dikonstruksi harus ditempatkan sedemikian rupa agar tidak mengganggu penggalian di masa mendatang (termasuk perluasan lubang tambang (pit)), atau akses ke area bijih yang baru, dan seringkali ini memerlukan pengeboran sterilisasi untuk memastikan lokasi yang diusulkan.

Yang juga harus dipertimbangkan adalah jalur aliran air permukaan yang sudah ada di lokasi, untuk memastikan lahan-bentukan ini tidak mengalihkan atau merintangai sungai besar. Penempatan lahan-bentukan yang terlalu dekat ke batas lahan penambangan dapat menciptakan masalah terhadap pengolahan sedimen dan pengendalian debu, dan dapat membatasi pilihan pengolahan di masa depan. Dampak terhadap pola pergerakan fauna dan akses ke titik-titik dimana terdapat air juga harus dihindari. Dalam beberapa kasus, memungkinkan untuk memadukan lahan-bentukan buatan ini ke dalam bentang alam (landscape) keseluruhan, dengan demikian meminimalkan efek visual dan dapat mengatasi potensi kekuatiran dari masyarakat.

##### Ketinggian/jejak kaki

Luasan lahan yang dibuka/diganggu atau footprint (tapak) oleh konstruksi bentukan lahan harus diminimalkan. Namun demikian, upaya meminimalkan jejak kaki ini dapat menyebabkan pembangunan lahan-bentukan yang tinggi dan curam, sehingga stabilitasnya kurang. Selain itu, lahan-bentukan yang tinggi dan curam mungkin tidak terpadu baik dengan lahan-bentukan alami di sekitarnya. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi tinggi lahan-bentukan yang dapat dikonstruksi dengan baik (yaitu menutup limbah reaktif tanpa ada risiko erosi lanjutan) sehingga dapat menghindari atau meminimalkan pemeliharaan berjangka panjang.

Tinggi yang stabil akan tergantung pada:

- potensi erosi (erosivitas) dari iklim
- erodibilitas dari bahan permukaan, termasuk batuan sisa, bahan buangan dan medium pertumbuhan
- ketinggian dan kemiringan dari lereng yang dibentuk
- tutupan vegetasi yang akan terbentuk
- bentuk lereng terluar yang dibuat (linier, cekung, cembung) dan bagaimana cara pembuatannya.

Jika tinggi stabil yang diidentifikasi ternyata lebih rendah daripada tinggi yang diinginkan atau dianggap ekonomis, maka dapat selidiki pilihan-pilihan stabilisasi lahan-bentukan lanjutan, misalnya menaruh benteng batu penahan (rip-rap) di lereng luar.

### **Saluran air**

Jika lahan bentukan (landform) tersebut mengandung bahan-bahan yang menguatirkan (berpotensi mengalirkan asam atau membawa beberapa bahan pencemar), maka sangat disarankan untuk membuang limpasan (run off) dari bagian atas lahan bentukan daripada menahannya namun berpotensi meningkatkan drainase air ke dalam tanah. Demikian halnya, dapat dipertimbangkan untuk menggunakan spesies pohon yang berakar dalam untuk meminimalkan infiltrasi atau resapan dalam, jika lapisan medium pertumbuhan di permukaan memiliki kedalaman yang memadai. Jika harus melakukan enkapsulasi (pencungkupan timbunan), maka rancangan tempat pembuangan atau timbunan limbah harus mempertimbangkan dua hal berikut: mengendalikan drainase dalam (yang dapat meningkatkan potensi infiltrasi yang tidak diinginkan) dan meminimalkan erosi (yang berpotensi memaparkan bahan yang dicungkupi tersebut).

Pembuangan limpasan air (run-off) dari bagian atas tempat timbunan limbah mengandung risiko yang cukup besar. Dalam banyak situasi, limpasan air dari bagian atas lahan-bentukan begitu terkonsentrasi sehingga diperlukan jalur aliran yang stabil agar dapat membawa air ke tingkat permukaan tanah. Di sini juga diperlukan titik pengendalian pembuangan aliran. Biasanya digunakan saluran atau parit dari batu, tapi tingkat kegagalan struktur jenis ini sangat tinggi. Jika tingkat penutupan vegetasi (terutama rumput) tinggi, maka memungkinkan untuk membuat limpasan air dari bagian atas lahan-lahan bentukan bergerak secara merata dan lembut ke lereng terluar dinding lahan bentukan lalu bergerak ke tingkat permukaan tanah tanpa menimbulkan kerusakan. Dalam situasi ini tingkat tutupan (cover) vegetasi yang tinggi dengan permukaan menjadi faktor yang sangat penting. Namun demikian, pembuangan limpasan air ini juga akan mengurangi air yang tersedia untuk mempertahankan vegetasi semacam itu, khususnya dalam iklim kering dan musiman.

Jika limpasan air ditahan di bagian atas tempat timbunan limbah atau di fasilitas penyimpanan tailing, maka harus dipertimbangkan adanya potensi pembentukan genangan yang berjangka waktu lama, atau kerusakan terhadap tumbuhan. Pembentukan genangan di atas lahan-bentukan ini juga berpotensi menyebabkan penurunan pada bahan-bahan yang tertimbun secara longgar, sehingga menciptakan lubang cekungan. Oleh karena itu, kedalaman dan durasi pembentukan genangan di titik lahan-bentukan manapun harus diminimalkan. Ini dapat dilakukan dengan menjaga bagian atas tingkat lahan-bentukan, memaksimalkan kekasaran permukaan, dan memasang pematang untuk membuat petak-petak kecil sebesar satu sampai tiga hektar. Pembuatan vegetasi untuk meningkatkan penggunaan air juga baik untuk dilakukan.

## Bentuk konstruksi

Konstruksi lahan bentukan sangat bervariasi, dan sering sangat ditentukan oleh metode penggaliannya. Misalnya, timbunan-timbunan bahan buangan yang dibentuk oleh ekskavator besar (*dragline*) tidak banyak memberi pilihan untuk penempatan selektif, sedangkan pengoperasian truk dan sekop memungkinkan untuk melakukan penempatan selektif terhadap bahan yang bermasalah yang perlu dicungkup, atau memastikan bahwa bahan yang lebih stabil ditaruh di bagian luar dari lahan bentukan.

Tersedia berbagai piranti lunak (software) agar perusahaan dapat mengoptimalkan biaya konstruksi tempat penimbunan limbah, dengan memastikan jadwal pengangkutan dan penimbunan yang optimal. Namun demikian, sebagian besar piranti lunak ini memiliki asumsi-asumsi bawaan (*inbuilt*) yang akan memberi dampak pada hasil perhitungannya, sehingga harus jelas dipahami agar memperoleh keluaran yang direncanakan.

## Profil

Lereng terluar timbunan tambang secara tradisional dikonstruksikan secara linier (lurus) dengan dipasang tanggul-tanggul (*berms*) pada interval vertikal tertentu, untuk mencegah air limpasan. Tanggul ini dapat dimaksudkan untuk menahan air atau dirancang untuk mengalirkan limpasan ke saluran pembuangan air dari bebatuan (*rock drains*).

Secara umum, erosi pada lahan bentukan yang dibangun di lokasi tambang didominasi oleh erosi parit/galur, sebagai konsekuensi langsung dari pemusatan limpasan di tanggul dan pelepasan aliran-aliran air yang terpusat tersebut ke lereng terluar setelah tanggulnya jebol. Penyebab jebolnya tanggul antara lain konstruksi yang tidak akurat, erosi terowongan (buluh) dan peluberan karena endapan sedimen. Jika tingkat erosinya tetap besar (biasanya terjadi di daerah kering di mana lapisan penutup vegetasi di permukaan terlalu rendah untuk bisa mengendalikan erosi) maka profil lereng terluar yang memiliki tanggul ini memerlukan perawatan teratur (penyingkiran endapan sedimen) sepanjang erosi masih berlangsung, karena dapat dipenuhi oleh sedimen dan meluberkan airnya yang menimbulkan erosi parit.

Atas alasan ini, beberapa lokasi menggunakan tanggul atau bentuk gundukan tanah di sepanjang lereng selama rehabilitasi awal, kemudian membongkar tanggul tersebut setelah vegetasi terbentuk dan setelah dapat menstabilkan lereng.

Ada pula lokasi lain yang menggunakan batuan ke permukaan lereng batter luar untuk mengurangi potensi erosi dan memungkinkan mereka membangun lereng yang relatif panjang dan tinggi tanpa tanggul. Pilihan lain adalah membuat profil lereng yang cekung (*concave*) untuk mengurangi potensi erosi; biasanya dengan faktor kecekungan dua atau tiga.

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan pertimbangan penting dalam rehabilitasi lahan-lahan bentukan di lokasi tambang. Kekasaran cenderung menjebak air dan benih, dan diakui umum bahwa permukaan yang kasar menghasilkan vegetasi yang lebih baik daripada permukaan yang halus. Namun demikian, pembentukan kekasaran permukaan berskala luas melalui pembuatan rip lines (jalur-jalur 'robekan') atau moonscaping (gundukan-gundukan) mungkin memberi manfaat di jangka pendek, tapi di jangka panjang dapat meningkatkan erosi dan ketidakstabilan lahan bentukan.

## Studi kasus: operasi tambang nikel Murrin Murrin, Western Australia

Proyek Nikel Kobalt Murrin Murrin (Murrin Murrin) terletak di timur laut wilayah pertambangan emas negara bagian Western Australia. Murrin Murrin yang dimiliki oleh Minara Resources Ltd (60%) dan Glencore International AG (40%), menambang bijih laterit dan memanfaatkan teknologi peluluhan asam bertekanan tinggi untuk mengambil nikel dan kobalt dari bijih tersebut. Konstruksi awal tempat penimbunan limbah mengikuti panduan standar, dengan ketinggian vertikal 10 meter untuk masing-masing lapisan timbunan, yang membentuk lereng terluar bersudut 15 sampai 20 derajat, dan dipisahkan oleh tanggul-tanggul penahan air selebar lima meter.

Kemudian diketahui bahwa konstruksi penimbunan limbah itu dapat disempurnakan untuk menghilangkan pembentukan erosi parit pada lereng terluar dari timbunan sebagai akibat dari:

- pembuangan air dari bagian atas timbunan limbah
- luberan dan pembentukan saluran di tanggul
- konsentrasi aliran air yang disebabkan perobekan (ripping) di irisan lereng, yang dilakukan sebagai bagian dari operasi rehabilitasi.

Lahan tersebut juga tidak memiliki bahan-bahan seperti batuan yang berkompeten atau limbah kasar yang dapat digunakan untuk menstabilkan lereng terluar timbunan buangan tambang.

Untuk mengembangkan metode baru terhadap konstruksi penimbunan limbah ini, Murrin Murrin menguji erodibilitas (erodibility) dari berbagai jenis limbah dan lapisan tanah atas, dengan menggunakan pengukuran di laboratorium dan di lapangan. Dengan menggunakan data tersebut dan data curah hujan dan iklim jangka panjang di lokasi, dipakailah simulasi komputer terhadap limpasan air dan erosi untuk membandingkan berbagai pilihan untuk lereng terluar sederetan timbunan. Kemudian dikembangkan profil lereng cekung yang memiliki risiko erosi relatif rendah, melalui penambahan sisa-sisa kayu dan kerikil laterit pada bagian-bagian lereng yang menunjukkan potensi erosi tertinggi menurut simulasi tersebut.

Jika memungkinkan untuk melakukan rehabilitasi tempat penimbunan limbah yang lengkap, maka rancangan rehabilitasi harus mencakup:

- pembuatan pematang untuk menahan limpasan air dari bagian atas timbunan
- pembuatan pematang dan penyodetan silang (cross-bunding and ripping) di puncak timbunan untuk meminimalkan potensi konsentrasi limpasan yang besar di setiap titik
- lereng terluar berbentuk cekung tanpa tanggul yang dapat memusatkan aliran atau memicu pembentukan galur/parit
- penempatan sisa-sisa kayu dan laterit secara strategis, untuk memberi perlindungan erosi tambahan di titik-titik yang memiliki potensi erosi terbesar
- karakterisasi bahan untuk mengembangkan rekomendasi pemberian pupuk dan bahan-bahan untuk perbaikan tanah.

Meskipun bahan sisa ini tidak sangat rentan terhadap erosi terowongan, selalu ada potensi pembentukan rongga buluh atau lubang cekungan di bagian atas timbunan. Dengan



meminimalkan konsentrasi limpasan di bagian atas timbunan dan dengan menjaga potensi genangan jauh dari bagian kepala batter, maka potensi lubang cekungan menembus ke lereng batter luar dapat dijaga tetap kecil.

Profil lereng cekung lebih mirip dengan lahan-bentukan yang alami, dan cenderung mengurangi erosi dengan faktor dua sampai tiga relatif terhadap lereng linier dengan gradien rata-rata yang sama. Lereng cekung ini harus dirancang berdasarkan iklim di lokasi dan sifat-sifat bahan yang ada di lokasi tersebut.

Di tahap ini (satu sampai dua tahun setelah konstruksi), batter timbunan limbah yang dibangun sesuai spesifikasi menunjukkan sedikit limpasan atau erosi bahkan setelah mengalami sekali curah hujan harian yang terbesar selama 10 tahun. Ini mengkonfirmasi bahwa proses rancangan yang relatif konservatif mampu melebihi estimasi limpasan air dan erosi potensial (seperti tujuannya). Seiring waktu, diperkirakan bahwa lereng batter akan menunjukkan sedikit erosi, tapi tingkat erosi di jangka panjang akan tetap rendah.

Metode ini menghilangkan mekanisme yang menyebabkan kegagalan pada timbunan limbah sebelumnya, dan diganti dengan sebuah proses perencanaan yang transparan berdasarkan pada prosedur ilmiah yang telah disepakati.



**Lereng cekung di operasi penambangan nikel Murrin Murrin tak lama setelah konstruksi**

## 3.5.2 Proses rehabilitasi

### Rehabilitasi progresif

Rehabilitasi progresif selama usia tambang akan membantu mengurangi tanggung jawab rehabilitasi keseluruhan, khususnya setelah pengakhiran tambang, yaitu saat tidak ada lagi penghasilan langsung yang dapat menutupi biaya. Sistem ini juga memberi peluang untuk menguji praktek rehabilitasi, dan untuk mengembangkan dan menyempurnakan metode rehabilitasi secara bertahap. Pemandangan visualnya juga lebih baik.

Untuk masing-masing lahan-bentukan, rehabilitasi progresif juga bermanfaat jika pembuatan vegetasinya dapat memberikan peningkatan besar terhadap kestabilan lereng batter luar. Dengan merehabilitasi panjang lereng yang relatif pendek di waktu yang bersamaan, maka memungkinkan untuk membangun sebuah lereng yang lebih panjang dan lebih stabil secara bertahap tanpa terkena kerusakan erosi, yang bisa terjadi jika lereng telah terbuat seluruhnya dan baru direhabilitasi pada saat yang bersamaan.

Penerapan rehabilitasi yang berhasil baik memberi kredibilitas kepada operator tambang, dan mendorong badan berwenang untuk memberi nilai tambah saat mengkaji jumlah jaminan rehabilitasi.

### Jenis/komunitas/benih/propagul vegetasi

Di Australia, merupakan praktek yang umum untuk menggunakan spesies tumbuhan asli yang bersumber di daerah setempat untuk rehabilitasi tambang. Jika memungkinkan, vegetasi yang dibuat di lahan rehabilitasi seringkali direncanakan agar mirip dengan jenis dan komunitas vegetasi yang sudah ada sebelum penambangan dimulai.

Juga penting bahwa sebanyak mungkin benih dan propagul lokal yang terkandung di dalam beberapa sentimeter paling atas di tanah tetap dipertahankan untuk program revegetasi kelak.

### Lubang dan pengalihan

Semua lubang yang dibuat untuk tambang bawah tanah, atau lubang yang terjadi di permukaan akibat penurunan atau ambruknya terowongan-terowongan tambang, wajib untuk diamankan - baik dengan pemberian pagar, penutupan area atau diisi kembali.

Semua lubang tambang (pit) terbuka wajib diamankan. Harus dipertimbangkan untuk membuat pematang besar di sekeliling lubang tambang (pit) (dan dipasang di luar areal yang dindingnya berpotensi runtuh) atau memberi pagar. Badan berwenang kemungkinan besar akan menetapkan standar minimum untuk jenis pekerjaan ini.

Di beberapa lokasi tambang galian terbuka, perencanaan tambang yang baik memungkinkan pengurukan balik (backfilling) lubang tambang (pit) dengan menggunakan bahan-bahan yang digali dari pit berikutnya, sesuai dengan program penambangannya.

Dalam penambangan sistem jalur atau strip mining (digunakan dalam industri pertambangan batu bara permukaan), lubang sebelumnya diuruk balik dengan bahan-bahan dari penggalian yang baru.

Merupakan suatu prosedur normal bagi air permukaan yang telah dialihkan untuk dikembalikan ke lokasi sebelumnya di akhir penambangan, begitu keadaannya memungkinkan.

## Studi kasus: tambang batu bara Mt Owen, Hunter Valley, NSW

Tambang Mt Owen merupakan satu tambang batu bara terbuka yang berlokasi di Hunter Valley, New South Wales. Mt Owen dimiliki oleh Xstrata Mt Owen (XMO), yang sahamnya 100 persen dimiliki oleh Xstrata Coal. Tambang ini dioperasikan oleh Thiess Pty Limited, berdasarkan kesepakatan kemitraan dengan XMO dan telah mendapat persetujuan untuk menghasilkan hingga 10 juta ton batu bara kasar (run-of-mine) per tahun untuk pasar ekspor sampai Desember 2025.

Mt Owen ditambang melalui area hutan Ravensworth State Forest (RSF). RSF dipandang sebagai suatu peninggalan yang sangat penting baik dalam skala lokal maupun regional, dan merupakan salah satu area peninggalan hutan kayu terbesar di daratan tengah Hunter Valley. Sejak tahun 1995, telah tercatat 145 spesies burung, 24 mamalia darat, 18 spesies kelelawar, 20 spesies reptil dan 15 amfibi di RSF atau lahan sekitarnya. Sembilan belas spesies fauna yang terancam punah sesuai daftar Undang Undang Konservasi Spesies yang Terancam Punah (Threatened Species Conservation Act 1995) NSW ditemukan dan tercatat di Mt Owen, termasuk katak hijau dan katak golden bell, tupai terbang, quoll berekor bintik, dan sejumlah spesies kelelawar dan burung hutan kayu. Ini memberi tantangan unik bagi Mt Owen, yaitu bagaimana cara mengimbangi dampak aktivitas penambangan terhadap komunitas flora dan fauna asli dan merehabilitasi area tambang kembali menjadi hutan asli dan komunitas hutan kayu.

Sebagai pengakuan atas pentingnya komunitas flora dan fauna di dalam area proyek, Mt Owen menerapkan praktek kerja yang inovatif untuk mengatasi dampak penambangan terhadap flora dan fauna asli ini, dan memberikan peningkatan besar terhadap nilai-nilai ekologi dari area proyek dalam jangka waktu menengah sampai panjang.

Program pengelolaan flora dan fauna Mt Owen mencakup rehabilitasi lokasi tambang dan komunitas vegetasi asli di sekitar, yaitu di dalam area penyangga (buffer) tambang. Program ini dipandu oleh sebuah rencana pengelolaan flora dan fauna yang komprehensif, dikembangkan oleh sebuah kelompok penasehat yang terdiri dari para perwakilan dari departemen pemerintah NSW, Hunter Environment Lobby dan Mt Owen. Tujuan utama dari rencana ini adalah memandu pengelolaan flora dan fauna, serta praktek rehabilitasi dan revegetasi di Mt Owen. Penerapan rencana program ini diawasi oleh kelompok penasehat tersebut.

