

**PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN EROSI
DI LAHAN BEKAS TAMBANG**

Oleh

Dwi Putro Tejo Baskoro

**DEPARTEMEN ILMU TANAH DAN SUMBERDAYA LAHAN
FAKULTAS PERTANIAN – INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

Juni 2026

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan sumberdaya lahan yang vital dalam menunjang kehidupan manusia. Fungsi lahan dalam menunjang kehidupan manusia dapat berkurang akibat menurunnya kualitas tanah. Penurunan kualitas tanah dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia, salah satu diantaranya adalah kegiatan penambangan.

Kegiatan penambangan adalah usaha mengelola sumberdaya alam yang tidak terbarui dengan mengambil endapan mineral dan batubara yang berharga dari dalam bumi. Karena sifat alamiahnya yang merubah bentang alam dan ekosistem, kegiatan pertambangan jika tidak dilaksanakan secara tepat dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama gangguan keseimbangan permukaan tanah yang cukup besar. Dampak lingkungan yang mungkin timbul akibat kegiatan pertambangan antara lain adalah terjadinya erosi dan sedimentasi, terjadinya pergerakan tanah atau longsor, terganggunya flora dan fauna (keanekaragaman flora dan fauna), terganggunya kesehatan masyarakat, serta perubahan iklim mikro. Oleh karena itu setiap perusahaan tambang wajib melakukan reklamasi lahan bekas tambang.

Kegiatan reklamasi lahan bekas tambang adalah salah satu kewajiban yang harus dilakukan oleh setiap Perusahaan Tambang yang merupakan amanah undang-undang, antara lain: Undang-Undang No. 41/1999 tentang Kehutanan, Undang-Undang No. 4/2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Undang-Undang No. 32/2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sedangkan tata cara pelaksanaannya mengacu pada norma-norma peraturan dan perundang-undangan yang berlaku, yaitu antara lain: Permenhut No. P.60/Menhut-II/2009 tentang Pedoman Penilaian Keberhasilan Reklamasi Hutan, Permenhut No. P.4/Menhut-II/2011 tentang Pedoman Reklamasi Hutan, Permen ESDM No. 26/2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara serta Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.

Mengapa erosi perlu di kendalikan? Erosi merupakan penyebab utama terjadinya penurunan kualitas lahan, termasuk lahan bekas tambang yang sudah disiapkan untuk revegetasi. Erosi menyebabkan kemampuan tanah dalam mendukung upaya revegetasi berkurang. Di samping itu, tanah yang tererosi akan diendapkan di tempat lain sehingga mengakibatkan sedimentasi di lingkungan sekitarnya (Gambar 1) atau pendangkalan badan-badan air seperti waduk, danau, saluran irigasi dan lain sebagainya, yang pada gilirannya secara tidak langsung dapat menimbulkan banjir yang kronis di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Tidak semua bahan tererosi akan tersedimentasi-sebagian akan diendapkan selama proses perjalanan. Jumlah bahan tererosi yang terendapkan selama proses perjalanan menuju outlet ditentukan oleh banyak faktor, diantaranya adalah luas daerah aliran sungai (DAS), kondisi topografi, dan kondisi tutupan lahan (Asdak, 2007).

Secara ringkas, dampak erosi di lahan bekas tambang dapat disarikan sebagai berikut:

- Stabilitas lereng terganggu
- Kualitas lahan menurun
- Revegetasi terhambat – terancam gagal
- Kualitas air limpasan menurun
- Biaya pengolahan air limbah / limpasan meningkat
- Sedimentasi meningkat
- Biaya perawatan drainase sistem / badan air meningkat
- Biaya Perawatan IPAL meningkat
- Dan lain sebagainya



Gambar 1. Sedimentasi di lingkungan sekitar tambang yang terjadi akibat pengendalian erosi yang tidak memadai (Foto oleh Tejo Baskoro)

II. BENTUK / TIPE EROSI YANG UMUM DIJUMPAI DI LAHAN BEKAS TAMBANG

2.1 Erosi Lembar (*Sheet Erosion*)

Erosi lembar adalah erosi yang terjadi ketika lapisan tipis permukaan tanah di daerah berlereng terkikis oleh kombinasi air hujan dan air larian (*run-off*). Erosi ini dapat terjadi karena pukulan butir hujan yang menyebabkan partikel tanah terpercik dan pindah tempat beberapa cm - 150 cm (*splashed*) dan aliran air yang merata yang menyebabkan lapisan tipis dipermukaan tanah terbawa / hilang secara merata dari seluruh bidang lahan. Lapisan tanah hilang layaknya seperti dilepas lembar demi lembar. Karena erosi terjadi secara merata di seluruh permukaan areal/bidang lahan, erosi ini seringkali tidak disadari kejadiannya sehingga disebut juga "*diffuse soil erosion*".