Komponen-komponen utama dari program pengelolaan flora dan fauna Mt Owen mencakup:

- pembuatan dan pengelolaan area konservasi keanekaragaman hayati untuk mengimbangi dampak penambangan
- rehabilitasi progresif pada area-area terganggu menjadi hutan kayu asli
- penerapan teknik-teknik khusus pengelolaan flora dan fauna
- program pemantauan flora dan fauna yang komprehensif
- program riset reklamasi hutan asli yang berkesinambungan, bersama-sama dengan Centre for Sustainable Ecosystem Restoration dari University of Newcastle.

Digunakan langkah-langkah pengelolaan khusus di Mt Owen untuk meminimalkan dampak terhadap fauna asli selama proses pembukaan hutan dan untuk memberikan Sumberdaya untuk meningkatkan regenerasi vegetasi asli dan khas di dalam area rehabilitasi dan konservasi. Langkah-langkah ini antara lain:

- Pembukaan lahan dilakukan sedekat mungkin dengan penambangan di area yang dibuka.
- Pembukaan lahan sedapat mungkin dijadwalkan agar menghindari siklus berkembang biak dari spesies fauna yang terancam punah
- Dilakukan survei fauna sebelum mengeluarkan izin pembukaan lahan.
- Pohon-pohon habitat diidentifikasi dan ditandai sebelum ditebang. Pohon-pohon habitat yang telah diidentifikasi hanya ditebang setelah vegetasi sekitarnya telah dihilangkan dan telah diperiksa oleh konsultan fauna yang berpengalaman, untuk menentukan apakah ada spesies fauna asli di sana.
- Untuk memperbesar pembersihan habitat sarang dan tempat hinggap di siang hari bagi berbagai jenis fauna, kotak sarang/tempat hinggap yang dirancang untuk spesies target yang spesifik ditaruh pada ketinggian, aspek dan struktur yang cocok bagi spesies target di area rehabilitasi dan konservasi.
- Sisa-sisa galian tanah yang besar dan pohon mati yang masih berdiri dikumpulkan untuk sedapat mungkin didistribusikan kembali di area rehabilitasi dan area konservasi sekitarnya. Bahan tersisa lainnya akan digunakan dalam teknik mulsa dalam rehabilitasi.
- Untuk memaksimalkan penggunaan benih dan bahan pembiakan dari rumput, semak, pohon dan tumbuh-tumbuhan asli yang ada sekarang, benih sehat diambil sebelum pembukaan lahan, dan kemudian digunakan dalam program revegetasi di Mt Owen.
- Tanah lapisan atas atau tanah pucuk (topsoil) dikeruk setelah pembabatan vegetasi dan dicampur dengan vegetasi yang telah dimulsakan untuk digunakan kemudian dalam rehabilitasi dan proyek penanaman.
- Sedapat mungkin, waktu pengambilan tanah lapisan atas di hutan dikoordinasikan dengan operasi lubang tambang (pit) terbuka untuk memastikan pengerjaan dan penyimpanan yang seminimal mungkin. Lapisan tanah atas di hutan ini mengandung simpanan benih tumbuhan asli dan mikroflora tanah yang penting, yang dapat membantu pelestarian materi genetik lokal, dan pembentukan kembali campuran dan rentang spesies yang mirip dengan vegetasi aslinya di area rehabilitasi.
- Rehabilitasi di area terganggu dilakukan dengan menggunakan spesies endemik.
- Ternak peliharaan dikeluarkan dari area rehabilitasi dan konservasi.

Dikembangkan teknik rehabilitasi yang unik oleh Mt Owen melalui program pemantauan dan riset yang berkesinambungan. Area-area vegetasi yang tersisa di sekeliling area penambangan digunakan sebagai lokasi pengendalian, untuk diperbandingkan dengan area rehabilitasi. Informasi yang didapat dari pemantauan ini digunakan untuk memandu dan senantiasa memperbaiki upaya rehabilitasi di tambang.

Pemantauan dan riset juga dilakukan di lahan penyangga sekitar, untuk membantu restorasi sisa-sisa hutan di Ravensworth State Forest dan area konservasi keanekaragaman hayati lainnya. Area konservasi ini berada di dekat area rehabilitasi, dan akan menjadi sumber yang penting untuk mengambil tumbuhan dan hewan asli.

Strategi terpenting yang diusulkan untuk mengurangi kerugian komunitas vegetasi penting di wilayah itu sebagai akibat penambangan di Mt Owen adalah konservasi resmi komunitas hutan kayu, melalui strategi pengimbang keanekaragaman hayati atau Biodiversity Offset Strategy (BOS). BOS ini mencakup rehabilitasi dan pemulihan padang rumput dan sisa-sisa hutan kayu yang terisolasi di dekat area yang telah didevegetasi baru-baru ini, sehingga dapat memperkuat kesehatan RSF dan daerah sekitarnya. Dipadukan dengan area konservasi yang sudah ada di Mt Owen dan program rehabilitasi sepanjang usia tambang, BOS akan menghasilkan sebuah area hutan kayu asli sekitar lima kali lebih luas daripada komunitas hutan kayu asli yang ada sebelum penambangan.

Program pengelolaan flora dan fauna Mt Owen menyediakan perlindungan untuk membentuk komunitas hutan kayu di area rehabilitasi dan di lahan penyangga sekitarnya (juga dimiliki oleh tambang). Area konservasi di samping area rehabilitasi tambang juga diperluas dan ditingkatkan melalui intervensi proaktif dan restorasi pada sisa-sisa hutan kayu dan area padang rumput yang terpencar-pencar, untuk menyediakan komunitas vegetasi yang mirip dan peluang bagi gerakan flora dan fauna ke dalam area rehabilitasi. Tujuan jangka pendeknya adalah melestarikan flora dan fauna yang ada dalam area konservasi melalui pengelolaan yang efektif, sembari membangun area baru yang akan menyediakan sistem yang mampu berkelanjutan sendiri di jangka panjang. Tujuan jangka panjangnya adalah menyediakan suatu cagar konservasi flora dan fauna yang mampu berkelanjutan sendiri, dengan ukuran yang memadai untuk memberi keanekaragaman hayati yang diperlukan, sembari menyediakan kaitan koridor ke visi yang lebih luas, yaitu bentang alam (landscape) yang terintegrasi di Hunter Valley. Cagar ini akan membentuk sebuah area inti yang dapat saling dihubungkan dengan koridor-koridor ke petak-petak vegetasi lain di bentangan lembah dan di kaki lereng sampingnya.



**Pemantauan flora dan fauna dilakukan di area rehabilitasi dan lahan penyangga tambang sekitarnya.**

Sumber: Xstrata Coal



## 4.0 OPERASI

### 4.1 Konsultasi selama operasi penambangan

Fokus utama keterlibatan selama tahap operasional tambang haruslah melibatkan masyarakat dan pihak berwenang dalam pengembangan dan pengkajian rencana rehabilitasi, dan dalam membangun kapasitas masyarakat lokal untuk membantu dalam pekerjaan rehabilitasi (jika dapat dilakukan). Secara khusus, aktivitas seperti pengumpulan dan penyimpanan benih, produksi benih dari tempat pembenihan dan pengendalian spesies tumbuhan dan hewan yang invasif dapat memberikan momen berharga untuk keterlibatan masyarakat dan pengembangan usaha lokal.

Banyak spesies tumbuhan Australia yang sukar untuk dibiakkan dan memerlukan penanganan spesifik untuk memastikan perkecambahan yang memadai dan dapat bervariasi luas. Uji coba berskala kecil oleh kelompok-kelompok dan orang-orang lokal dapat membantu keberhasilan pengembangbiakan spesies yang sulit ini.

### 4.2 Karakterisasi Bahan

Bahan-bahan di lokasi pertambangan mencakup bijih, batuan sisa/buangan tambang (waste rock) (jinak dan reaktif), tailing (ampas), bahan lapisan penutup dan tanah. Seperti yang dijabarkan dalam bagian 3.3.1 buku pedoman ini, karakterisasi mineral di lokasi tambang harus diawali sejak dini dalam tahap eksplorasi proyek pertambangan, dan dilanjutkan di seluruh tahap operasional sebagai dasar dari perencanaan tambang jangka panjang.

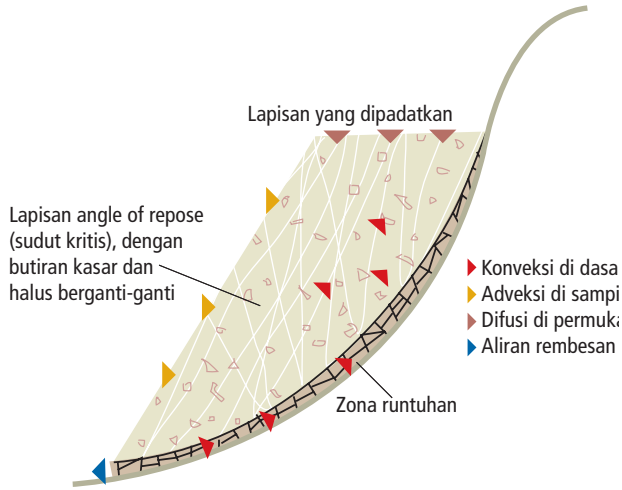
Membatasi dampak lingkungan pada lahan yang diganggu oleh penambangan dan pemrosesan mineral serta keberhasilan mencapai revegetasi lahan tambang yang berkelanjutan tergantung dari kecenderungan bahan permukaan buatan ini dalam mendukung pertumbuhan tanaman, yaitu dalam hal kapasitas retensi air, mineralogi dan geokimia, serta sifat-sifat mikrobiologinya.

### 4.3 Penanganan Bahan

Umumnya, strata bumi di atas lapisan air bawah tanah telah terpapar oleh oksigen atmosfer dan teroksidasi, sedangkan strata di bawah lapisan tersebut tidak mendapatkan akses ke oksigen serta rawan untuk teroksidasi jika terpapar atmosfer. Lingkaran (halo) bermineral yang menyelubungi bijih tambang biasanya mencakup sulfida-sulfida dari bawah lapisan air bawah tanah, yang akan teroksidasi menjadi sulfat jika terpapar, mengakibatkan turunnya pH dan terlarutnya logam-logam pada pH rendah.

Timbunan batuan sisa biasanya dibentuk menggunakan truk-truk, dengan sistem pembuangan rendah (paddock dumping) atau pembuangan dari ketinggian (end-dumping). Pembuangan tinggi menghasilkan 'reaktor oksidasi' (Gambar 1) dimana zona dasar batu luruhan terbentuk oleh gelindingan bebatuan sangat besar (large boulders) ke kaki permukaan timbunan yang terus bergerak maju serta selang-seling antara lapisan bebatuan yang berbutir kasar dan yang halus yang bersudut stabil/kritis atau angle of repose (sekitar 37° terhadap bidang horizontal) di atas zona dasar batu luruhan (rubble). Zona dasar batu luruhan ini menyediakan titik masuk untuk oksigen, yang akan mengalir ke atas ke lapisan bebatuan berbutir kasar dan berkemiringan stabil, lalu berdifusi ke lapisan bebatuan berbutir halus dan bersudut kritis yang memiliki luas permukaan yang jauh lebih reaktif per unit volume.

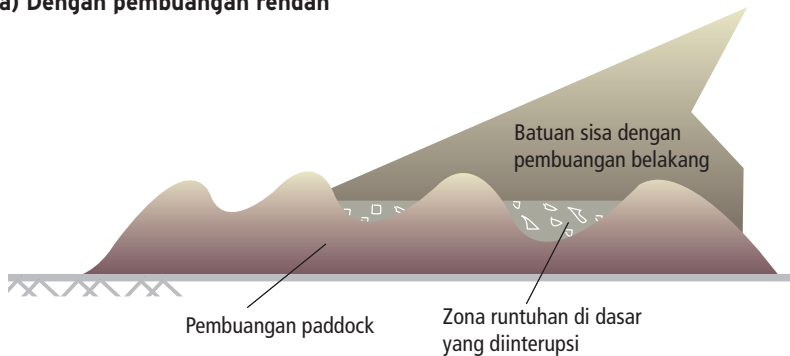
**Gambar 1: 'Reaktor oksidasi' dari batuan sisa dengan teknik pembuangan tinggi**



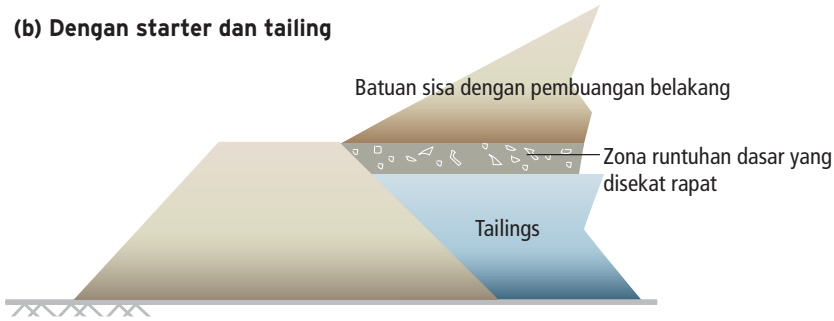
Untuk membatasi masuknya oksigen ke dalam tempat penimbunan, zona dasar batu luruhan dapat diselingi dengan pembuangan rendah pada dasar timbunan menjelang dilakukan pembuangan tinggi, pembuangan tinggi kedalam timbunan tailing atau dengan solusi rekayasa (masing-masing Gambar 2 (a), (b) dan (c)).

**Gambar 2: Cara-cara menginterupsi zona dasar batu luruhan pada timbunan batuan sisa yang terbentuk oleh pembuangan rendah**

**a) Dengan pembuangan rendah**



**(b) Dengan starter dan tailing**

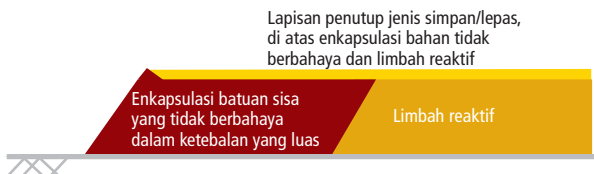


**(c) Solusi dengan rekayasa teknik**



Bahan-bahan teroksidasi dan tidak berbahaya yang pertama kali ditemukan dalam tambang terbuka (di kedalaman rendah di atas lapisan air), harus digunakan untuk menutup bahan sulfida yang akan digali kemudian (pada kedalaman di bawah lapisan air). Batuan sisa yang teroksidasi harus digunakan untuk membangun bagian enkapsulasi atau penutup di dasar dan di samping sejak awal, untuk membentengi batuan sisa yang reaktif (Gambar 3).

**Gambar 3: Enkapsulasi dengan bahan tidak berbahaya dari limbah reaktif**



Diperlukan karakterisasi dan penghitungan yang akurat terhadap aliran batuan sisa/buangan tambang (waste rock) untuk memastikan adanya batuan sisa/buangan tambang (waste rock) tidak berbahaya yang memadai untuk dapat menutup batuan sisa/buangan tambang (waste rock) reaktif berikutnya. Penghitungan dan urutan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang teroksidasi dan tidak berbahaya secara relatif terhadap batuan sisa/buangan tambang (waste rock) reaktif dapat diperkuat dengan mengembangkan tambang terbuka tersebut sebagai satu rangkaian penggalian, daripada sekali operasi yang mencakup footprint lubang tambang (pit) final.



Dengan cara yang sama, bijih teroksidasi yang digali dari atas lapisan air akan menghasilkan tailing yang teroksidasi dan umumnya aman, sedangkan bijih sulfida yang digali dari bawah lapisan air berpotensi menghasilkan tailing yang menghasilkan asam. Akan sukar untuk menghindari penumpukan tailing reaktif di atas tailing aman yang ditumpuk sebelumnya, kecuali tambang terbuka itu dikembangkan sebagai serangkaian penggalian. Harus diberikan perhatian khusus untuk memastikan bahan yang aman tersedia cukup untuk menutup tailing yang reaktif.

Timbunan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) dan penyimpanan tailing harus dirancang dan dibangun dengan sudut pandang rancangan lahan-bentukan final, yang sedapat mungkin harus menyerupai lahan-bentukan, tekstur permukaan dan pola vegetasi yang alami.

Untuk informasi lebih lanjut tentang pengelolaan tailing, lihatlah pada buku pedoman Pengelolaan Tailing dalam seri ini.

## **4.4 Neraca air di limbah tambang**

### **4.4.1 Batuan sisa/buangan tambang (waste rock)**

Suatu timbunan batuan sisa yang masih aktif akan menutup penguapan dari permukaan lahan alami (di wilayah beriklim kering dan semi-kering, penguapan akan beberapa kali lebih besar daripada hujan), namun tetap memasukkan infiltrasi atau rembesan air hujan (Williams, 2006). Pada awalnya, resapan air hujan akan didominasi oleh aliran di sepanjang jalur-jalur yang dikehendaki, tapi saat timbunan semakin basah, aliran gabungan akan mulai mendominasi. Sebagian resapan air hujan akan masuk ke kantung penampungan di dalam lubang-lubang di timbunan, sedangkan lebihannya akan meresap masuk ke dalam timbunan, dan akhirnya muncul sebagai rembesan di bagian kaki dan masuk ke fondasi.

Karena konduktivitas hidroliknya yang sangat rendah, batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang awalnya kering akan menyimpan resapan air meski dari hujan yang kecil. Sebuah timbunan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang tinggi dan mengandung bahan yang relatif kering akan mampu menyimpan resapan air dari hujan bertahun-tahun. Front basah (wetting front) akan terus masuk jauh ke dalam timbunan setelah kemampuan pori-pori batuan sisa untuk menyimpan air terlampaui, dan ini akan terjadi jauh di bawah keadaan sepuh jenuhnya (mungkin 25 persen jenuh untuk batuan sisa yang baru dan berbutiran kasar, hingga 60 persen jenuh untuk batuan sisa yang telah lapuk dan berukuran baik). Saat tingkat kejenuhan dari pori-pori batuan sisa/buangan tambang (waste rock) meningkat, demikian pula konduktivitas hidrolik dan kemampuannya untuk melewatkan air. Semakin tidak tertutupnya timbunan batuan sisa/buangan tambang (waste rock), semakin basahlah timbunan tersebut. Semakin rendah tinggi timbunan dan semakin tinggi curah hujannya, semakin cepat hal ini terjadi. Akhirnya, timbunan akan basah hingga terbentuk jalur air yang terus menerus, sehingga terjadi rembesan 'tembus' dari bagian kaki timbunan dan masuk ke fondasi timbunan.

Pada awalnya, infiltrasi (perkolasi) ke dalam fondasi terhambat oleh konduktivitas hidrolik yang sangat rendah dari zona tak jenuh di dalam fondasi. Namun front basah yang terus turun ke lapisan bawah, dengan bantuan jalur rembesan yang ada, meningkatkan konduktivitas hidrolik di zona tak jenuh tersebut dan menyebabkan penumpukan air bawah tanah, dan semua zat pencemar yang dikandung air rembesan tersebut dapat mencapai air tanah

Jumlah resapan air hujan ke dalam timbunan dapat dibatasi dengan memiringkan permukaan atas timbunan yang telah padat akibat lalu lintas kendaraan berat, untuk menghindari terbentuknya genangan dan meningkatkan limpasan air. Lereng luar dari timbunan batuan sisa yang ditumpuk secara longgar hendaklah dibangun dengan batuan sisa yang aman dengan ketebalan yang memadai untuk menghasilkan limpasan dan rembesan air yang bersih.

Air yang tersimpan di dalam timbunan selama masa beroperasinya dan sebelum dicungkup

(covered) akan tetap merembes selama bertahun-tahun (Williams et al., 2006) - mungkin selama timbunan itu tidak ditutup - meskipun penempatan lapisan penutup pada bagian atas timbunan akan banyak mengurangi peresapan lebih lanjut ke dalam timbunan. Sistem 'simpan/lepas' ('Store/ release') telah terbukti dapat membatasi peresapan sampai satu persen dari rata-rata hujan tahunan, dan mungkin sampai lima persen dari total hujan tahunan yang tinggi (Williams et al., 2006). Rembesan dari bagian kaki dan infiltrasi ke dalam fondasi (diikuti dengan terbawanya kontaminan) akan berkurang seiring waktu, saat batuan sisa/buangan tambang (waste rock) mengering dan kehilangan konduktivitas hidroliknya. Infiltrasi itu akhirnya akan menghilang, sedangkan kelembaban residual di dalam timbunan akan tertahan oleh penghisapan air di pori-pori. Semua penumpukan air tanah di bawah timbunan akan menurun seiring waktu, dan akhirnya akan kembali ke tinggi aslinya.

Untuk lereng samping timbunan, belum ada sistem lapisan penutup tahan lama dan berperkolasi rendah yang pernah dibuat, meskipun timbunan batuan sisa reaktif di daerah tropis yang basah telah menggunakan penutup geomembran, dan di Lapangan Batu Bara Pennsylvania, limbah hasil pencucian batu bara yang reaktif telah menggunakan lapisan penutup berkonduktivitas hidrolik rendah yang terdiri dari debu halus batu bara (fly ash) atau semen. Lereng samping dari sebagian besar timbunan akan tetap mudah terkena rembesan selama hujan yang deras atau terus menerus, dan oleh karena itu, penting untuk dibuat dengan menggunakan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) tak berbahaya dan dengan ketebalan yang memadai agar memastikan limpasan air dan rembesan yang bersih.

#### 4.4.2 Tailing

Satu penyimpan tailing di permukaan yang operasional memungkinkan air tailing dan hujan untuk merembes masuk dan membasahi fondasi dan dinding bendungan (Williams, 2006). Cara pembuangan tailing yang konvensional dalam bentuk lumpur atau slurry memerlukan penyiraman secara konitnyu pada permukaan tailing. Sebagian air akan tetap tertahan di dalam tailing, dan sisanya akan menguap dari kolam pengendapan dan membasahi tailing atau merembes ke dalam fondasi dan melalui dinding bendungan.

Jumlah resapannya dapat dibatasi dengan menempatkan tailing yang sekering mungkin dan membuang cairan *supernatant* secara efisien.

Endapan *tailing* dapat bergantian diletakkan diantara sel-sel timbunan untuk menjaga kondisi tak jenuh di landasan dasar *tailing*, dan memastikan tidak ada *tailing* jenuh yang menerobos ke fondasi timbunan.

Pada awalnya, infiltrasi ke dalam fondasi terhambat oleh konduktivitas hidrolik yang sangat rendah pada zona tak jenuh di dalam fondasi. Front basah akan masuk ke bawah, dengan bantuan jalur rembesan yang ada, sehingga meningkatkan konduktivitas hidrolik di zona tak jenuh dan menyebabkan penumpukan air tanah. Akhirnya semua kontaminan di rembesan tersebut dapat mencapai air tanah. Dinding bendungan luar biasanya dibuat dari batuan sisa/buangan tambang (waste rock), yang harus bersifat aman (benign) dan dengan ketebalan yang memadai agar dapat menghasilkan limpasan air dan rembesan yang bersih.

Air yang tersimpan di dalam tailing selama operasi fasilitas penyimpanan akan tetap merembes selama bertahun-tahun setelah penutupan tambang. Infiltrasi (diikuti dengan terbawanya kontaminan) ke dalam fondasi akan berkurang seiring waktu, saat tailing mengering dan kehilangan konduktivitas hidroliknya. Jika limpasan air hujan tidak terkonsentrasi di permukaan tailing saja, tapi tersebar sehingga banyak menguap, maka infiltrasi itu akhirnya akan menghilang dalam iklim kering atau semi-kering, sedangkan kelembaban residual di dalam tailing akan tertahan oleh penghisapan air di pori-pori. Semua penumpukan air tanah di bawah fasilitas penyimpanan tailing akan menurun seiring waktu dalam iklim kering, dan akhirnya akan kembali ke tinggi aslinya.

Karena konduktivitas hidrolis tailing yang relatif rendah, terutama karena akan mengalami desaturasi atau kembali ke keadaan tak jenuh, maka tidak perlu menggunakan lapisan penutup untuk membatasi infiltrasi, dengan catatan tailing tidak dapat menjadi jenuh kembali akibat dari genangan air yang terkonsentrasi di jangka panjang. Fluktuasi kelembaban dan penguapan harus seimbang dalam tailing, meskipun ada periode pembasahan sejenak setelah hujan. Namun demikian, lapisan penutup mungkin baik dan diperlukan untuk tujuan revegetasi. Penimbunan berlebihan (overtopping) di lereng luar bendungan tailing harus dihindari untuk menghambat erosi.

Untuk informasi lebih lanjut tentang pengelolaan tailing, lihatlah pada buku pedoman Pengelolaan Tailing dalam seri ini.

## 4.5 Rekonstruksi lahan-bentukan (landform)

Rekonstruksi lahan-bentukan atau landform yang telah ditambang bertujuan untuk mencapai tataguna lahan pasca-tambang yang berkelanjutan, sembari mengelola risiko dampak lingkungan dan membatasi kebutuhan akan perawatan yang terus menerus. Lahan-bentukan yang telah ditambang sedapat mungkin harus meniru lahan-bentukan yang alami.

Terdapat beberapa perbedaan penting antara lereng bukit alami dengan lereng buatan dari batuan sisa/buangan tambang (waste rock) tambang. Lereng batuan sisa/buangan tambang (waste rock) tambang biasanya dibangun dan dibentuk menjadi profil yang linear, sedangkan lereng bukit alami biasanya berbentuk cekung, dan cenderung menangkap sedimen erosi di lerengnya, serta memiliki sudut, panjang dan tekstur permukaan yang berbeda. Lereng bukit alami dapat terlindungi dari erosi dengan tameng bebatuan, bebatuan penutup yang disemen serta vegetasi. Pekerjaan penggalian untuk rehabilitasi limbah tambang harus bertujuan untuk merekonstruksi distribusi sudut lereng, panjang lereng, dan pola vegetasi yang mirip dengan yang ada di alam sebelum ditambang.

Prinsip-prinsip perancangan rehabilitasi limbah tambang geomorfik sungai, seperti yang digunakan di tambang batu bara La Plata dan San Juan di Badlands New Mexico (BHP Billiton, 2001), harus digunakan dengan memperhatikan prinsip-prinsip perancangan teknik linier.

## 4.6 Lapisan Penutup

Lapisan penutup di atas permukaan rata pada tempat penyimpanan limbah tambang di iklim kering seperti di Australia terutama dirancang untuk membatasi penyerapan air hujan ke dalam limbah tambang di bawahnya, dan oleh karenanya dapat membatasi potensi terjadinya infiltrasi yang telah terkontaminasi dari limbah tambang. Membatasi masuknya oksigen ke dalam limbah tambang adalah sukar karena sifat limbah tambang yang kemungkinan besar tak jenuh, meskipun lapisan pelindung yang lembab akan sedikit menghalangi masuknya oksigen.

### 4.6.1 Analog alamiah

Di wilayah kering dan semi-kering Australia, tempat di mana banyak tambang-tambang kami berada, air bawah tanahnya dalam, dengan zona tak jenuh yang berpermeabilitas sangat rendah di atasnya. Sungai-sungai umumnya sungai bantaran (ephemeral), yang didasari oleh sungai bawah tanah di atas lapisan pasir atau kerikil, dan lapisan itu sendiri didasari oleh zona tak jenuh di atas lapisan air bawah tanah. Bagian dasar sungai bawah tanah itu 'disekat' secara efektif oleh sedimen halus, sehingga membatasi air masuk ke zona tak jenuh di bawahnya. Dengan demikian, kondisi tak jenuh dan permeabilitasnya yang sangat rendah tetap dipertahankan. Jika situasinya tidak demikian, semua air permukaan akan segera terserap ke lapisan air bawah tanah, yang mempunyai banyak pori-pori (porositas) untuk menyimpannya.

Lapisan penutup di atas limbah tambang harus meniru fungsi sungai bentaran, yaitu lapisan penyimpanan di bagian atas dan didasari oleh lapisan penyekat untuk membatasi penyerapan ke dalam limbah tambang di bawahnya. Ini akan memastikan kondisi limbah tetap tak jenuh dan konduktivitas hidroliknya rendah.

#### 4.6.2 Komponen di dalam sistem lapisan penutup

Komponen-komponen yang mungkin ada di dalam sistem lapisan penutup di atas limbah tambang mencakup berikut ini (sesuai urutan dari permukaan):

**Tanah lapisan atas (topsoil):** biasanya merupakan komponen utama, yang membutuhkan kapasitas penyimpanan air yang tinggi dan kedalaman yang memadai untuk akar tumbuhan (lebih dari 0,5 meter). Lebih disukai yang bersifat gembur, menggabungkan berbagai aktivitas biologi, dan mempunyai kapasitas pemasokan nutrisi yang baik.

**Pemutus efek kapiler:** Jika diperlukan, untuk membatasi penetrasi akar ke sekat dibawahnya, yang memerlukan satu nilai pemasukan-udara rendah (kurang daripada ketebalannya) serta kapasitas penyimpanan air yang rendah.

**Sekat:** sebuah komponen penting, yang memerlukan suatu konduktivitas hidrolik rendah (kurang dari 10<sup>-8</sup> meter per detik) dan nilai pemasukan-udara masuk tinggi (untuk mempertahankan kejenuhan).

**Pemutus efek kapiler:** Jika limbah tambangnya bersifat asin atau berpotensi membentuk asam, untuk membatasi masuknya kontaminan ke dalam lapisan penyekat.

#### 4.6.3 Bahan penutup

Lokasi penambangan seringkali terpencil dan bahan penutup yang mungkin ada seringkali hanya terbatas pada substrat yang tersedia di lokasi tambang, yaitu antara lain:

- Lapisan tanah atas atau batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang teroksidasi dengan tambahan pupuk untuk medium pertumbuhan
- Tanah liat berpasir atau berdebu terpadatkan (mampu memadatkan diri sendiri), batuan sisa teroksidasi terpadatkan, tailing terpadatkan berbutiran halus yang aman (benign), atau campuran terpadatkan atau berbentuk lumpur (slurry) dari batuan sisa/tailing untuk bahan sekat
- Batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang baru digali dengan sedikit butiran halus, atau batu galian dengan sedikit butiran halus untuk pemutus efek kapiler.

#### 4.6.4 Jenis-jenis lapisan penutup

Lapisan penutup telah berevolusi dari teknologi bahan pelapis lahan urugan (landfill liner), dengan pengadopsian awal penutup jenis penghalang oleh industri, meskipun tidak seperti jenis bahan pelapis, jenis ini berada di dalam 'zona aktif' (beberapa ratus milimeter pada iklim basah hingga beberapa meter pada iklim kering atau beku/meleleh). Jenis-jenis awal dari lapisan penutup bersifat tumbukan untuk meningkatkan limpasan air hujan dan meminimalkan peresapan, dan biasanya terdiri dari sekat tanah berliat yang dipadatkan dengan ketebalan sekitar 0,5 meter dan dilapisi di atasnya dengan medium pertumbuhan yang bisa setipis 0,3 meter. Medium pertumbuhan setipis ini masih bisa mendukung rumput, tapi tidak cukup untuk sebagian besar jenis vegetasi darat. Lapisan penutup jenis penghalang paling cocok untuk iklim yang basah sepanjang tahun. Bahan ini cenderung berfungsi buruk dalam iklim musiman, dan akan gagal dalam iklim semi-kering dan kering. Pada iklim kering, revegetasi akan buruk dan lapisan penyekatnya mudah retak dan rentan terhadap penetrasi akar. Selain itu, lapisan penyekat tanah liat yang padat pada tailing yang lembut atau jenis-jenis batuan sisa tertentu cenderung akan gagal karena konsolidasi yang terus menerus. Meskipun tanah liat yang padat pada awalnya akan memberi konduktivitas hidrolik kurang dari 10<sup>-8</sup> meter per detik atau 300 milimeter per tahun, keretakan yang terjadi akan meningkatkan angka ini sampai 100 kali lipat, dan tidak lagi berfungsi sebagai penyekat. Isu-isu lain diantaranya erosi (karena tetesan air) dan penetrasi akar (karena medium pertumbuhannya yang tipis). Lebih disarankan untuk menggunakan bahan penyekat yang berperingkat baik dan

medium pertumbuhan yang lebih tebal.

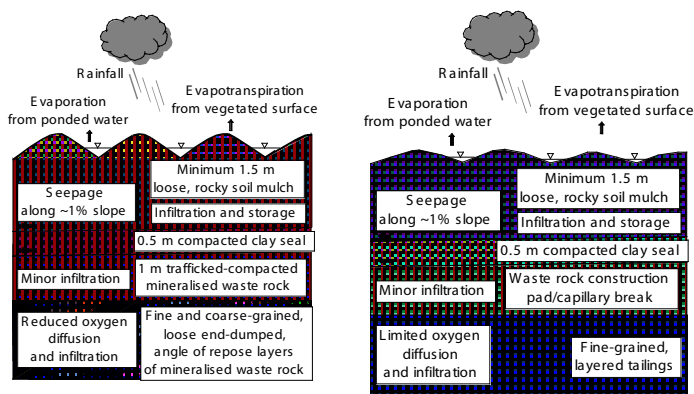
Sistem lapisan penutup yang paling tahan dan efektif untuk limbah tambang dalam iklim musiman, kering atau semi-kering adalah lapisan penutup "simpan/lepas" (store/release) (Williams et al., 2006; Gambar 4(a) dan (b)), yang meniru lapisan-lapisan di sungai alami. Sistem lapisan penutup "simpan/lepas" ini dirancang untuk menyimpan air hujan musim basah tanpa meneteskannya, karena ini dapat menyebabkan erosi pada penutup, dan akan melepaskan simpanan air selama musim kering melalui evapotranspirasi. Dengan demikian lapisan penutup itu tidak menjadi terlalu kering ataupun terlalu basah dari tahun ke tahun. Lapisan penutup "simpan/lepas" dapat membatasi perkolasi hingga satu persen dari rata-rata curah hujan tahunan (Williams et al., 2006), sehingga secara efektif menghalangi pembasahan yang terus menerus pada limbah tambang di bawahnya, dan menghalangi masuknya rembesan ke dalam fondasi.

Fitur-fitur penting dari lapisan penutup "simpan/lepas" adalah:

- Menghindari adanya bagian-bagian yang rendah di permukaan limbah reaktif, di mana resapan air (infiltrasi) yang menembus lapisan penutup dapat menggenang dan menyebabkan perembesan yang terkontaminasi
- Sebuah lapisan penyekat di bagian dasar penutup, yaitu lapisan berbentuk tanah liat padat setebal 0.5 meter (dipasang dalam keadaan lembab) untuk membatasi terjadinya peresapan dalam (perkolasi) melalui lapisan penutup jika lapisan penutup "simpan/lepas" di dasar itu mencapai titik tembusnya
- Sebuah satu lapisan tanah berbatu, yang dibentuk dengan sistem pembuangan rendah (*paddock dumping*), dan memiliki ketebalan minimum 1,5 meter (tergantung dari pola hujan dan sifat fisik bahan) untuk menyimpan dan melepaskan kelebihan air hujan melalui evapotranspirasi
- Memoles (*smearing*) permukaan onggokan-onggokan yang terbentuk oleh sistem pembuangan rendah, dengan dozer bertekanan rendah untuk memutus potensi jalur aliran sembari mempertahankan genangan di antara lapangan lahan (*paddock*) untuk mendistribusikan air permukaan
- Melapisi dengan tanah lapisan atas (*topsoiling*), pemupukan dan Penebaran benih semak-semak dan pepohonan asli di tahap awal; pemupukan dan Penebaran benih rerumputan kembali 12 bulan kemudian untuk membangun tutupan vegetasi yang beragam dan lestrai untuk membantu pelepasan air dan meningkatkan estetika.

Umumnya, diperlukan uji coba terpantau untuk mengembangkan sistem penutup dan pemilihan seleksi vegetasi yang paling tepat untuk lokasi tambang tertentu. Lapisan penutup "simpan/lepas" ini merupakan suatu sistem yang dinamis, dan sangat tergantung pada penutup vegetatifnya.

**Gambar 4: Sistem lapisan penutup "simpan/lepas"**



**(a) Di atas batuan sisa/buangan tambang (waste rock)**

**(b) Di atas tailing**

## Studi kasus: Sistem lapisan penutup "simpan/lepas", tambang emas Kidston, Queensland

Tambang emas Kidston beroperasi di North Queensland antara tahun 1985 sampai Juli 2001. Selama periode ini, tambang telah menghasilkan lebih dari 3,5 juta ons emas dari dua lubang tambang (pit) dengan pemotongan terbuka.

Karakterisasi iklim Kidston adalah tiga bulan musim basah dengan sembilan bulan musim kering. Rata-rata hujan tahunan adalah 700 milimeter, tapi dapat berkisar antara 500 milimeter sampai 1500 milimeter, dan rata-rata tahunan evaporasi panci adalah sekitar 2800 milimeter. Apabila timbunan batuan sisa di Kidston ini menggunakan bahan penutup jenis penghalang yang dapat merembeskan air hujan, maka musim kering yang panjang akan menyebabkan pengeringan di bagian penutup dan kematian vegetasi. Dan badai musim panas berikutnya akan menimbulkan erosi dan perembesan pada bahan penutup. Sedangkan sistem lapisan penutup 'simpan/lepas' yang digunakan saat ini tidak menimbulkan rembesan air, dan mengandalkan simpanan air hujan saat musim basah dan akan dilepaskan selama musim kering yang panjang melalui evapotranspirasi.

Pada pertengahan tahun 1996, dibuat satu uji coba lapisan penutup 'simpan/lepas' di atas lahan seluas 23 hektar yang terletak di Timbunan Selatan Kidston, berdasarkan skema Gambar 4(a). Lysimeter-lysimeter dipasang di lapisan penutup uji coba untuk memantau laju infiltrasi lapisan penutup tersebut, sedangkan sensor- sensor kelembaban dan penghisapan dipasang untuk memantau kondisi kelembaban pada lapisan penutup itu sendiri. Selama 10 tahun pemantauan, infiltrasi ternyata kurang dari satu persen dari curah hujan tahunan (meskipun hujan secara umum lebih rendah dari rata-rata, dengan nilai rata-rata sebesar 550 milimeter per tahun).