Gambar 2. Tanah terkelupas, batuan berserak dan akar tersingkap sebagai indikasi adanya erosi lembar (Foto oleh Tejo Baskoro)

Sebagian (terutama diawal hujan) erosi lembar terjadi karena adanya percikan (*splash*), sebagian lagi karena adanya aliran permukaan. *Splash erosion* atau erosi percikan adalah proses terkelupasnya partikel-partikel anah bagian atas oleh tenaga kinetik air hujan bebas atau air hujan lolosan (*through fall*). Pada erosi ini, tenaga kinetis air hujan merupakan sumber energi utama yang mengerosikan tanah.

Tidak setiap kejadian hujan dan aliran permukaan dapat menyebabkan erosi, Ada batas ambang energi kinetik pukulan butir hujan tertentu yang harus dilewati agar proses penghancuran agregat tanah (*detachment*) dan *splash* oleh butir hujan dapat terjadi. Ada batas ambang energi aliran tertentu yang harus dilampaui agar transportasi oleh aliran air dapat terjadi. Demikian juga ada batas ambang energi kinetik tertentu agar penggerusan tanah oleh aliran air dapat terjadi.

Kehilangan tanah yang diakibatkan oleh erosi lembar tidak dapat segera diketahui karena prosesnya yang terjadi secara merata dan berjalan relatif lambat. Umumnya orang baru menyadari bahwa telah terjadi kehilangan tanah setelah ketebalan tanah tertentu hilang. Tanda-tanda kehilangan tanah akibat erosi dapat dilihat melalui kemunculan akar, batuan, atau *pedestal*. Akibat kehilangan lapisan tanah dapat dilihat dari kondisi pertumbuhan tanaman yang menjadi tidak baik ataupun perakaran tanaman tahunan (pohon) yang tampak di permukaan tanah atau batuan yang sebagian muncul di permukaan (Gambar 2).

2.2 Erosi Alur (*Rill Erosion*)

Erosi terkonsentrasi pada alur alur dengan ukuran masih relatif kecil. Erosi ini terjadi karena adanya aliran permukaan yang terkonsentrasi, sehingga pada areal yang tererosi terbentuk alur-alur yang dapat berbentuk V atau U. Ukuran alur masih tergolong kecil dengan lebar dan dalam umumnya < 25 cm (Gambar 3). Aliran air terkonsentrasi bisa diinisiasi oleh adanya jejak atau track yang merupakan sarana bagi air untuk berkumpul dan mengalir secara terkonsentrasi. Karena ukurannya yang masih relatif kecil, erosi alur ini masih dapat dihilangkan dengan pengolahan tanah biasa.



Gambar 3. Erosi alur dengan ukuran lebar dan dalam masih relatif kecil - lebih kecil dari 25 cm (Foto oleh Tejo Baskoro)

2.3 Erosi Parit (*Gully Erosion*)

Erosi parit merupakan erosi dengan bentuk parit atau alur besar dengan ukuran lebar dan dalam dapat mencapai 200 cm (Gambar 4). Bentuknya sama seperti erosi alur, bisa V atau U, tergantung tingkat perkembangannya. Parit yang masih aktif dan terus berkembang bentuknya umumnya V sedangkan yang sudah tua dan mulai tidak aktif umumnya berbentuk U. Karena berukuran besar maka tidak dapat dihilangkan dengan pengolahan tanah biasa. Parit yang terbentuk bisa saling berkesinambungan ataupun terputus putus.



Gambar 4. Erosi parit dengan ukuran lebar dan dalam sudah cukup besar (Foto oleh Tejo Baskoro)

Erosi parit ini dapat berkembang dari erosi alur yang tidak ditangani sehingga menjadi makin lebar dan dalam. Di samping itu erosi parit dapat juga terbentuk karena adanya longsor pada jalur aliran pada saat aliran air bertemu dengan bagian tanah yang mudah longsor. Longsor ini membentuk terjunan pada jalur aliran yang kemudian memicu perkembangan gully menjadi lebih cepat.