**Menaruh mulsa berbatu**



**Vegetasi yang didominasi rumput, berusia dua tahun**

Lapisan penutup 'simpan/lepas' dibangun di atas seluruh penimbunan batuan sisa di Kidston, dengan beberapa modifikasi. Bagian atas dari gundukan mulsa tanah berbatuan yang dibuang dengan teknik pembuangan rendah ini dihaluskan dengan dozer bertekanan rendah untuk membuat jalur rembesan yang potensial di sepanjang sisi masing-masing gundukan untuk memudahkan revegetasi (menyediakan satu tekstur permukaan yang lebih konsisten) serta untuk alasan estetika. Selain itu, untuk memastikan adanya tutupan vegetasi dan semak-semak yang memadai, terlebih dahulu diberikan benih pepohonan dan perdu dalam campuran pupuk. Benih rumput dan pupuk lanjutan ditambahkan 12 bulan kemudian.



**Pepohonan dan semak-semak berusia 12-bulan (tidak ada rumput)**



**Pepohonan dan semak-semak berusia 18-bulan dan rumput berusia 6 bulan**



**Vegetasi berusia tiga tahun**

## 4.7 Lereng luar penyimpanan limbah

Rehabilitasi konvensional terhadap lereng luar dari timbunan batuan sisa/buangan tambang (waste rock) dan fasilitas penyimpanan tailing dapat mengakibatkan sebuah lereng final dengan stabilitas geoteknik yang memadai, tapi dengan stabilitas erosi yang tidak memadai. Metode alternatif untuk menciptakan lereng final yang stabil, yang berdasarkan pada analog alami di sekitarnya, menawarkan potensi untuk menghasilkan sebuah lereng yang tahan lama dan dengan stabilitas geoteknik dan erosi yang tinggi, serta estetika yang semakin baik.

Terdapat beberapa perbedaan penting antara lereng bukit alami dengan lereng luar buatan pada tempat penyimpanan limbah tambang, yaitu:

- Lereng limbah tambang biasanya dibangun dan dibentuk menjadi profil yang linear, sedangkan lereng bukit alami biasanya berbentuk cekung,
- Perlindungan dari tameng batuan, batuan atas yang kokoh serta vegetasi yang membuat lereng alami bertahan lama
- Lereng limbah tambang secara konvensional tertutup dengan tanah berbutiran halus dan mudah erosi dan tutupan revegetasi yang sedang berkembang, sehingga memiliki daya tahan erosi yang terbatas.

### 4.7.1 Membatasi erosi dari lereng luar

Dalam iklim-iklim kering dan semi-kering musiman, yang tidak mendukung pertumbuhan tutupan vegetasi yang memadai untuk membatasi erosi, lereng luar tempat penyimpanan limbah tambang mungkin memerlukan perlindungan tambahan terhadap erosi. Misalnya berupa lapisan penutup permukaan yang terdiri dari batuan sisa/buangan tambang (waste rock) yang aman (benign) dan berbutiran kasar, meskipun sedikit butiran halus dapat ditambahkan ke campuran untuk memperkuat retensi air dan meningkatkan kondisi pertumbuhan beberapa jenis revegetasi.

Parit-parit besar dengan banyak tutupan hendaknya dibangun untuk menangani limpasan hujan, dan saluran-saluran searah kontur yang memusatkan aliran dan umumnya memperburuk laju erosi yang buruk hendaknya dihindari. Lereng-lereng final bersudut kritis (angle-of-repose), yang membatasi biaya konstruksi lereng, dapat diletakkan di bagian atas lereng, asalkan disamakan dengan pembentukan profil tiga dimensi yang tegas dari lereng yang memasukkan profil-profil lereng yang cekung. Profil lereng cekung, yang menyerupai lereng alami, membatasi hilangnya sedimen dari lereng. Umumnya diperlukan uji coba terpantau untuk mengembangkan penanganan lereng yang paling tepat untuk suatu lokasi tambang tertentu.



## 4.8 Pengelolaan tanah pucuk atau tanah lapisan atas

Tergantung dari kandungannya, tanah lapisan atas dapat memberikan berbagai fungsi penting seperti pemasokan benih dan propagul lain, pembagian mikro-organisma penting, pemasokan nutrisi, pertumbuhan cepat tutupan permukaan tanah (*groundcover*), dan perbaikan terhadap kandungan negatif dalam limbah tambang di bawahnya.

Sebagian besar tanah permukaan mempunyai keterbatasan yang lebih sedikit terhadap pertumbuhan tanaman jika dibandingkan dengan bahan limbah tambang, sehingga biaya tambahan dari penanganan tanah lapisan atas biasanya dapat diimbangi dengan keberhasilan pembuatan lapisan vegetatif yang lebih baik. Secara umum, tanah lapisan atas harus disimpan dan digunakan dalam program rehabilitasi jika bahan overburden atau tailing tidak dapat mendukung tataguna lahan pasca-tambang yang diinginkan.

### 4.8.1 Penanganan tanah lapisan atas

Sebuah rencana penanganan tanah lapisan atas akan mencakup sumber-sumber tanah lapisan atas, informasi mengenai alat penanganan, kedalaman, dan volume yang diperlukan, kedalaman penyebaran ulang, dan semua perawatan lanjutan (misalnya tindakan menggemburkan tanah sebelum pembenihan, pembajakan dalam). Lapisan sub-permukaan dari beberapa tanah mengandung karakteristik yang tidak diinginkan seperti kadar garam dan kadar sodium yang tinggi, tingkat keasaman dan kadar toksik aluminium terkait yang ekstrim, atau defisiensi kalsium bagi beberapa tumbuhan. Umumnya, disarankan untuk mengupas (*strip*) dan mengupas lapisan-lapisan ini secara terpisah (*double-pengupasan*) untuk memastikan bahwa lapisan yang mengandung nutrisi, mikroba dan (terkadang) benih dikembalikan ke permukaan.

Kedalaman total dari tanah lapisan atas yang ditaruh kembali di atas limbah, batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*) atau tailing akan ditentukan oleh berbagai faktor, seperti vegetasi yang diinginkan, jumlah dan kualitas tanah permukaan dan tanah lapisan bawah (*subsoil*) yang tersedia, serta sifat dari bahan-bahan yang ada di bawahnya. Prinsip umumnya adalah zona akar buatan ini harus memiliki air yang cukup bagi tumbuhan, agar dapat mendukung vegetasi dalam mengatasi musim yang terkering. Ini dapat dicapai dengan meningkatkan kedalaman medium pertumbuhan tanaman pengganti, atau jika memungkinkan, dengan menggunakan bahan lain yang memiliki kapasitas air-tersedia lebih tinggi.

Jika uji kimia dan fisik menunjukkan bahwa bahan yang dibawahnya tidak memiliki keterbatasan yang besar terhadap pertumbuhan akar, lapisan tanah atas setipis 50 milimeter saja dapat membantu pembentukan vegetasi dengan menyediakan lingkungan yang baik untuk germinasi benih, dengan memungkinkan terjadinya penyerapan air, dan dengan memasok nutrisi dan mikro-organisma. Selain itu, tanah lapisan atas dapat menjadi sumber benih yang penting jika tujuannya adalah mengembalikan ke keadaan ekosistem aslinya.

Jika bahan di bawah memiliki karakteristik yang negatif untuk pertumbuhan tanaman, maka kedalaman tanah lapisan atas yang dibutuhkan ditentukan oleh sifat dan tingkat keparahan bahan negatif tersebut. Menerapkan 100 sampai 200 milimeter tanah lapisan atas ke limbah yang mengandung garam atau sodium biasanya cukup memuaskan untuk membentuk spesies asli atau padang rumput yang lebih baik. Namun, jika ada penetrasi akar yang buruk ke limbah tersebut, usia vegetasi dapat berkurang akibat sulitnya air selama periode kemarau. Selain itu, jika konduktivitas hidrolis dari bahan di bawahnya rendah, maka gerakan garam ke atas yaitu ke tanah lapisan atas pengganti dapat mengurangi efek manfaat dari pemberian tanah lapisan atas tersebut. Gerakan garam ke atas dapat berkurang jika bahan di bawah itu memiliki konduktivitas hidrolis yang sedang. Jika ada batuan sisa/buangan tambang (*waste rock*) yang mengandung sulfida, maka harus ditaruh jauh di dalam timbunan, dan sangat jauh dari zona akar.



Tanah lapisan atas harus diambil dan dipasang kembali dengan sangat hati-hati. Baik sifat dari alat yang digunakan dan kandungan kelembaban tanah akan mempengaruhi tingkat kepadatan tanah dan penghancuran struktural yang dapat terjadi selama prosedur ini. Penggunaan gabungan dari loader front-end, truk dan bulldoser untuk pengambilan, pengiriman dan penyebaran tanah lapisan atas adalah kombinasi terbaik untuk mengurangi pemadatan. Pada banyak tanah lapisan atas dalam keadaan lembab, penggunaan scraper yang penuh dapat meningkatkan densitas bulk di atas ambang nilai kritis untuk pertumbuhan tanaman. Mungkin diperlukan uji lapangan dan riset untuk memastikan parameternya, misalnya kedalaman optimal untuk mengambil dan menebarkan ulang tanah lapisan atas, karena hal ini bisa bervariasi tergantung dari jenis benih dan tanahnya.

#### 4.8.2 Mempertahankan kesuburan tanah dan biota

Jika tujuannya adalah pembentukan kembali spesies asli, maka lapisan tipis tanah permukaan harus diambil terlebih dahulu sebelum melakukan pengupasan pada tanah selanjutnya. Ini karena sebagian besar benih asli terkonsentrasi di dalam 50 milimeter teratas dari profil tanah. Karena kedalaman maksimal dari munculnya spesies ini berkisar dari 30 milimeter sampai 100 milimeter, maka pengupasan (pengupasan) dan penebaran ulang dari lapisan permukaan yang lebih dari 100 milimeter akan mengakibatkan banyak hilangnya benih-benih potensial akibat dilusi benih dan kegagalannya untuk muncul.

Selama operasi rehabilitasi, penting bahwa tanah lapisan atas ditangani dengan cara yang akan melestarikan keanekaragaman tumbuhan di dalam kumpulan benih pada tanah lapisan atas tersebut, dan memaksimalkan pertumbuhan tanaman setelah ditanam kembali. Beberapa pertimbangan yang spesifik yaitu:

- Mengumpulkan tanah lapisan atas di waktu bank benih tanah paling tinggi-tingginya
- Mempertimbangkan efek vegetasi bakar sebelum penambangan, jika hal ini dapat mempengaruhi keselamatan benih atau kemampuan germinasinya.
- Menebarkan kembali tanah lapisan atas langsung ke area yang telah dipersiapkan untuk rehabilitasi, jika memungkinkan
- Jika jumlah tanah lapisan atasnya terbatas, maka sebaiknya menebarkannya dengan kedalaman yang lebih tipis, atau dalam galur-galur
- Semua pertimbangan pengerjaan tanah, seperti penggemburan untuk memasukkan tanah lapisan atas ('key-in') dan mengurangi kemungkinan hilang akibat erosi - harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mendilusi lapisan tanah atas ini dengan bahan limbah dan harus melakukan penggemburan secara melintang pada lereng (dan bukan menurunnnya).
- Permukaan tanah lapisan atas final harus diolah atau dibajak sehingga siap untuk pemberian benih langsung, jika tahap ini akan dilakukan berikutnya.

Tanah lapisan atas yang dikelola dengan hati-hati juga akan memberikan organisme tanah penting yang sukar diganti jika hilang. Tanah lapisan atas ini juga mengandung sejumlah nutrisi dan unsur kelumit (trace element) yang penting untuk pertumbuhan tanaman, yang biasanya tidak terdapat dalam ukuran yang setara di bahan-bahan yang terletak lebih dalam pada profil tanah (terutama bahan-bahan yang tidak terkena udara).

Idealnya, tanah lapisan atas jangan ditimbun. Namun demikian, hal ini tidak selalu memungkinkan karena tambang seringkali mengharuskan tanah lapisan atas ditimbun berdampingan dengan operasi penambangan keruk (*strip mining*). Timbunan ini harus dibangun sedemikian rupa untuk meminimalkan pengrusakan benih, nutrisi dan biota tanah, dengan menghindari pengambilan tanah lapisan atas pada saat kondisi jenuh setelah hujan (hal ini dapat menyebabkan pengomposan), dan dengan membuat timbunan yang lebih

pendek (satu sampai tiga meter). Durasi timbunan juga harus diminimalkan, karena periode yang lebih lama dari enam sampai 12 bulan dapat menyebabkan degradasi struktur dan kematian benih dan mikro-organisme, terutama jika kandungan kelembaban tanahnya tinggi. Bahan permukaan dan sub-permukaan (sub-soil) harus ditimbun terpisah. Pemberian benih pada timbunan dengan campuran rumput/legume atau spesies asli pengikat nitrogen dapat membantu pengendalian erosi dan mengurangi hilangnya mikro-organisme tanah yang penting.

### 4.8.3 Pengolahan tanah lapisan atas

Untuk tanah yang cenderung dispersif atau menghasilkan asam, diperlukan tambahan zat pembantu seperti gipsum atau kapur tohor. Dalam beberapa kasus, mungkin perlu menyuntik dengan mikro-organisme simbiotik seperti pengikat nitrogen dan mikoriza. Pembajakan (ripping) di sepanjang kontur biasanya diperlukan untuk memudahkan penetrasi akar melalui bahan limbah yang terpadatkan, dan untuk mengurangi kehilangan benih.

Dalam sebagian besar kasus, juga diperlukan pemberian pupuk untuk menggantikan kandungan nutrisi yang hilang selama pengambilan vegetasi dan selama proses penambangan. Penting untuk merencanakan dengan seksama jenis dan metode pemberian nutrisi-makro dan nutrisi-mikro, berdasarkan pada penelitian karakterisasi tanah yang terperinci serta tujuan dan target rehabilitasi. Yang paling umum digunakan adalah pupuk anorganik, namun pupuk organik seperti lumpur selokan atau mulsa vegetasi dapat menjadi alternatif yang hemat asalkan berhati-hati jangan sampai memasukkan gulma dan kandungan logam yang tinggi. Sebuah ulasan yang terperinci mengenai cara menangani pembatasan kimia terhadap pertumbuhan tanaman (misalnya defisiensi nutrisi dan sifat racun) terdapat dalam buku karya Bell (2002).

#### Studi kasus: Alcoa World Alumina Australia

Saat tanah lapisan atas mengandung sumber benih asli yang sehat, maka tanah itu harus disimpan untuk digunakan kembali setelah penambangan. Langkah ini bukan hanya memberikan sumber tumbuhan yang murah, tapi juga membantu memastikan bahwa vegetasi dibuat dalam kondisi yang relatif berlimpah, mirip dengan kepadatan sebelum penambangan, dan mendukung pertumbuhan spesies yang benihnya mungkin sulit didapatkan atau sukar dikecambahkan.



**Mengupas (pengupasan) tanah lapisan atas**

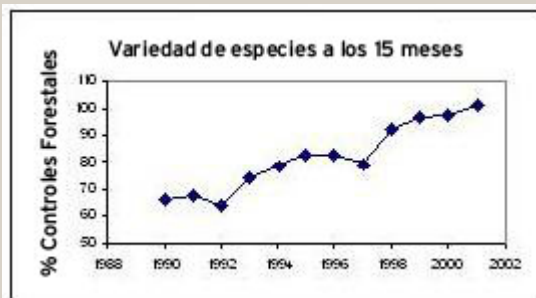


**Tanah lapisan atas sedang ditebar**

Program rehabilitasi tambang bauksit yang dilakukan oleh Alcoa World Alumina Australia di hutan jarrah di sudut barat daya Australia merupakan satu contoh bagus bagaimana konservasi tanah yang mengandung benih dapat sangat meningkatkan keanekaragaman botani pada komunitas vegetasi pasca-tambang.

Setelah vegetasi ditebangi, 150 milimeter tanah teratas yang mengandung sebagian besar kumpulan benih dan nutrisi tanah, diambil sebelum penambangan dilakukan, dan langsung dikembalikan ke lubang tambang (pit) yang akan direhabilitasi. Riset menunjukkan bahwa mayoritas spesies tumbuhan asli (72 persen) di area rehabilitasi berasal dari benih yang tersimpan dalam tanah lapisan atas ini. Pentingnya untuk segera mengembalikan tanah lapisan atas segar (baru diambil) telah dibuktikan melalui percobaan yang membandingkan teknik ini dengan tanah yang ditimbun terlebih dahulu. Terbukti bahwa gangguan yang terkait dengan pengembalian langsung tanah lapisan atas menyebabkan kehilangan kurang dari 50 persen benih yang terkandung dalam kumpulan benih hutan pra-tambang; sebaliknya sistem penimbunan menyebabkan kehilangan 80 sampai 90 persen. Aspek-aspek lain, seperti kedalaman dari penyebaran ulang tanah lapisan atas, dalam musim apa tanah tersebut diolah dan waktu penebaran benih, juga penting. Benih tidak akan hidup jika ditanam terlalu dalam, dan akan bertahan lebih baik jika tanahnya dipindahkan saat musim kering. Selain itu, pertumbuhan tanaman dari penyemaian ini akan lebih baik jika benihnya ditanam pada permukaan yang baru saja digali. Dalam jangka waktu 15 bulan, gabungan dari penggunaan kembali tanah lapisan atas yang 'segar' (baru digali), penyemaian, dan penanaman jenis tumbuhan yang berdaya tahan tinggi kini menghasilkan jumlah spesies tumbuhan yang setara dengan yang tercatat pada lahan berukuran sama di hutan yang tidak ditambang.

Untuk informasi lebih lanjut, lihatlah pada [www.alcoa.com.au](http://www.alcoa.com.au)



**Tambang bauksit setelah dua tahun direhabilitasi**

## 4.9 Membentuk komunitas vegetasi

Teknik-teknik yang digunakan untuk membentuk vegetasi dirancang untuk dapat memenuhi tujuan rehabilitasi jangka panjang dan memenuhi kriteria penyelesaian yang telah dikembangkan bersama-sama dengan para pemangku kepentingan sebagai bagian dari rencana penutupan tambang. Tujuan ini dirancang untuk menetapkan suatu tataguna lahan yang disepakati bersama, dan yang umum adalah konservasi/vegetasi asli, perlindungan kualitas air, padang rumput, produksi kayu dan rekreasi. Seringkali, tujuannya adalah untuk membentuk berbagai jenis tataguna lahan yang cocok.

### 4.9.1 Pengaruh vegetasi pada erosi

Secara umum, pembentukan vegetasi di area lereng diharapkan dapat mengurangi erosi karena dapat mengurangi limpasan air (run-off) dan pelepasan sedimen. Namun demikian, seberapa jauh vegetasi dapat memenuhi ekspektasi tersebut melibatkan sejumlah faktor, seperti iklim, jenis vegetasi dan sifat-sifat tanahnya.

Vegetasi dapat memberikan kenaikan besar dalam hal infiltrasi melalui perlindungan permukaan dari dampak pukulan hujan (satu penyebab dari penyumbatan pori permukaan tanah), melalui penurunan kandungan air dalam tanah, perbaikan dalam struktur tanah dan stabilitas struktur, dan dengan pembentukan pori-pori makro yang stabil di tanah (Loch dan Orange, 1997; Loch, 2000a, 2000b). Perlindungan permukaan banyak terkait dengan tutupan kontak (contact cover) (lapisan penutup yang terkena kontak dengan permukaan tanah), sedangkan tutupan tajuk (di atas permukaan tanah) akan semakin berkurang efektifnya jika tingginya bertambah. Perubahan dalam struktur tanah dan pembentukan pori-pori makro yang stabil akan dipengaruhi oleh tingkat pengembalian zat organik ke tanah dan aktivitas akar.

Beberapa komunitas vegetasi - umumnya yang proporsi rumputnya besar - akan menghasilkan laju tutupan kontak yang tinggi. Sebagai perbandingan, komunitas vegetasi yang didominasi oleh pepohonan atau semak-semak cenderung memiliki tingkat tutupan kontak (contact cover) yang lebih rendah, dan terutama rentan terhadap erosi selama masa pembentukan awal.

Saat merencanakan rehabilitasi, penting untuk mengidentifikasi apakah vegetasi merupakan faktor utama dalam pengendalian erosi, dan jika demikian, penting untuk menentukan aspek apa saja dalam vegetasi tersebut yang penting untuk stabilitas lereng dan dalam tahap apa pada proses rehabilitasi tersebut. Jika rehabilitasi mengandalkan vegetasi untuk pengendalian erosi, maka biasanya ada 'jendela risiko' di awal yang harus ditutup sesegera mungkin (Carroll et al., 2000). Dalam kasus seperti ini, spesies seperti rumput-rumputan yang memberikan penutupan awal yang cepat menjadi penting, dan juga berguna untuk stabilitas lahan setelah terjadi gangguan (misalnya kebakaran). Pertumbuhan rumput yang terlalu kuat dapat merintangi pertumbuhan pepohonan, tapi hal ini dapat dikelola secara rutin oleh organisasi kehutanan dengan menggunakan kombinasi dari herbisida knockdown dan yang bersifat pre-emergent (sebelum muncul). Juga ada potensi untuk menempatkan bahan-bahan secara selektif, yang akan cenderung menguntungkan rumput atau pepohonan, sehingga bisa mencapai keseimbangan yang diinginkan.

Secara umum, ekosistem yang seimbang akan mengandung semua spesies yang diperlukan untuk menyediakan serangkaian layanan ekosistem. Pepohonan dan semak-semak merupakan komponen penting untuk sebagian besar ekosistem asli, tapi kontribusinya terhadap pengendalian erosi hanya minimal, terutama pada beberapa tahap tertentu dalam proses rehabilitasi.

## 4.9.2 Mengendalikan gulma

Gulma dapat bersaing dengan tumbuhan asli setempat. Jika survei pra-penambangan menunjukkan adanya masalah gulma, maka harus dikembangkan sebuah program pengendalian gulma yang terencana. Misalnya menggunakan herbisida 'knock-down' dan/atau pre-emergent dalam skala luas atau dengan penyemprotan di titik tertentu.

Jika gulma akan menjadi masalah, maka diperlukan suatu rencana pengelolaan gulma atau fauna. Departemen pertanian negara bagian atau teritori merupakan sumber informasi yang baik mengenai pengendalian gulma.

## 4.9.3 Definisi sebuah ekosistem yang berfungsi baik

Dalam istilah umum, sebuah ekosistem yang 'berfungsi baik' adalah yang:

- Stabil (tidak terkena tingkat erosi yang tinggi)
- Efektif dalam menahan air dan nutrisi
- Dapat mempertahankan dan melestarikan diri sendiri.

Definisi ini harus diterapkan dengan hati-hati. Dalam beberapa kasus, ada daerah yang penuh gulma tapi tetap memenuhi kriteria di atas.

Secara umum, penting bahwa sasaran yang ditetapkan untuk rehabilitasi tambang mengidentifikasi dengan jelas jenis ekosistem yang diperlukan atau disyaratkan, dan mungkin beberapa layanan ekosistem yang diharapkan ada di sana. Sebagai contoh, persyaratan ini mungkin mencakup tingkat perlindungan terhadap erosi yang tinggi, atau tersedianya makanan/rumah bagi spesies burung atau hewan tertentu. Persyaratan ini dapat menciptakan tuntutan akan suatu ekosistem yang tidak sama dengan daerah sekitarnya.

Masalah utamanya adalah, layanan ekosistem ini harus dapat tercapai dan masuk akal. Harus sangat berhati-hati agar tidak menetapkan persyaratan layanan ekosistem terlalu semlubang tambang (pit), karena dapat menyebabkan komunitas tumbuhan target yang diidentifikasi menjadi tidak berfungsi. Penekanan berlebihan terhadap spesies yang 'karismatik' harus dihindari, karena spesies ini mungkin kurang penting terhadap berfungsinya ekosistem dibandingkan dengan spesies kriptik yang lebih umum.

Jika sasaran rehabilitasi menunjuk pada suatu komunitas tumbuhan tertentu, maka tiga kriteria di atas memberi dasar untuk menentukan apakah komunitas yang diharapkan tersebut mampu bertahan dan berkelanjutan (berfungsi di jangka panjang). Namun demikian, komunitas tumbuhan umumnya bervariasi baik secara ruang maupun waktu, sehingga penilaian fungsionalitasnya harus mempertimbangkan variasi tersebut.

## 4.9.4 Pembentukan vegetasi

Membentuk komunitas vegetasi yang beragam seringkali memerlukan kombinasi dari berbagai metode. Antara lain mencakup pengembalian langsung lapisan tanah atas, penyemaian benih, penyemaian basah atau hydroseeding, penanaman benih, kultur jaringan, pencangkokan dan transfer habitat, serta rekolonisasi alami. Kombinasi metode yang dipilih dapat sudah ditentukan dalam rencana rehabilitasi, meskipun mungkin diperlukan beberapa penyempurnaan melalui trial and error selama operasi rehabilitasi.

Ada kalanya operasi revegetasi ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Sebagai contoh, mungkin diperlukan pembentukan rumput yang cepat untuk mengendalikan erosi, sedangkan penanaman benih dapat dilakukan kemudian. Namun demikian, rumput dapat bersaing dengan

spesies asli, terutama yang dibentuk melalui penyemaian langsung. Dapat menggunakan rumput steril jika spesies tersebut bukan merupakan bagian dari tataguna lahan final. Juga diperlukan perhatian untuk menggunakan kombinasi metode yang optimal, untuk memastikan tujuan rehabilitasi dapat terpenuhi.

### **Penyemaian**

Sistem penyemaian banyak digunakan di industri pertambangan Australia untuk membentuk komunitas vegetasi asli dan padang rumput. Seringkali, ini merupakan cara yang paling hemat untuk membentuk serangkaian spesies tumbuhan di wilayah yang luas; namun terkadang bisa 'asal tembak' atau salah sasaran jika tidak direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, atau jika terjadi kondisi cuaca yang tak terduga-duga setelah pembenihan. Sejumlah aspek penting harus dipertimbangkan untuk dapat meningkatkan kemungkinan berhasil dalam penyemaian.

**Pasokan benih:** Benih dapat dikumpulkan atau dibeli; dan kontrol kualitas terhadap seluruh tahapan proses sangatlah penting. Perencanaan untuk pengumpulan benih asli harus dilakukan sekurangnya satu sampai dua tahun sebelum benih itu benar-benar digunakan, sehingga volume yang diperlukan dan sumber pengumpulan dapat diketahui. Sedapat mungkin, benih harus dikumpulkan dari tempat lokal, karena itulah yang paling baik beradaptasi terhadap kondisi dan akan mempertahankan integritas genetik dari asal muasal lokalnya. Setelah dikumpulkan, benih harus dibersihkan dan disimpan dalam kondisi yang mampu menjaga kesehatan maksimalnya selama periode penyimpanan dan meminimalkan kerusakan akibat hama dan jamur.

**Perlakuan benih:** Sebelum ditanam, benih dari banyak spesies perlu mendapat perlakuan terlebih dahulu agar dapat berkecambah. Metode perlakuannya antara lain perlakuan panas, pelukaan, atau pemaparan ke asap atau air berasap. Informasi mengenai metode yang mungkin diperlukan antara lain mengenai pemasok benih, riset dan referensi penting (misalnya bisa didapatkan dari Floradata, 2001).

Di wilayah yang memiliki curah hujan yang tidak dapat diprediksi, mungkin sebaiknya jangan mengolah semua benih, sehingga ada yang tetap sehat untuk tahun-tahun mendatang. Di lain pihak ada benih yang mungkin memerlukan inokulasi rizobium atau pemberian gentel kapur (lime pelleting).

**Suksesi ekosistem:** Jika tujuannya adalah membuat sebuah ekosistem asli yang beragam dan berkelanjutan, maka aspek suksesi dari suatu eko-sistem harus dipertimbangkan. Spesies perintis yang sudah hidup di wilayah terganggu harus dimasukkan dalam campuran benih; namun demikian karakteristik spesies dari tahap suksesi berikutnya juga harus dibentuk sejak dini jika pengalaman membuktikan bahwa hal ini dapat dilakukan dengan baik. Relatif berlimpahnya spesies akan berubah saat koloni awal mati, dan spesies yang lebih berumur panjang, atau yang muncul kemudian, akan menjadi lebih dominan proporsinya. Sedangkan laju pembenihan yang tinggi beberapa spesies koloni awal dapat mengurangi keanekaragaman, karena mengalahkan spesies lain.

**Laju pembenihan:** Informasi yang diperlukan untuk menentukan laju pembenihan tidak selalu tersedia, dan mungkin diperlukan uji di rumah kaca dan percobaan lapangan. Viabilitas (daya hidup) benih dan uji germinasi dapat membantu menentukan berapa tingkat yang diperlukan untuk mencapai kepadatan tumbuhan yang dikehendaki; namun demikian, mortalitas dari benih-benih muda juga harus dipertimbangkan. Mortalitas ini dapat tinggi, tergantung pada hujan yang terjadi berikutnya. Ketika perlindungan erosi menjadi penting, diperlukan laju pembenihan yang tinggi untuk spesies penutup tanah seperti rumput.

**Pembenihan:** Metode aktual untuk pembenihan sebagian tergantung pada tenaga kerja dan alat apa yang tersedia. Caranya dapat mencakup penyebaran dengan tangan, helikopter, spreader benih pertanian, atau buldoser yang membajak (memastikan benih dimasukkan ke permukaan tanah yang baru dibajak, dan bukan pada tanah yang sudah membentuk kerak). Penting untuk memastikan bahwa tiap spesies disebar pada tingkat target yang telah dipilih. Beberapa metode teknis juga sengaja tidak menyebarkan beberapa jenis benih tertentu.

**Waktu penyemaian:** Waktu penyemaian adalah penting, dan dapat sangat bervariasi tergantung kondisi iklim setempat. Biasanya, waktu terbaik untuk menyemaikan adalah menjelang hujan yang dapat diandalkan, namun di sebagian besar wilayah Australia hujan sukar diprediksi. Riset yang belum lama ini diadakan oleh Alcoa (Ward et al., 1996) telah menunjukkan pentingnya menyemai benih ke tanah lapisan atas yang baru ditebar, meskipun hujan diperkirakan tidak turun selama beberapa bulan.

**Menyebarkan vegetasi:** Di beberapa komunitas tumbuhan, seperti di padang gersang, banyak spesies tumbuhan yang tidak siap melepaskan benihnya. Spesies ini dapat dimasukkan kembali dengan cara mengumpulkan vegetasi dari area-area yang sedang ditebang untuk penambangan, lalu langsung dikembalikan ke area yang baru direhabilitasi. Di sini tumbuhan dapat melepaskan benihnya dan memberi perlindungan terhadap erosi.

Rehabilitasi ini harus selalu dipantau, karena ada banyak ketidakpastian yang berhubungan dengan berbagai aspek penyemaian. Pemantauan ini akan memberikan informasi yang diperlukan untuk mencapai penyempurnaan yang terus menerus, berkaitan dengan pembentukan komunitas tumbuhan yang beraneka ragam.

### **Hydroseeding (penyemaian basah)**

Meskipun biasanya lebih mahal daripada penyemaian konvensional, penyemaian basah terkadang diperlukan untuk membuat vegetasi di lereng, tanggul dan dinding lubang tambang yang curam. Metode ini biasanya dilakukan oleh kontraktor komersial dengan menggunakan mesin hydroseeding yang memompa keluar slurry benih, mulsa (seperti mulsa kertas), zat pengikat dan air. Hydroseeding yang berhasil memerlukan pemilihan spesies dan laju pembenihan yang tepat, serta optimalisasi tingkat pencampuran dan penerapannya.

### **Penanaman benih**

Penanaman benih dengan tangan memiliki keuntungan dan kerugian dibandingkan penyemaian langsung. Keuntungannya antara lain benih yang terbuang lebih sedikit, kepadatan penanaman yang lebih akurat, tingkat hidup yang lebih baik (dalam beberapa kasus tapi tidak semua), dan biasanya lebih tahan jika ada masalah persaingan dengan gulma. Ketika diperlukan pertumbuhan yang cepat (misalnya ketika penghutanan adalah salah satu tujuan rehabilitasi jangka panjang), maka penanaman benih lebih cocok daripada penyemaian langsung.

Sedangkan kerugiannya antara lain biaya yang lebih tinggi dalam pembuatan kebun benih (nursery) (atau membeli tumbuhan dari kebun benih komersial), dan biaya tenaga kerja untuk menanam dengan tangan. Banyak perusahaan menggunakan kombinasi dari penyemaian dan penanaman benih, tergantung dari spesies yang akan dibuat.

Sumber tumbuhan lokal, usia dan ukuran benih ketika ditanam, persiapan lahan, metode penanaman, serta waktu penanaman sehubungan dengan kondisi iklim, semuanya penting untuk membuat rehabilitasi yang berhasil baik dengan metode penanaman benih. Persiapan lahan yang efektif, termasuk pengendalian gulma, adalah hal yang sangat penting.

Pertimbangan yang harus dilakukan:

- Apakah akan menggunakan alat atau mesin penanam
- Tersedianya air untuk tumbuhan (misalnya dengan menanam benih di bagian bawah galur hasil bajakan, tempat mengalirnya air hujan yang langka)
- Apakah akan menyediakan air untuk tumbuhan dengan penyiraman fisik atau membuat sistem jaringan cucuran air (trickle reticulation system). Penyiraman jarang dilakukan dalam proyek rehabilitasi besar karena biayanya yang tinggi dan terkadang terjadi kelangkaan air; namun demikian, penyiraman bisa berperan dalam area-area kecil, yaitu tempat yang sangat sukar untuk melakukan rehabilitasi.
- Penanaman penanaman bibit di atas gundukan tanah, di mana ada masalah air tergenang.
- Memberi perlindungan terhadap persaingan dari gulma, misalnya dengan penyemprotan setempat (*spot spraying*) atau menggunakan matras gulma (*weed mats*)
- Memberi jumlah dan jenis pupuk yang benar
- Memberi perlindungan dari ternak, herbivora liar dan mamalia asli
- Inokulasi dengan mikroba simbiotik.

Menggunakan penanaman untuk meningkatkan keanekaragaman botani mungkin memberi peluangbagus untuk turut melibatkan kelompok-kelompok masyarakat, seperti sekolah, kalangan Aborigin setempat atau kelompok-kelompok konservasi. Namun, cara pendekatan ini membawa dua masalah, yaitu keamanan peserta dan kualitas kerjanya. Risiko yang ada saat membawa tumbuhan, berjalan di tanah yang tidak datar, hawa panas, serta bahaya-bahaya lain harus diidentifikasi dan diatasi dahulu sebelum personil non-pertambangan diizinkan masuk ke lokasi. Hasil kerjanya juga harus diperhatikan agar dapat memenuhi standar kualitas di lokasi.



## Studi kasus: tambang mangan GEMCO, Groote Eylandt, Northern Territory

Groote Eylandt Mining Company (GEMCO) menambang mangan dari sejumlah area pertambangan di pesisir barat Groote Eylandt. Pulau tersebut memiliki area seluas 2260 kilometer persegi dan dimiliki seluruhnya oleh suku Aborigin Anindilyakwa.



Tambang ini terletak di wilayah Australia yang hanya sedikit memiliki pengetahuan akan spesies tumbuhan sehingga rehabilitasi dapat menjadi hal yang sukar. Oleh karena itu, perusahaan meminta bantuan para Pemilik Tradisional untuk membantu mengembalikan tanah mereka seperti dahulu. Di tahun 1997, GEMCO melaksanakan program kerja dan pelatihan bagi suku Anidilyakwan.

Program yang disebut GEMCO Aboriginal Employment Strategy ini kini melibatkan 28 penduduk lokal yang melaksanakan

sebagian besar tugas rehabilitasi di lokasi, termasuk semua pengumpulan benih. Peluang kerja ini memberi mereka ketrampilan untuk mendapat karir yang baik di perusahaan, di industri pertambangan, atau di masyarakat setempat.

Rehabilitasi tambang terbuka ini dimulai dengan membentuk ulang lahan-bentukan (landform), diikuti dengan dua kali pengupasan, mengembalikan tanah subsoil dan topsoil segar, serta melakukan pembajakan sampai 1,4 meter untuk mengurangi kepadatan. Penanaman vegetasi dilakukan dengan benih dan prosedur penanaman yang dirancang untuk mengembalikan sebanyak mungkin jumlah spesies tumbuhan, dengan kepadatan yang menyerupai hutan analog di sebelahnya. Lokasi tambang yang terletak di sebuah pulau berarti penting untuk menggunakan benih yang dikumpulkan di daerah setempat untuk semua pekerjaan revegetasi, karena tumbuhan yang tumbuh dari benih lokal ini lebih dapat beradaptasi terhadap kondisi setempat.



Sekitar 25 spesies pepohonan dan semak-semak lokal dikumpulkan dari area pertambangan untuk penyemaian langsung atau penumbuhan benih untuk ditanam saat musim basah. Jumlah benih yang diperlukan di tiap musim dihitung berdasarkan riset sebelumnya dan lahan yang tersedia. GEMCO mengandalkan pengetahuan lokal para karyawan Penduduk Asli untuk menemukan benih dan mengetahui waktu optimal untuk pengumpulan di area tertentu.

Para anggota regu lalu memasukkan informasi ini ke dalam GIS, untuk memastikan pengetahuan ini tersedia untuk penggunaan di masa depan. Benih dikumpulkan hampir sepanjang tahun dengan menggunakan tongkat pemetik, dengan tangan, atau dengan alat peninggi untuk pohon-pohon yang tinggi. Semua benih lalu dibersihkan untuk membuang kulit ari, kotoran, daging atau bahan tak diinginkan lainnya, yang dapat menghambat germinasi.

Setelah benih dibersihkan dan dikeringkan, akan dicatat data mengenai lokasi, berat dan tanggal pengambilan, lalu benih tersebut akan diolah dengan karbon dioksida untuk mengurangi serangan serangga, lalu disekat hampa udara (vacuum sealed). Benih yang baru dikemas ini lalu ditaruh di sebuah ruang penyimpanan berpendingin udara untuk memaksimalkan viabilitas jangka panjangnya. Pelatihan mengenai aktivitas ini diberikan untuk memastikan pengerjaan yang efisien dan profesional. Kebanggaan para anggota regu ini dalam mengerjakan tugasnya tampak dari kualitas dari benih yang dibersihkan, yang setara dengan semua benih komersial.

Bagian Rehabilitasi GEMCO juga bertanggung jawab atas semua penyemaian langsung, beberapa pekerjaan tanah dan penanaman benih selama musim rehabilitasi, bersama dengan pengendalian gulma di seluruh lahan. Beberapa anggota regu telah pindah ke bidang penambangan utama, dan kini terlibat dalam proses penanganan tanah lapisan atas.

Sebagai para Pemilik Tradisional dari tanah ini, mereka berkepentingan dalam hal ini, dan juga memberi banyak kebanggaan bagi mereka untuk dapat melihat tanah mereka kembali ke keadaan yang semirip mungkin dengan aslinya, berkat jerih payah mereka.