2.4 Erosi Jurang (*Ravine Erosion*)

Perkembangan selanjutnya dari erosi parit. Bentuknya sama seperti erosi alur ataupun parit tapi berukuran sangat besar dan dalam - bisa mencapai 30 m (Gambar 5). Penampang melintang erosi parit ataupun erosi jurang dapat berbentuk V atau U tergantung pada kepekaan erosi substratnya. Bentuk V adalah bentuk yang umum dijumpai, tetapi untuk daerah-daerah dengan substrata yang mudah tererosi bentuk U dapat terjadi. Tanah yang terangkut oleh erosi parit ataupun erosi jurang tidak sesubur tanah yang terangkut oleh erosi lembar karena sebagian tanah berasal dari subsoil yang tergerus (Troeh et al, 1980).



Gambar 5. Erosi jurang dengan ukuran lebar dan dalam sudah sangat besar (> 200 cm)

Perkembangan erosi gully ataupun erosi jurang dapat dicirikan oleh adanya pergerakan kepala parit (*gully head*) ke bagian atas lereng serta longsor dinding yang membuat parit/*gully* makin lebar dan dalam. Secara umum, perkembangan erosi parit atau jurang dapat terjadi melalui beberapa mekanisme sebagai berikut:

- Ada aliran air yang terkonsentrasi menyebabkan terjadinya gerusan ke arah bawah dari top soil. Alur kemudian berkembang makin besar membentuk parit. Proses ini biasanya terjadi secara perlahan.
- Aliran terkonsentrasi membentuk alur/parit. Jika ada bagian tanah yang lebih peka maka pada bagian tersebut gerusan lebih dalam sehingga akan terbentuk semacam terjunan kecil. Adanya terjunan ini akan menyebabkan terjadinya longsor pada kepala terjunan dan longsor ini bergerak ke arah atas ujung gully (*gully head*) sehingga gully makin panjang ke arah atas lereng.
- Adanya longsor/slides dan pergerakan massa tanah pada dinding parit sehingga parit makin lebar dan makin dalam.

III. PENGENDALIAN EROSI

Pengendalian erosi di lahan bekas tambang, seperti halnya di lahan pertanian dapat dikelompokkan menjadi (i) metode vegetatif dan (ii) metode mekanik/sipil teknis, dan (iii) metode kimia. Teknik konservasi dengan metode vegetatif pada umumnya lebih mudah penerapannya, lebih murah biayanya, dan lebih ramah lingkungan sehingga sering menjadi prioritas utama.

3.1 Metode Vegetatif

Metode vegetatif merupakan usaha pengendalian erosi dengan menggunakan tanaman, termasuk penggunaan sisa-sisa tanaman, seperti: revegetasi, sistem agroforestri (wanatani), sistem tumpangsari, pengaturan pola tanam, strip rumput dan lain-lain. Teknik konservasi vegetatif pada umumnya mempunyai manfaat ganda, selain memberikan manfaat konservasi, juga memberikan produk yang dapat dikonsumsi berupa bahan makanan, hijauan pakan ternak, kayu bakar dan sebagainya. Hanya apabila masalah erosi sangat serius maka sistem sipil teknik perlu dipertimbangkan.

a. Revegetasi

Revegetasi merupakan salah satu bentuk penghijauan - penanaman kembali pepohonan untuk menggantikan pepohonan yg telah ditebang/dibongkar di kawasan hutan milik pemerintah, di mana penambang mempunyai hak pinjam pakai. Revegetasi ditujukan bukan hanya untuk menghijaukan kembali lahan, tetapi juga memulihkan fungsi ekologi, menciptakan habitat baru bagi flora dan fauna dan mencegah erosi.

Dalam upaya revegetasi, agar erosi yang terjadi terkendali maka sifat kemultistaraan tajuk seperti layaknya hutan mesti terbentuk. Lahan yang hanya didominasi oleh tanaman tajuk tinggi tanpa tanaman dasar - tanaman yang menempel dipermukaan tanah (*basal cover*) jika lahannya cukup miring maka erosi akan tetap tinggi. Revegetasi yang berhasil adalah revegetasi yang tidak hanya menghasilkan tutupan lahan dan keragaman hayati yang tinggi tetapi juga mampu secara efektif mengendalikan erosi (Gambar 6).