Dengan memanfaatkan pengetahuan tradisional para karyawan mengenai tumbuhan lokal dan perubahan musiman yang mempengaruhi pengumpulan benih di utara Australia, berarti GEMCO dapat memenuhi kebutuhan benihnya setiap tahun dan memahami bahwa orang-orang yang bekerja untuk memulihkan hutan itu tidak sekedar bekerja tapi melihat makna yang lebih dalam.

Bagian Rehabilitasi GEMCO telah banyak melakukan peningkatan dalam praktek kerja rehabilitasi di lima tahun terakhir, serta memenangkan berbagai penghargaan dan pengakuan atas praktek kerja terbaik dalam pekerjaan rehabilitasi. Menerima semakin banyak karyawan dari kalangan Penduduk Asli setempat ke dalam GEMCO juga berarti meningkatkan komunikasi antara para Pemilik Tradisional setempat dengan perusahaan, sebuah faktor penting dalam menjaga hubungan baik.

Sumber: Groote Eylandt Mining Company

## **Mengembangbiakkan spesies yang benihnya sulit berkecambah (recalcitrant species)**

Perusahaan pertambangan yang bertujuan membentuk sebuah komunitas vegetasi yang mengandung aneka ragam botani seringkali menemukan ada spesies tumbuhan tertentu yang sulit atau tidak mungkin ditumbuhkan dari benih, dan tidak siap tumbuh meskipun telah menggunakan tanah lapisan atas. Jika spesies ini harus ditumbuhkan untuk dapat mencapai tujuan rehabilitasi, maka mungkin harus menggunakan prosedur lain seperti kultur jaringan, setek, atau metode-metode lain.

Produksi setek mungkin relatif langsung dan tidak mahal, dan dapat merupakan pilihan yang baik untuk spesies tertentu (misalnya dalam lingkungan hutan hujan). Sebaliknya, kultur jaringan memerlukan peralatan laboratorium yang mahal dan biasanya hanya cocok untuk spesies prioritas tinggi, seperti yang langka atau memenuhi peran fungsi penting, atau jika prioritasnya adalah untuk menumbuhkan rangkaian spesies lengkap seperti yang tumbuh di lokasi referensi yang tidak ditambang.

Di tahun 2003 Alcoa World Alumina Australia menggunakan kultur jaringan dan setek untukembangbiakkan tumbuhan yang benihnya sulit berkecambah. Perusahaan menggunakan metode ini untuk menghasilkan dan menanam 184.000 tumbuhan dari 23 spesies yang berbeda, dengan biaya rata-rata sekitar US\$2.80 per tumbuhan di tanah itu.

### **Pencangkakan**

Mencangkok seluruh tumbuhan atau serumpun tumbuhan dapat menjadi cara yang efektif untuk menumbuhkan suatu spesies dalam keadaan tertentu. Sebagai contoh, Consolidated Rutile Limited menggunakan metode ini untuk menumbuhkan grasstrees (*Xanthorrhoea johnsonii*) di area rehabilitasi pada tambang pasir mineralnya di North Stradbroke Island di Queensland, Australia. Tumbuhan Grasstree ini merupakan komponen penting dari ekosistem sebelum penambangan, dan berfungsi sebagai habitat fauna yang berharga. Namun demikian, pertumbuhannya sangat lambat dan meskipun sudah termasuk dalam campuran benih, tumbuhan memerlukan berpuluh tahun untuk mencapai tingkat kematangannya. Perusahaan menangani masalah ini dengan menggunakan ekskavator dan truk untuk mencangkok seluruh tumbuhan, dengan tingkat keberhasilan mencapai 90 persen.

Pencangkakan juga merupakan sebuah cara yang hemat untuk menumbuhkan rumput purun dan rumput teki di area rawa-rawa. Sukar mengambil benih dari banyak spesies jenis ini, dan paras muka air yang terus berfluktuasi dapat mengakibatkan tingkat keberhasilan penyemaian yang rendah. Pencangkakan seluruh rumpun dengan interval jarak di sepanjang batas perairan merupakan cara yang jauh lebih andal untuk menumbuhkan dengan cepat vegetasi yang menyelusuri tepi perairan.

### **Pemindahan habitat**

Meskipun umumnya mahal dan hanya digunakan dalam keadaan khusus, transfer habitat adalah satu pilihan lain untuk membentuk keanekaragaman botani jika metode lain gagal. Metode ini melibatkan pengumpulan dan pencangkakan seluruh rumpun tumbuhan dalam petak-petak misalnya dengan menggunakan loader front-end. Metode ini terbukti bermanfaat dalam skala kecil, ketika penumbuhan spesies sulit tertentu atau kombinasi dari spesies merupakan prioritas tinggi.

### **Rekolonisasi alami**

Seiring waktu, rekolonisasi alami dapat menyebabkan tumbuhnya berbagai spesies tumbuhan asli melalui masuknya benih ke lahan oleh angin, air atau fauna (misalnya benih di dalam kotoran burung). Perusahaan harus memahami spesies mana yang dapat melakukan rekolonisasi dengan cepat dan dalam jumlah yang dapat diterima, dan spesies mana yang akan lebih lama. Kurang masuk akal untuk membeli dan menanam benih spesies yang akan

tumbuh kembali secara alami dalam jangka waktu yang dapat diterima. Namun demikian, jika rekolonisasi alami ini memerlukan waktu yang sangat lama, mungkin diperlukan penyemaian atau penanaman benih untuk menumbuhkan beberapa spesies utama agar dapat mencapai tujuan rehabilitasi dan ekspektasi pemangku kepentingan. Selama operasi penambangan, penting untuk melindungi komunitas vegetasi asli di sebelah tambang, untuk menyediakan sebuah sumber benih sekaligus memfasilitasi rekolonisasi alami.

## 4.10 Membentuk komunitas fauna

Jika tujuan rehabilitasi adalah untuk membentuk sebuah ekosistem asli yang berkelanjutan, maka harus turut mempertimbangkan kebutuhan akan habitat fauna. Rekolonisasi spesies fauna ke area rehabilitasi dapat didorong dengan adanya habitat yang sesuai. Pembentukan komunitas vegetasi yang mirip dengan yang ada sebelum penambangan harus memastikan bahwa sebagian besar spesies akan ada kembali (rekolonisasi) seiring waktu. Rekolonisasi fauna secara alami selalu lebih diharapkan daripada memasukkan hewan secara fisik, karena tidak ada biaya yang terlibat dan fauna akan kembali jika habitatnya memenuhi persyaratan yang mereka butuhkan.

### 4.10.1 Mengendalikan hewan bermasalah

Hewan juga dapat menyebabkan masalah besar dalam pengembangan rehabilitasi. Ternak yang mencari rumput mungkin harus dipisahkan dengan cara memberi pagar selama periode pembentukan, atau mungkin lebih lama. Mamalia asli yang merumput seperti kanguru dan wallaby juga dapat menjadi masalah dan mungkin memerlukan pengaman pohon (selubung yang melindungi tumbuhan muda) atau metode lain yang tidak berbahaya bagi satwa liar itu sendiri. Herbivora yang dibawa masuk (seperti kelinci dan kambing) dapat membunuh tumbuhan yang baru mulai tumbuh.

Predator liar (misalnya rubah dan kucing hutan) merupakan masalah lain dalam membentuk ekosistem yang berfungsi baik. Hewan-hewan ini dapat banyak mengurangi jumlah mamalia asli, sehingga akhirnya mengurangi populasi sumber persediaan hewan.

Diperlukan sebuah rencana pengelolaan fauna untuk mengatasi masalah-masalah ini. Departemen pertanian pemerintah negara bagian dan teritori dapat memberi sumber informasi tentang pengendalian hewan liar ini.

### 4.10.2 Membangun habitat fauna

Pengalaman menunjukkan bahwa beberapa komponen utama dari persyaratan habitat spesies fauna mungkin tidak muncul dalam rehabilitasi selama berpuluh-puluh tahun. Contoh-contoh bagaimana beberapa perusahaan mengatasi kekurangan habitat ini antara lain:

- Pencangkokan grasstree
- Konservasi dan penggunaan kembali vegetasi dengan cara setek atau menyebarkannya kembali sebagai mulsa, dahan-dahan untuk memberi perlindungan bagi invertebrata dan reptil, perlindungan erosi dan nutrisi
- Pembuatan kotak sarang untuk menjadi rumah dan habitat berkembang biak bagi banyak spesies burung dan mamalia
- Pengembalian pohon-pohon yang telah ditebang, untuk membentuk perlindungan dari kayu tebang dan timbunan batang kayu, sehingga spesies yang berdiam di dalam tanah dapat berlindung di sana atau di bawahnya

- Pembangunan habitat reptil dengan menggunakan batuan permukaan
- Pembangunan tempat bertengger yang akan digunakan raptor dan burung-burung lain (yang mungkin membawa serta benih)
- Penempatan pohon-pohon mati yang menyediakan rongga, celah retakan, kulit kayu yang terkelupas, semua ini menyediakan perlindungan yang bermanfaat bagi reptil kecil dan spesies invertebrata.

Sebuah proyek dari Australian Centre for Minerals Extension and Research (ACMER) yang berjudul Teknik Inovatif untuk Membentuk Habitat Fauna Setelah Penambangan memberikan saran-saran praktis mengenai metode yang digunakan perusahaan pertambangan untuk membentuk habitat ini dan habitat fauna lainnya (lihatlah pada <[www.acmer.com.au](http://www.acmer.com.au)>).

#### **4.11 Revegetasi pada area yang tidak ditambang**

Tujuan rehabilitasi harus dikembangkan berdasarkan wawasan seluruh area sewa lahan, dengan mempertimbangkan pandangan dari masyarakat dan pemangku kepentingan lainnya, rencana regional tataguna lahan, rencana pengelolaan daerah tangkapan air, program-program Landcare (kelompok-kelompok otonomi dari masyarakat yang peduli lingkungan) dan prakarsa lainnya. Banyak pertambangan berlokasi di dekat jalur air yang sudah menurun kualitasnya, lahan yang sudah ditebangi atau rumputnya sudah habis, serta area semak-semak yang sudah menurun kualitasnya, dan terisolasi dari area semak-semak lainnya.

Memasukkan rehabilitasi area yang tidak ditambang ke rencana rehabilitasi tambang dapat membangun keterkaitan yang berharga dengan masyarakat dan meningkatkan hasil pengelolaan lingkungan keseluruhan. Beberapa tambang berusaha mengembangkan penyeimbangan keanekaragaman hayati. Ini memberikan peluang bagus untuk memadukan rehabilitasi tambang ke dalam strategi perencanaan konservasi regional. Perlindungan dan rehabilitasi dari area yang menurun kualitasnya (hutan, rawa-rawa), pembuatan koridor-koridor yang menghubungkan beberapa vegetasi yang tersisa, serta melakukan revegetasi di tepian sungai untuk meningkatkan keanekaragaman hayati akuatik merupakan contoh-contoh penyeimbangan keanekaragaman hayati yang dapat meningkatkan nilai konservasi di daerah setempat. Tujuan rehabilitasi lain mungkin berfokus untuk meminimalkan dampak sekunder dari operasi penambangan, misalnya dengan mengendalikan erosi yang dapat meningkatkan beban sedimen di hilir, dan mempengaruhi kualitas air dan biota akuatik.

Selain teknik-teknik revegetasi standar, rehabilitasi area yang menurun kualitasnya dapat mencakup:

- Mengurangi aktivitas merumput
- Mengendalikan hewan liar
- Pengelolaan kebakaran
- Penghilangan gulma
- Pembuatan kotak-kotak sarang
- Teknik-teknik lain untuk melindungi kualitas air, meningkatkan nilai-nilai konservasi, dan menyediakan sumber hewan dan tumbuhan dalam jangka panjang.

Konservasi setempat dan kelompok Landcare merupakan sumber informasi yang bagus untuk mengetahui inisiatif apa saja yang terbukti paling hemat biaya.

## 4.12 Pembuatan padang rumput dan hutan komersial

Meskipun banyak rehabilitasi pasca-tambang di Australia kini dirancang untuk menghasilkan ekosistem asli, pembuatan padang rumput yang cocok untuk ternak merumput masih banyak dilaksanakan, khususnya di industri tambang batu bara New South Wales dan Queensland. Teknik-teknik yang telah berhasil dilaksanakan selama bertahun-tahun dirangkum dalam buku karya Hannan (1995) dan Hannan dan Bell (1993). Teknik-teknik ini antara lain berupa pengujian tanah untuk menentukan tingkat pupuk yang disyaratkan, dan jika diperlukan, upaya perbaikan tanah seperti dengan kapur. Padang rumput biasanya dibuat dengan menggunakan alat penyemaian pertanian yang standar. Baru-baru ini diadakan penelitian yang berfokus untuk menyusun panduan pengelolaan jangka panjang (intensitas ternak, kebutuhan pupuk) agar tagaluna lahan yang dimaksudkan dapat berkelanjutan (Grigg et. al., 2002).

Beberapa tambang memilih produksi kayu sebagai salah satu tataguna lahan pasca-tambang yang utama mereka. Informasi teknis mengenai pembangunan perkebunan biasanya banyak tersedia dari departemen pemerintah negara bagian dan teritori yang relevan, konsultan dan organisasi kehutanan swasta.

Elemen-elemen kunci untuk pembuatan perkebunan yang berhasil mencakup pemilihan spesies, pengolahan lahan (termasuk pembajakan dalam, pengendalian gulma, pemupukan), pengaturan jarak tumbuhan, perawatan setelah jadi, pemantauan dan pengerjaan silvikultur, serta pengerjaan panen, penggilingan dan pemasaran. Tambang batu bara Rix's Creek di Hunter Valley, New South Wales, telah melakukan kesepakatan untuk membangun perkebunan komersial, sedangkan beberapa tambang lain kemungkinan besar akan mengikuti jejaknya.

## 4.13 Pemantauan dan pemeliharaan

Pemantauan dan pemeliharaan merupakan komponen penting dari program rehabilitasi yang berhasil baik. Saat melaksanakan rehabilitasi, perincian mengenai operasi rehabilitasi ini harus didokumentasikan dengan seksama. Pencatatan data ini mempunyai dua tujuan. Pertama agar dapat melakukan analisis yang mungkin penting dalam membantu menjelaskan hasil pembangunan awal serta tren arah jangka panjang. Selain itu, informasi ini juga dapat digunakan sebagai daftar yang dapat diaudit, untuk mengkonfirmasi kepada badan yang disepakati telah terpenuhi.

Di saat pembangunan rehabilitasi selesai, seharusnya dilaksanakan pemantauan untuk menilai keberhasilan rehabilitasi awal, mengungkapkan kebutuhan untuk tindakan pemulihan dan menentukan apakah rehabilitasi akan dapat memenuhi tujuan jangka panjang dan kriteria



## 5.0 PENUTUP

Perencanaan rehabilitasi harus dilaksanakan di tahap awal pengembangan proyek, dan dikembangkan dalam konteks tujuan penutupan tambang keseluruhan. Selama penambangan, riset dan uji coba di lokasi memungkinkan program rehabilitasi ini untuk terus diperbaiki agar sesuai dengan parameter spesifik dari lokasi yang bersangkutan. Pada saat penutupan tambang, lahan-bentukan (landform) final telah terbentuk dan program rehabilitasi progresif dapat diperluas agar mencakup sisa-sisa area terganggu yang masih ada. Elemen terpenting dari program rehabilitasi setelah penutupan tambang adalah penyempurnaan kriteria keberhasilan dan pembuatan program pemantauan jangka panjang. Tujuannya adalah untuk menunjukkan bahwa area yang direhabilitasi bergerak menuju suatu ekosistem yang stabil dan berkelanjutan, konsisten dengan kriteria penutupan tambang yang telah didefinisikan sebelumnya.

### 5.1 Konsultasi selama penutupan tambang

Saat menuju penutupan tambang, kriteria penutupan harus mampu menunjukkan keberhasilan rehabilitasi. Baik badan berwenang dan masyarakat lokal dapat berperan penting dalam menyusun kriteria ini dan metode pemantauan yang dipilih untuk menilai kinerjanya. Hal ini semakin penting jika komponen-komponen dalam lokasi tambang yang ditutup tersebut akan dimanfaatkan oleh masyarakat lokal.

Mungkin juga ada peran bagi masyarakat lokal dalam pemantauan keberhasilan rehabilitasi di jangka panjang. Beberapa ekosistem mungkin memerlukan berpuluh-puluh tahun untuk membangun kembali lahan, dan peringatan dini mengenai potensi masalah dapat menghindari program pemeliharaan yang mahal.

### 5.2 Penyusunan kriteria keberhasilan rehabilitasi

Dari sudut pandang industri, badan berwenang dan masyarakat terdapat pengakuan yang luas terhadap perlunya suatu kriteria, untuk menentukan kapan suatu rehabilitasi dianggap berhasil atau selesai. Kriteria keberhasilan rehabilitasi harus berdasarkan pada prinsip-prinsip ekologi. Kriteria yang berdasarkan pada indeks vegetasi yang samlubang tambang (pit) atau satu parameter kimia saja telah banyak terbukti tidak memadai. Juga dibutuhkan suatu kombinasi atribut di tingkat bentang alam (landscape) dan kemampuan mengatasi sifat ekosistem yang lebih spesifik. Kriteria ini juga harus langsung diterjemahkan ke dalam program pemantauan operasi, dengan menggunakan data survei lapangan dan peta-peta yang diturunkan dari gambar yang diambil dari jarak jauh. Informasi lebih lanjut mengenai subyek ini terdapat dalam buku pedoman Penutupan dan Penyelesaian Tambang dalam seri ini.

### 5.3 Penyusunan program pemantauan rehabilitasi

Industri pertambangan telah mendukung banyak program-program riset yang telah menampilkan berbagai teknik berharga untuk mengkaji stabilitas lahan serta keberlanjutan, dinamika, fungsi vegetasi dan proses-proses ekosistem di lahan yang direhabilitasi. Terdapat berbagai cara pendekatan yang baru dan inovatif, yang telah terbukti bermanfaat dalam konteks pengukuran proses erosi dan pengembangan ekosistem. Untuk yang terakhir, telah digunakan berbagai teknik, mulai dari indikator ekologi berskala luas di skala bentang alam sampai ke



penentuan populasi spesies dan respon fisiologi. Kombinasi indikator yang mewakili cara pendekatan yang paling menjanjikan sebagai parameter ekosistem telah diselidiki pada berbagai skala yang berbeda.

Urutan proses untuk merancang dan menerapkan sebuah program pemantauan rehabilitasi dijabarkan dalam bagian ini. Langkah-langkah seharusnya dikembangkan di tahap perencanaan awal, dan diterapkan selama tahap operasional tambang secara progresif, tapi dimasukkan di sini sebagai bahan penguat dan pelengkap.

### **5.3.1 Menetapkan sasaran rehabilitasi**

Tahap awal ini idealnya dilaksanakan bersama-sama dengan para pemangku kepentingan utama untuk membahas dan menyepakati kriteria keberhasilan rehabilitasi. Kriteria keberhasilan ini harus turut mempertimbangkan sifat area yang direhabilitasi, tujuan tataguna lahan pasca-tambang, dan semua keterbatasan atau potensi keterbatasan untuk mencapai penggunaan akhir yang diinginkan ini. Seperti yang telah dibahas dalam bagian sebelumnya di buku pedoman ini, keterbatasan ini dapat mencakup sifat-sifat kimia, geokimia, fisik, biologi atau hidrologi dari bentang alam dan substrat yang direkonstruksi.

Mungkin ada kriteria keberhasilan yang berbeda untuk domain atau bagian yang berlainan dalam tambang, misalnya area penimbunan batuan sisa/buangan tambang (waste rock), fasilitas penyimpanan tailing, lubang, jalur air dan jalur pengalihan air, serta area infrastruktur.