Kondisi tutupan vegetasi / tanaman sangat dinamis dan mudah berubah seiring dengan waktu. Faktor tanaman (faktor C) dalam mempengaruhi erosi merupakan resultante (pengaruh gabungan) antara jenis tanaman, pengelolaan sisa-sisa tanaman, tingkat kesuburan, dan cara serta waktu pengelolaan tanah. Suatu vegetasi penutup tanah yang baik (tebal dan rapat) seperti hutan alam atau rumput yang tebal akan menghilangkan pengaruh hujan dan topografi terhadap erosi (Arsyad, 2010).

Pengaruh vegetasi terhadap erosi dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, diantaranya adalah hambatan energi hujan melalui intersepsi hujan, hambatan aliran permukaan, dan sumbangan bahan organik sehingga dapat memperbaiki sifat fisik tanah.



Gambar 6. Revegetasi kurang berhasil, sifat multistrata tidak terbentuk - infiltrasi rendah - erosi masih tinggi (kiri atas). Revegetasi yang baik dengan sifat tajuk multistrata: revegetasi umur 4 tahun (kanan atas) dan revegetasi umur 10 tahun (kiri bawah) yang sudah menyerupai hutan alami (kanan bawah) (Foto oleh Tejo Baskoro)

Efektivitas berbagai mekanisme tersebut dalam menekan erosi tergantung pada karakteristik tajuk. Dari berbagai strata tajuk, penutupan tajuk yang paling bawah (basal cover) merupakan bagian yang paling efektif dalam meredam energi hujan dan aliran permukaan sehingga paling efektif dalam meredam erosi (Moss and Green, 1987). Makin tinggi dan kerapatan tajuk makin makin efektif dalam mengendalikan erosi.

b. Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah adalah tanaman yang ditujukan untuk menutup tanah agar tanah tidak terkena langsung pukulan butir hujan. Tanaman penutup tanah yang paling umum digunakan adalah dari golongan legum (Legume cover crop, LCC). Tanaman penutup tanah dapat ditanam tersendiri (pada saat lahan tidak ditanami tanaman pokok) ataupun ditanam bersama-sama dengan tanaman pokok. Fungsi lain yang diharapkan dari tanaman penutup adalah menyediakan bahan organik sehingga dapat menjaga kesuburan tanah. Berdasarkan tinggi dan jenis tanamannya, tanaman penutup tanah dapat digolongkan menjadi: tanaman penutup tanah rendah, tanaman penutup tanah sedang, dan tanaman penutup tanah tinggi. Dari ketiga jenis tersebut, tanaman penutup tanah rendah lebih efektif dalam mengendalikan erosi.

Tanaman penutup tanah rendah seperti *centrosema* (*Centrosema pubescens*), *pueraria* (*Pueraria javanica*), benguk (*Mucuna* sp.), dan *arachis* (*Arachis pintoii*). *Centrosema*, *Peuraria*, dan *Arachis* dapat digunakan untuk tanaman penutup tanah pada lahan revegetasi (Gambar 7). Untuk daerah beriklim kering, tanaman penutup tanah rendah tahan kering seperti Komak (*Dolichos lab-lab*) akan lebih cocok.



Gambar 7. Beberapa contoh penggunaan tanaman penutup tanah untuk pengendalian erosi. Supaya tidak terjadi persaingan terhadap air dan hara, tanaman penutup tanah bisa disiangi secara melingkar (Foto oleh Tejo Baskoro)

Tanaman penutup tanah dapat ditanam secara simultan (bersamaan) dengan tanaman utama, seperti *Peuraria* atau *Centrosema* untuk tanaman revegetasi; ataupun secara sekuensial (berurutan antara tanaman penutup tanah dan tanaman utama). Tanaman penutup tanah rendah dapat ditanam pada akhir musim hujan sehingga dapat menutup tanah selama musim kemarau. Pada awal musim hujan tanaman ini dipangkas agar tidak mengganggu tanaman utama.