Jika area rehabilitasi akan dikembalikan ke komunitas aslinya dan diharapkan akan berkelanjutan dan mengandung spesies lokal, mungkin ada komunitas yang cocok di bentang alam sekitar yang dapat berfungsi sebagai lokasi referensi atau 'analog' (lihatlah Bagian 5.3.2). Namun demikian, mengingat sifat proses penambangan dan bentuk alam baru dan lingkungan pertumbuhan yang direkonstruksi, pemilihan lokasi ini tidak serta-merta tampak. Penting untuk memiliki pemahaman akan interaksi antara medium pertumbuhan, tumbuhan dan iklim untuk mencocokkan komunitas yang direkonstruksi dengan lokasi referensinya. Di banyak wilayah Australia, vegetasi terutama akan bereaksi terhadap perubahan kelembaban dan kandungan nutrisi, dan reaksi yang lebih kecil terhadap variabel lain seperti tingkat ketinggian atau pemancaran sinar matahari. Oleh karena itu, prioritas utama harus untuk menyelidiki kombinasi dan interaksi dari sejumlah faktor, seperti posisi bentang alam (area aliran masuk atau keluar), lereng, kedalaman dan tekstur tanah (atau zona akar), sifat permukaan tanah dan kimiawi tanah.

Jika salah satu tujuan penggunaan pasca-tambang adalah membentuk area merumput dengan intensitas rendah, maka diperlukan sebuah penilaian berbasis risiko untuk mendefinisikan kriteria keberhasilan utama. Misalnya, mungkin perlu dilakukan riset/uji coba dengan target khusus, untuk menyelidiki masalah daya dukung yang berkelanjutan atau masalah potensi kontaminasi logam.

### **5.3.2 Peranan analog**

Perencanaan rehabilitasi lahan-bentukan yang telah ditambang memerlukan pengetahuan mendalam tentang kondisi sebelum tanah diganggu. Diperlukan catatan ekologi dasar untuk memberi informasi mengenai komposisi spesies, dan idealnya turut memperhitungkan tahap-tahap vegetasi selanjutnya. Ekosistem akan menunjukkan fluktuasi alami, yang bervariasi antara satu lahan dengan lahan yang lainnya, akibat dari heterogenya lingkungan alami. Oleh karena itu, satu sistem referensi saja biasanya tidak memadai. Harus digunakan beberapa lokasi referensi untuk pengukuran dinamika petak tanah dan heterogenitas lahan. Diperlukan pula sistem tolok ukur (benchmarking) untuk mengakui dan memperhitungkan ketidaksesuaian



yang disebabkan oleh perbedaan dalam tahap pengembangan, yaitu antara lahan rehabilitasi muda dengan lahan referensi yang telah matang secara ekologi.

Penting untuk tidak memilih analog dan menetapkannya sebagai target komparatif untuk rehabilitasi. Karena, gangguan hidrologi dan nutrisi yang besar yang terjadi pada komunitas yang direhabilitasi telah menciptakan sebuah lingkungan yang amat jauh berbeda dengan kondisi yang terjadi pada lahan analog di dekatnya. Tataguna lahan analog juga didorong oleh asumsi bahwa lahan tersebut mencerminkan keadaan ekosistem yang optimal. Dalam banyak kasus, hal ini tidak selalu benar, karena ada dampak manusia seperti ternak yang merumput, kebakaran, dan kegiatan lain sebelum penambangan.

Meskipun standar-standar komparatif mungkin kurang sempurna, terdapat manfaat dalam menentukan area tolok ukur atau lokasi referensi dalam sistem yang tidak ditambang, yaitu agar pengaruh iklim dan musim yang mungkin berdampak pada perkembangan rehabilitasi dapat dinilai. Selain variasi dalam komposisi spesies, lokasi referensi ini juga memberi panduan mengenai tingkat dan jenis lapisan penutup yang ada dan dampak dari lapisan penutup tersebut pada kualitas dan kuantitas air limpasan.

Pengamatan pada berbagai jenis lingkungan, dan dari skala bentang alam (landscape) sampai topografis mikro, menunjukkan bahwa ketersediaan air adalah pendorong utama penyebaran spasial pada komunitas vegetasi. Juga telah diamati bahwa gerakan air di bawah bentang alam dapat mempengaruhi akumulasi dan ketersediaan nutrisi. Prinsip ini memberikan dasar pemahaman mengenai potensi lahan yang direkonstruksi, dan mendukung pemilihan referensi atau komunitas analog yang logis (dan dapat dipertahankan).

### 5.3.3 Memilih parameter pemantauan

Parameter apa yang dipantau dan seberapa sering (frekuensinya) tergantung pada informasi apa yang diberikan oleh parameter tersebut, berapa sensitif responnya, korelasinya dengan proses-proses dan kemampuan prediksi pada ekosistem yang telah diketahui, kemudahan (dan biaya) pengukuran, serta kemampuan berulangnya (repeatibility) atau tingkatan subyektivitasnya. Terdapat banyak pilihan parameter pemantauan, tapi harus mencakup parameter-parameter yang telah diketahui atau diperkirakan akan paling berpengaruh terhadap kestabilan lokasi dan pembentukan vegetasi yang berhasil baik, serta pembangunan dan keberlanjutannya.

Umumnya, pemantauan rehabilitasi mencakup:

- Penilaian kestabilan permukaan (dan lereng)
- Kinerja lapisan penutup yang dibuat (jika ditaruh di atas limbah tambang atau limbah pemrosesan mineral)
- Sifat-sifat pada tanah atau medium zona akar (seperti sifat kimia, kesuburan dan hubungan airnya)
- Atribut-atribut struktural pada komunitas tumbuhan (misalnya sebagai lapisan penutup, kepadatan dan tinggi spesies kayu)
- Komposisi komunitas tumbuhan (seperti hadirnya spesies yang diinginkan, gulma)
- Beberapa indikator terhadap ekosistem yang berjalan (seperti biomassa mikroba tanah).

Pemantauan juga dapat diperluas sampai tahap survei terhadap kelompok-kelompok fauna untuk menilai kembalinya mereka (termasuk mamalia dan burung), atau sebagai indikator

hayati dari tren ekosistem yang lebih luas (misalnya semut).

Contoh parameter yang dapat diukur pada sebuah lokasi tertentu untuk mendukung kriteria yang spesifik terhadap lokasi antara lain:

#### **Primer**

- erosi
- karbon organik tanah
- tutupan permukaan tanah (bendah hidup, serasah, bebatuan)
- kekayaan spesies vegetasi

#### **Sekunder**

- biomassa mikroba tanah
- nitrogen dan fosforus dedaunan
- kehadiran gulma
- aktivitas mikrosimbion
- aktivitas fauna (invertebrata).

Di dalam kerangka kerja pemantauan di atas, dibuat perbedaan antara parameter primer dan sekunder. Dalam contoh di atas, parameter urutan primer bersifat wajib dan diagnostik, sedangkan parameter urutan sekunder lebih bersifat preskriptif dan inkuisitif. Parameter urutan sekunder dianggap penting ketika hasil dari parameter urutan primer mengindikasikan bahwa kriteria keberhasilan tidak dapat terpenuhi atau kemungkinan besar tidak dapat terpenuhi. Dalam kerangka waktu perluasan program pemantauan, frekuensi pengukuran parameter urutan sekunder mungkin lebih pendek daripada parameter urutan primer.

Meskipun beberapa atribut tumbuhan dan tanah tidak terpengaruh secara musiman, penting untuk melakukan standarisasi waktu pengumpulan data untuk atribut yang lain. Di bagian utara Australia misalnya, disarankan untuk melakukan survei di akhir musim basah agar berbarengan dengan pertumbuhan tanaman yang optimal dan aktivitas biologi terkait lainnya.

Pengukuran erosi dapat mengambil sejumlah cara pendekatan:

- menjebak dan mengukur sedimen hasil erosi di limpasan (run-off)
- mengambil contoh limpasan untuk mengukur kandungan sedimen dalam limpasan
- mengukur perubahan tinggi dalam area yang terkena erosi untuk memperkirakan volume bahan yang terkikis.

Penggunaan petak dengan instrumen khusus dapat memberikan pengukuran akurat limpasan dan kandungan sedimen di dasar dan yang terapung. Hal ini sangat bermanfaat jika akan memeriksa keseimbangan air & tanah dan gerakan sedimen di luar lokasi. Metode ini biasanya memberikan data yang berkualitas baik, tapi relatif membutuhkan banyak tenaga kerja dan petaknya harus ditempatkan dengan hati-hati agar dapat memberikan data yang bermanfaat.

Mengambil contoh sedimen dalam limpasan hanya relevan untuk pertimbangan kandungan yang terapung (karena sukarnya mengambil contoh limpasan yang membawa sedimen di dasar) dan sekali lagi membutuhkan masukan yang signifikan dari lokasi.

Telah digunakan berbagai teknik untuk mengukur volume erosi pada suatu area yang diminati. Sebagian besar bergantung pada besaran erosi, tapi umumnya metode yang berdasarkan pada pemindaian (scanning) laser atau fotogrametri digital mampu memberi pengukuran yang relatif akurat terhadap perubahan volume. Pengukuran langsung dari volume galur dan parit bisa bermanfaat dalam keadaan tertentu, tapi metode yang menggunakan pin erosi cenderung tidak akurat dan kurang memuaskan.

### **5.3.4 Pemilihan metode pemantauan**

Personil bidang lingkungan di lokasi pertambangan menghadapi berbagai jenis alat-alat dan teknik penilaian. Mereka harus menentukan bagaimana data dari berbagai teknik ini dapat dipadukan, apakah ada kekurangan di antara penilaian fungsi rehabilitasi, dan teknik mana yang paling tepat untuk lokasi dan keadaan yang spesifik. Teknik-teknik baru juga harus dipadukan dengan pengumpulan data jangka panjang yang sudah ada, dan pengukuran di tingkat tumbuhan harus diintegrasikan dengan pengukuran di tingkat komunitas dan bentang alam (landscape).

#### **Transects**

Metode yang berbasis transect seringkali dianggap cocok untuk pengumpulan data di berbagai jenis bentang alam dan usia revegetasi. Metodologi ini akan menilai dengan baik unit-unit tanah yang direhabilitasi dengan berbagai ukuran dan bentuknya, sekaligus menilai variabilitas dalam hal aspek, lereng dan komposisi substrat yang ada di masing-masing unit. Sebuah protokol pengambilan contoh dengan menggunakan kuadrat dapat dipadukan dengan metode transect ini, untuk mendapatkan detail yang lebih mendalam tentang komposisi dan keanekaragaman spesies penutup tanah dan permukaan lain, yang penting dari sudut pandang stabilitas dan fungsionalitas.

#### **Analisis fungsi ekosistem**

Dalam beberapa tahun terakhir, sebuah cara baru untuk memantau rehabilitasi lokasi tambang yang bernama ecosystem function analysis (EFA/analisis fungsi ekosistem), juga telah digunakan di sejumlah tambang. EFA yang dikembangkan oleh CSIRO ini menyediakan sebuah metode pemantauan yang ditransfer dari penggunaan awalnya di ekosistem pegunungan dan diadaptasi untuk digunakan dalam situasi lokasi pertambangan. Seperti yang dijabarkan dalam buku karya Tongway (2001), metode ini terdiri dari komponen primer berupa analisis fungsi bentang alam yang mengamati fitur permukaan tanah untuk memperkirakan (dan menghitung) indeks stabilitas tanah, penyerapan dan daur nutrisi. Modul tambahan berupa dinamika vegetasi dan kompleksitas habitat melengkapi paket analisis ini.

Dalam sejumlah penelitian validasi yang membandingkan daya informasi dalam metode EFA dengan metodologi yang lebih kuantitatif, teknik ini terbukti paling baik jika ada homogenitas substrat yang relatif tinggi di seluruh bentang alam yang direhabilitasi, dan jika teknik rehabilitasi cukup konstan selama bertahun-tahun.

#### **Penerapan sensor jarak jauh**

Penerapan sensor jarak jauh (remote sensing) atau pemantauan berdasarkan gambar semakin banyak memainkan peran dalam penilaian rehabilitasi lokasi tambang. Sensor jarak jauh ini dikembangkan sebagai alat untuk memperluas hubungan berbasis lapangan, dan menyediakan sebuah cara untuk memfokuskan penelitian lapangan dalam skala seluruh usia tambang. Metode ini akan mengumpulkan data lapangan dan serangkaian data gambar yang berkorelasi dengan data lapangan tersebut, untuk memberikan penghitungan pengukuran berskala-petak dari seluruh lokasi.

Munculnya sensor udara yang berkualitas tinggi beberapa tahun yang lalu memberi potensi suatu kerangka kerja yang hemat sekaligus akurat untuk merencanakan, menilai dan memantau area yang direhabilitasi dengan menggunakan sensor jarak jauh. Data hiperspektral udara dapat menawarkan sejumlah keuntungan dibandingkan dengan data yang disensor jarak jauh melalui broadband, seperti foto udara dan jenis-jenis pengambilan gambar dari satelit (Landsat). Gambar-gambar dan spektra dengan resolusi tinggi yang baru-baru ini tersedia dari satelit terbaru (Quickbird dan SPOT 5), memberikan peluang yang lebih baik untuk mengidentifikasi dan memantau keberhasilan rehabilitasi.

### **5.3.5 Mengkaji hasil pemantauan**

Pelaporan hasil pemantauan setiap tahun atau secara teratur mungkin sudah diwajibkan oleh peraturan, meskipun manfaat sebenarnya dari pemantauan ini adalah dalam akumulasi informasi selama jangka waktu yang lebih lama. Dengan ini, tren pengembangan rehabilitasi dibandingkan dengan lokasi referensi dan trajektori komunitas rehabilitasi yang berkaitan dengan pengerjaan awalnya atau kondisi setelah pembentukannya dapat diidentifikasi. Ini dapat membangun kepercayaan atas teknik yang digunakan, bukan saja bagi perusahaan tapi juga bagi badan berwenang dan para pemangku kepentingan lainnya. Pengkajian informasi pemantauan secara periodik juga dapat mengidentifikasi adanya kekurangan informasi atau menyoroti masalah-masalah yang masih memerlukan penyelidikan atau tindakan pemulihan lebih terperinci.

## **5.4 Penyusunan panduan pemantauan**

Manfaat terbesar dari program pemantauan adalah ketika digabung dengan informasi mengenai apa yang terjadi pada area rehabilitasi tertentu. Catatan sejarah area rehabilitasi akan menghubungkan kinerja saat ini dengan praktek kerja rehabilitasi, sehingga kita dapat mengetahui metode-metode yang terbaik dan memperbaiki masalah yang masih ada. Kedua set informasi ini (masa lalu dan masa kini) penting dalam melengkapi serangkaian masukan sehingga langkah penyempurnaan yang terus menerus dapat tercapai.

Informasi dasar yang harus didokumentasikan untuk setiap area rehabilitasi mencakup persiapan tanah, penggunaan tanah lapisan atas (jika ada) beserta sumber dan cara penanganannya, jenis pupuk, tingkat dan sejarahnya, campuran benih yang dipakai di lokasi, serta waktu aktivitas atau terjadinya peristiwa gangguan misalnya kebakaran. Batas-batas area rehabilitasi yang mendapatkan pengerjaan yang sama juga harus dicatat. Informasi lain yang secara rutin dicatat di lokasi seperti curah hujan, kelembaban relatif, suhu dan kecepatan angin juga sangat bermanfaat dalam memahami mengapa kita mendapatkan hasil rehabilitasi tertentu.

Buku panduan pemantauan harus menetapkan metode-metode dan protokol yang diperlukan untuk melakukan program pemantauan yang ilmiah terhadap atribut-atribut tanah dan vegetasi, di dalam program rehabilitasi lokasi tambang. Buku ini harus cukup sederhana dan fleksibel agar dapat dimodifikasi dan disempurnakan setelah ada hasil dari penerapan prosedur dan pengukuran yang berulang kali, dan harus dapat mencerminkan perubahan pada praktek rehabilitasi yang mungkin harus dilakukan di masa depan.

Setelah mendokumentasikan sejarah lokasi rehabilitasi dan semua komponen yang turut mendasarinya sampai ke selesainya penyemaian dan penanaman benih, buku ini juga harus menjelaskan rencana pemantauan setelah rehabilitasi terbentuk, termasuk:

- Keterangan tentang lokasi transect, jumlah transect, dan alasan untuk memilih lokasi transect
- Lokasi kuadrat di sepanjang transect untuk bisa melakukan penilaian yang lebih terperinci terhadap parameter tertentu, di luar titik percontohan
- Apa yang harus diukur di sepanjang transect (di mana dan bagaimana caranya)
- Persyaratan cara menyimpan dan merawat contoh yang dikumpulkan sebelum dianalisis.

## 5.5 Pengembalian kuasa penambangan

Mining companies undertake rehabilitation of disturbed ground to comply with state and territory environmental regulations and conduct monitoring of established areas to assess performance. The aim is to demonstrate the presence of a stable non-polluting landform, thereby facilitating relinquishment of the lease and release of the company from ongoing liability. Government regulators, however, may be reluctant to provide sign-off and take on the risk of future liabilities.

There are two principal areas of uncertainty. The first area of uncertainty is that the rehabilitation will fail at some time after mine closure (that is, it is non-sustainable), a risk that can be minimised by targeted research and the informed interpretation of long-term monitoring data and trends. The second area of uncertainty, and one that has received far less attention, is that the quality of rehabilitation can be spatially highly variable due to the heterogeneity of growth media resulting from the mining or mineral processing operations. Rehabilitation meeting or exceeding the set criteria in one location may well fail a short distance away. Given that rehabilitation monitoring or sampling is usually undertaken on a point basis, there remains uncertainty in the interpretation of data.

The rehabilitation plan should recognise and address variations in the underlying waste rock quality that are known to potentially impact on revegetation outcomes. This would enable the depth of the often limiting topsoil or root zone material to be varied depending on the properties of the mine waste below. Such an approach should lead to greater consistency in the quality of rehabilitation outcomes and minimise costly remedial work.

A well developed and implemented monitoring program can demonstrate that rehabilitated areas are conforming to predicted successional changes. This gives confidence to all pemangku kepentingan that the predicted outcomes will be achieved in the longer term.



## 6.0 RANGKUMAN

Rehabilitasi adalah proses utama yang digunakan untuk meredakan dampak jangka panjang dari penambangan terhadap lingkungan. Tujuan rehabilitasi ini bervariasi, mulai dari sekedar mengubah sebuah area ke kondisi yang aman dan stabil, sampai memulihkan sedapat mungkin ke kondisi sebelum penambangan, untuk memastikan keberlanjutan dan kelestarian lokasi di masa depan.

Rehabilitasi tambang merupakan bagian penting dalam pengembangan Sumberdaya mineral yang sesuai dengan prinsip-prinsip praktek kerja unggulan untuk pembangunan yang berkelanjutan. Rehabilitasi bukan proses yang hanya dipertimbangkan pada waktu atau sesaat sebelum penutupan tambang. Melainkan, harus menjadi bagian dari suatu program terpadu dalam perencanaan dan pengelolaan yang efektif di seluruh tahapan pengembangan dan operasi tambang.

Buku pedoman ini membahas rehabilitasi dalam seluruh tahap-tahap pengembangan tambang, termasuk tahap perencanaan, operasi dan penutupan. Di dalamnya terdapat prinsip-prinsip dan praktek kerja rehabilitasi tambang dengan fokus pada perancangan dan revegetasi lahan-bentukan (landform). Penekanan tertentu diberikan pada perbaikan ekosistem alami, khususnya penumbuhan kembali flora asli.

### Pesan-pesan utama

Poin-poin berikut merangkum pesan-pesan utama dalam buku pedoman ini:

#### Perencanaan

- Mengembangkan sebuah rencana rehabilitasi selama tahap perencanaan yang akan terus berubah, setelah tersedianya hasil-hasil dari riset dan uji coba lapangan
- Memastikan karakterisasi sejak awal terhadap bahan-bahan yang akan direhabilitasi, untuk mengidentifikasi potensi masalah sehingga dapat diatasi pada waktunya
- Memahami unsur-unsur eksternal dalam lingkungan yang memiliki potensi untuk menghambat keberhasilan rehabilitasi
- Menetapkan tujuan rehabilitasi yang realistis.

#### Operasi

- Mengelola air di lokasi untuk meminimalkan erosi dan membatasi potensi polusi ke luar lokasi
- Merancang lahan-bentukan (landform) yang aman, stabil dan cocok dengan lingkungan sekitarnya
- Membuat lapisan penutup yang akan memperkuat stabilitas dan melindungi bahan-bahan yang berpotensi bahaya dan terkandung di dalam lahan-bentukan tersebut
- Mengelola tanah lapisan atas untuk menyimpan nutrisi yang berharga dan memperkuat viabilitas benih dan mikro-organisma asli
- Berusaha menumbuhkan komunitas flora dan fauna yang dinamis dan tahan terhadap gangguan.

## Penutupan

- Mengembangkan kriteria keberhasilan untuk rehabilitasi, yang konsisten dengan tujuan penutupan tambang keseluruhan
- Membuat sebuah program pemantauan rehabilitasi yang mengukur parameter-parameter fungsional utama dari ekosistem yang terus berubah
- Melalui pemantauan jangka panjang, membuktikan bahwa pembangunan area yang direhabilitasi ini telah konsisten dengan kriteria penyelesaian tambang.

Adalah suatu hal yang penting untuk terus melakukan keterlibatan dengan para pemangku kepentingan utama dalam masalah rehabilitasi di seluruh tahapan proses penambangan. Selain pandangan dari masyarakat, perencanaan untuk rehabilitasi juga harus memasukkan penyelidikan pra-penambangan termasuk persyaratan hukum, iklim, topografik dan survei dasar untuk air dan kualitas udara, survei flora dan fauna, pertanahan, dan faktor-faktor lainnya. Aspek penting lain dalam proses rehabilitasi mencakup tujuan rehabilitasi, pengolahan tanah, pengerjaan tanah, revegetasi, nutrisi tanah, kembalinya fauna, perawatan, kriteria keberhasilan, serta pemantauan.

Industri pertambangan, malah sebenarnya semua kelompok industri, sering dinilai oleh publik berdasarkan pelaku terburuknya. Buku pedoman ini menampilkan beberapa hasil sangat baik yang dicapai oleh industri pertambangan dan sektor mineral dalam menerapkan prinsip-prinsip praktek kerja unggulan dalam rehabilitasi tambang. Informasi dan studi kasus yang terdapat dalam buku pedoman ini menggambarkan bahwa tambang dapat beroperasi dengan cara yang mendukung keberlanjutan.

Agar dapat mencapai rehabilitasi yang berhasil di tengah-tengah semakin meningkatnya ekspektasi dari peraturan dan pemangku kepentingan, memerlukan dikembangkannya hasil-hasil yang lebih superior dan diterapkan sesuai konsultasi dengan para pemangku kepentingan utama. Penerapan rehabilitasi tambang bukan hanya akan mendapatkan hasil yang lebih memuaskan dari segi sosial dan lingkungan, tapi juga dapat mengurangi beban finansial. Informasi dalam buku pedoman ini dapat membantu para site manager dan perencana tambang/mine planners untuk mengembangkan dan menerapkan sebuah rencana rehabilitasi pada lokasi yang spesifik, yang dapat mencapai tujuan tataguna lahan pasca-tambang yang optimal, dan cukup fleksibel untuk menerima penyempurnaan yang terus menerus dengan cara mengakomodasi perubahan-perubahan yang terjadi dalam metode dan teknologi.

## REFERENSI

- Asher, C, Grundon, N & Menzies, N 2002, *How to unravel and solve soil fertility problems*, ACIAR Monograph No. 83, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Bell, LC 2002, 'Remediation of chemical limitations', dalam *Restoration and management of derelict land—modern approaches*, MH Wong dan AD Bradshaw (eds.), hal 112-127, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Carroll C, Merton L & Burger P 2000, 'Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines', *Australian Journal of Soil Research* 38(2), CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria.
- Dane, JH & Topp, GC (eds.) 2002, *Methods of soil analysis, part 4, physical methods*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Dixon, JB & Schulze, DG (eds.) 2002, *Soil mineralogy with environmental applications*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Grigg, A, Mullen, B, Hwat Bing So, Shelton, HM, Bisrat, S, Horn, P & Yatapange, K 2002, *Sustainable grazing on rehabilitated lands in the Bowen Basin*, Australian Coal Association Research Program Project C9038.
- Floradata 2001, *A guide to collection, storage and propagation of Australian native plant seed*, Februari 2001, ISBN 0957796617. Informasi lebih lanjut mengenai panduan ini terdapat di: <<http://www.acmer.com.au/publications/floradata.htm>>
- Hannan JC 1995, *Mine rehabilitation: a handbook for the coal mining industry*, edisi 2, NSW Coal Association, Sydney.
- Hannan, JC & Bell, LC 1993, 'Surface rehabilitation', dalam buku *Australasian Coal Mining Practices*, AJ Hargraves dan CH Martin (eds.), hal. 260-280. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Parkville.
- Hossner, LR (ed.) 1988, *Reclamation of surface-mined lands*, Vol. 1 dan 2, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Loch, RJ 2000, *Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: I, Experimental methods and results from a study at the NorthParkes mine*, buku *Land Degradation and Development* 11, hal. 221-240.
- Loch, RJ 2000, 'Effects of vegetation cover on runoff and erosion under simulated rain and overland flow on a rehabilitated site on the Meandu Mine, Tarong', dalam *Australian Journal of Soil Research* 38: 299-312, Melbourne.
- Loch, RJ & Orange, DN 1997, 'Changes in some properties of topsoil at Tarong Coal-Meandu coal mine with time since rehabilitation', dalam *Australian Journal of Soil Research* 35, hal. 777-784, Melbourne.
- Landloch 2003, 'Surface roughness on rehabilitated slopes', artikel teknis Landloch <<http://www.landloch.com.au/technotes>>.



Scanlan JC, Pressland AJ & Myles DJ 1996, 'Run-off and soil movement on mid-slopes in north-east Queensland grazed woodlands', dalam *Rangeland Journal* 18(1), CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria.

Silburn DM, Carroll C, Ciesiolka CAA, Hairsine P 1992, 'Management effects on runoff and soil loss from native pasture in Central Queensland', dalam *Proceedings 7th Australian biennial rangeland conference*, Cobar NSW 5-8 October 1992, hal. 294-295.

Sobek, AA, Skousen, JG & Fisher, Jr, SE 2000, 'Chemical and physical properties of overburdens and mine soils', dalam *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*, RI Barnhisel, RG Darmody dan WL Daniels (eds.), Agronomy Monograph 41, hal. 77-104, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Sparks, DL, Page, AL, Helmke, PA, Loeppert, RH, Soltanpour, PN, Tabatabai, MA, Johnston, CT & Sumner, ME (eds.) 1996, *Methods of soil analysis, part 3, chemical methods*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Tremblay, GA and Hogan, CM (eds) 2001, *MEND manual, volume 2, sampling and analysis*, Natural Resources Canada (CANMET), Ottawa.

Ward, SC, Koch, JM & Ainsworth, GL 1996, 'The effect of timing of rehabilitation procedures on the establishment of a Jarrah forest after bauxite mining' dalam *Restoration Ecology* 4, hal. 19-24, Melbourne.

Williams, DJ 2006, 'The case for revolutionary change to mine waste disposal and rehabilitation', dalam *Proceedings of Second International Seminar on Strategic versus Tactical Approaches to Mining*, Perth, Australia, 8-10 Maret 2006, hal. 19.

Williams, DJ, Stolberg, DJ & Currey, NA 2006, 'Long-term performance of Kidston's "store/release" cover system over potentially acid forming waste rock dumps', dalam *Proceedings of Seventh International Conference on Acid Rock Drainage*, St Louis, Missouri, USA, 26-30 Maret 2006, hal. 2385-2396.

Williams, RD & Schuman, ED (eds.) 1987, 'Reclaiming Mine Soils and Overburden in the Western United States', dalam *Analytic Parameters and Procedures*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.

## WEB SITES

- Department of the Environment and Heritage, [www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)
- Department of Industry, Tourism and Resources, [www.industry.gov.au](http://www.industry.gov.au)
- Leading Practice Sustainable Development Program, [www.industry.gov.au/sdmining](http://www.industry.gov.au/sdmining)
- Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources, [www.industry.gov.au/resources/mcmp](http://www.industry.gov.au/resources/mcmp)
- Minerals Council of Australia, [www.minerals.org.au](http://www.minerals.org.au)
- Enduring Value, [www.minerals.org.au/enduringvalue](http://www.minerals.org.au/enduringvalue)

## GLOSSARY OF TERMS

### **Tambang yang terbengkalai**

Sebuah area yang dahulu digunakan untuk penambangan atau pemrosesan mineral, tetapi penutupannya tidak lengkap dan oleh karena itu pemegang hak lahannya masih ada.

### **Drainase asam tambang**

Aliran asam dari limbah tambang, akibat dari oksidasi sulfida seperti pirit.

### **Manajemen adaptif**

Sebuah proses sistematis untuk secara kontinu menyempurnakan kebijakan dan praktek kerja dari manajemen dengan cara belajar dari hasil-hasil program operasional. ICMM Good Practice Guidance on Mining and Biodiversity merujuk manajemen adaptif sebagai langkah-langkah untuk 'melakukan-memantau-mengevaluasi-merevisi'.

### **Analog**

Fitur tanah yang tak ditambang, sebagai perbandingan terhadap fitur tanah yang ditambang.

### **Angle of repose (sudut kritis)**

Sudut maksimal terhadap garis horisontal di mana suatu bahan dapat berdiam di permukaannya tanpa meluncur atau terguling.

### **Pengurukan balik (Backfilling)**

Pengisian kembali sebuah penggalian atau lubang.

### **Lereng batter**

Slope yang terbentuk dengan pembuatan ceruk atau lereng pada sebuah dinding dalam jalur yang berurutan.

### **Pematang**

Sebuah gundukan horisontal yang dibangun pada sebuah tanggul atau bidang miring untuk mematahkan kontinuitas lereng yang panjang, dengan tujuan memperkuat dan meningkatkan stabilitas lereng, untuk menangkap atau menahan bahan yang terkelupas di lereng tersebut, atau untuk mengendalikan aliran limpasan air dan erosi.

### **Tanggul**

Sebuah dinding penahan dari tanah.

### **Pemutus kapiler**

Sebuah lapisan bahan kasar yang ditaruh di antara bahan yang bertekstur lebih halus, untuk mencegah gerakan vertikal air (dan garam yang terkait dengannya) karena adanya tegangan permukaan dari bahan yang bertekstur lebih halus di bagian bawah terhadap bahan yang bertekstur lebih halus di bagian atas.

### **Spesies karismatik**

Spesies menonjol yang mungkin menarik perhatian, tapi hanya sedikit berfungsi penting dalam mempertahankan keberlanjutan ekosistem.

### **Kriteria penyelesaian**

Sebuah standar atau tingkat kinerja yang telah disepakati, yang menunjukkan bahwa penutupan tambang telah berhasil baik.

### **Spesies kriptik**

Spesies yang tidak terlalu tampak jelas, atau yang tidak mudah diperhatikan.

### **Tanah dispersif**

Tanah yang secara struktur tidak stabil dan akan terurai dalam air menjadi partikel-partikel dasarnya (seperti pasir, lumpur dan tanah liat). Tanah dispersif cenderung mudah erosi dan menciptakan masalah untuk dapat mengerjakan tanah secara baik.

### **Eko-sistem**

Sebuah sistem di mana anggotanya mendapat manfaat dari partisipasi satu sama lain, melalui hubungan simbiotik (hubungan yang saling menguntungkan). Istilah ini berasal dari biologi, dan merujuk pada sistem yang mampu mempertahankan diri sendiri.

### **Enkapsulasi**

Penutupan total limbah dalam bahan lain yang akan mengisolasi bahan limbah dari kondisi luar (biasanya oksigen atau air).

### **Pembuangan tinggi (di puncak timbunan)**

Proses membuang bahan dari bagian belakang truk angkut (dump truck). Timbunan overburden dibuat dengan mengarahkan bagian belakang truk angkut di permukaan atas timbunan ke tepian timbunan, lalu membuang batuan sisa/buangan tambang (waste rock) dari belakang truk, ke arah sisi timbunan.

**Pin erosi**

Pin-pin logam yang dimasukkan ke dalam tanah sebagai tolok ukur dan digunakan untuk memperkirakan besaran penurunan permukaan akibat erosi di titik tersebut. Karena erosi di lereng bukit sangat bervariasi secara spasial, dibutuhkan sejumlah besar pin jika ingin mendapatkan perkiraan yang akurat mengenai erosi. (Biasanya jumlah pin yang digunakan sangat tidak memadai.) Metode ini lebih cocok untuk menilai pertumbuhan galur atau parit yang besar, tepat utama terjadinya erosi.

**Lubang final**

Sisa lubang tambang (pit) terbuka yang masih ada di saat penutupan tambang.

**Tapak**

Area permukaan tanah yang terkena penambangan dan infrastruktur terkaitnya.

**Ekosistem yang fungsional**

Sebuah ekosistem yang stabil (tidak terkena tingkat erosi yang tinggi), efektif dalam menahan air dan nutrisi, serta dapat mempertahankan diri sendiri.

**Penyemaian basah**

Menebarkan campuran mulsa kertas atau jerami, yang mengandung benih, pupuk dan zat pengikatnya, ke lereng yang terlalu curam atau tidak dapat diakses dengan teknik penyemaian konvensional.

**Key in**

Konstruksi parit yang diisi balik, untuk mengurangi infiltrasi atau untuk meningkatkan kestabilan tanggul tanah.

**Pengujian kinetik**

Pengujian dinamik terhadap pembentukan asam, termasuk efek dari waktu reaksi.

**Praktek kerja unggulan**

Praktek kerja terbaik yang saat ini tersedia untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

**Bersumber dari daerah setempat**

Tumbuhan yang sumber aslinya dekat dengan tempat penanaman (misalnya berada di area lokal yang sama).

**Pori-pori makro**

Ruang kosong yang besar antara partikel-partikel yang berbutiran kasar.

**Moonscaping**

Teknik yang menggunakan bilah dozer untuk membentuk pola yang dapat membantu mencegah erosi.

**Luberan**

Air atau slurry tailing yang melewati puncak struktur penahan atau tanggul.

**Pembuangan rendah (di dataran)**

Pembuangan dengan truk ke permukaan yang rata.

**Spesies perintis**

Spesies pertama yang menghuni area gangguan.

**Propagul**

Setiap struktur yang mampu menumbuhkan tumbuhan baru, baik melalui reproduksi seksual maupun aseksual (vegetatif). Ini termasuk benih, spora, dan semua bagian dari tubuh vegetatif yang mampu tumbuh sendiri jika terlepas dari induknya.

**Ravelling**

Penggelusuran dan pemisahan batuan sisa berbutiran kasar dengan cara pembuangan tinggi, melewati lereng dengan sudut kritis (angle-of-repose).

**Limbah reaktif**

Limbah yang bereaksi saat terpapar oksigen.

**Species sulit berkecambah**

Spesies yang sulit untuk dimunculkan kembali.

**Rehabilitasi**

Pengembalian lahan terganggu ke kondisi yang stabil, produktif, dan mampu mempertahankan diri sendiri, setelah dilakukannya pemanfaatan terhadap lokasi dan lahan sekitarnya.

**Pengembalian kuasa penambangan**

Persetujuan resmi dari lembaga yang berwenang yang relevan, mengindikasikan bahwa kriteria penyelesaian untuk tambang telah dipenuhi sesuai persyaratan dari pihak berwenang tersebut.

**Vegetasi tersisa**

Vegetasi asli yang masih ada setelah pembukaan lahan.

**Rip-rap**

Pengumpulan pecahan batuan yang ditaruh untuk melindungi tanah dari kekuatan erosi atau dari gerakan akibat tenaga hidrostatik yang berlebihan.

**Landasan ROM**

Timbunan bijih yang baru ditambang, digunakan untuk mengisi mesin penggiling dan pemroses.

**Pelukaan**

Proses mengganggu pelapis benih untuk mendorong germinasi atau pengecambahan.

**Slurry**

Zat padat yang telah terbagi secara halus, dan keluar dari bahan pengental.

**Izin sosial untuk beroperasi**

Pengakuan dan penerimaan terhadap kontribusi perusahaan terhadap masyarakat tempatnya beroperasi. Kontribusi ini melebihi persyaratan hukum dasar, dan berusaha mengembangkan dan menjaga hubungan yang konstruktif dengan para pemangku kepentingan yang diperlukan agar bisnis dapat berkelanjutan. Secara keseluruhan, izin sosial ini muncul dari upaya membentuk hubungan baik berdasarkan pada azas kejujuran dan saling menghormati.

**Tanah sodik**

Tanah yang mengandung sodium dalam proporsi yang besar (umumnya lebih dari enam persen) terhadap total kation yang dapat dipertukarkan. Tanah sodium ini cenderung memiliki drainase yang buruk akibat struktur tanahnya yang jelek.

**Neraca asam basa statik**

Keseimbangan antara reaksi asam dan alkalin yang lengkap.

**Terowongan-terowongan tambang**

Lubang atau rongga tambang bawah tanah.

**Tutupan simpan/lepas**

Lapisan penutup yang cocok untuk iklim musiman yang defisit kelembaban, bersifat menyimpan penyerapan air hujan saat musim basah dan akan melepaskannya melalui evapotranspirasi selama musim kering.

**Efek tepi**

Efek dari satu habitat terhadap habitat lainnya di sepanjang perbatasan antara kedua habitat. Sebuah habitat yang telah ditebangi mungkin menyebabkan dampak di sepanjang perbatasannya dengan habitat yang tidak ditebangi, misalnya dengan meningkatkan penetrasi sinar matahari dan angin.

**Supernatan**

Air yang meluber dari puncak slurry tailing yang mengendap.

**Fasilitas penyimpanan tailing**

Area yang digunakan untuk menahan tailing; fungsi utamanya adalah mencapai pengendapan zat padat dan memperbaiki kualitas air. Istilah ini merujuk pada seluruh fasilitas, dan dapat mencakup satu atau beberapa bendungan tailing.

**Kultur jaringan**

Sebuah metode reproduksi aseksual yang digunakan untuk menghasilkan tiruan dari tumbuhan tertentu dalam jumlah besar.

**Trayektori komunitas rehabilitasi**

Tren dalam rehabilitasi yang berkembang seiring waktu.

**Batuan sisa/buangan tambang (waste rock)**

Batuan tanpa nilai ekonomi yang digali dari tanah dengan menggunakan operasi penambangan untuk mendapatkan akses ke bijih mineral.

**Pembasahan**

Penyerapan air hujan ke limbah tambang, dan bergerak ke arah bawah.