Penutupan lahan akan makin baik dengan makin tingginya umur tanaman terutama pada tutupan yang ada di permukaan lahan (basal cover) berupa LCC dan serasah. Saat tanaman berumur 1 tahun, tanaman LCC sudah menutup 95 - 100 % (Subronto dan Harahap 2002, Othman et al. 2012, Laksono et al 2016). Penurunan erosi berkaitan erat dengan kondisi penutupan vegetasi. Penutupan dasar dipermukaan yang rapat terbukti sangat efektif dalam menekan erosi. Suatu vegetasi penutup tanah yang baik (tebal dan rapat) seperti rumput rumputan yang tebal dapat menghilangkan pengaruh hujan dan topografi terhadap erosi (Arsyad, 2010).

Beberapa tanaman penutup tanah (terutama yang merambat) dapat tumbuh dengan cepat. Oleh karena itu, jika tanaman ini ditanam dekat dengan lokasi erosi parit atau erosi jurang, tanaman dapat dengan cepat menutup parit atau jurang secara rapat sehingga erosi parit atau erosi jurang akan menurun aktivitasnya dan suatu saat akan berhenti/tidak aktif (Gambar 8).



Gambar 8. Penutupan oleh tanaman penutup tanah (LCC) yang rapat mengakibatkan erosi parit (gully erosion) menjadi tidak aktif (berhenti), walaupun tapak erosi tidak hilang (Foto oleh Tejo Baskoro)

Walaupun sangat efektif dalam mengendalikan erosi, tanaman penutup tanah cepat tumbuh dan berkembang juga mempunyai kelemahan. Beberapa tanaman terutama jenis LCC tumbuh sangat cepat dan invasif, sehingga dapat mengganggu tanaman utama yang jika dibiarkan dapat menyebabkan tanaman utama mati (Gambar 9). Oleh karena itu, penggunaan tanaman penutup tanah ini memerlukan pemeliharaan ekstra.



Gambar 9. Tanaman penutup tanah (LCC) yang tumbuh sangat rapat mengakibatkan tanaman utama terganggu dan bahkan bisa mati (Foto oleh Tejo Baskoro)

Beberapa jenis tanaman penutup tanah dapat ditanam dengan teknik *Hydroseeding* (Gambar 10). Teknik *Hydroseeding* ini aplikasi benih yang langsung dicampur dengan pupuk dan bubur kayu/bubur kertas yang disebar merata pada lahan dengan tujuan agar lahan cepat bervegetasi. Praktek ini terutama penting untuk areal kritis dimana perlindungan segera terhadap tanah sangat diperlukan

- Areal kritis dimana penyemaian benih secara konvensional tidak dimungkinkan (padat, keras)
- Sekitar aliran air dan Saluran diversif

- Tepian lahan dengan kemiringan cukup curam
- Dan lain lain



Gambar 10. Tanaman padi (kiri) dan turi (kanan) yang ditanam dengan teknik *Hydroseeding* (Foto oleh Tejo Baskoro)

c. Penggunaan Tanaman Pagar

Penggunaan tanaman pagar seperti gamal, lamtoro gung, flemingia, dan lain lain merupakan salah satu bentuk usaha untuk sistem pertanaman yang menggabungkan tanaman tahunan (kayu-kayuan) dengan jenis komoditas lain. Gabungan itu sebaiknya mempunyai hubungan yang saling menguntungkan antara berbagai jenis tanaman tersebut

Tanaman pagar yang dapat berumur tahunan mempunyai efektivitas pengendalian erosi yang cukup tinggi apabila tanaman tersebut juga mampu membentuk serasah pada lapisan tanah atau bila tajuknya tersebar sedemikian rupa mulai dari tajuk rendah sampai tajuk tinggi. Tanaman pagar yang dipilih sebaiknya memenuhi kriteria sebagai berikut :

- Tahan pemangkasan dan dapat bertunas kembali secara cepat sesudah pemangkasan.
- Menghasilkan banyak hijauan.
- Diutamakan yang dapat menambat nitrogen (N₂) dari udara.
- Tingkat persaingannya dengan tanaman lorong tidak begitu tinggi.
- Tidak bersifat alelopati (mengeluarkan zat beracun) bagi tanaman utama.
- Sebaiknya mempunyai manfaat ganda seperti untuk pakan ternak, kayu bakar dan penghasil buah supaya mudah diadopsi petani.

Gliricidia mempunyai daya toleransi yang tinggi terhadap kemasaman tanah, tahan pangkasan dan cepat kembali bertunas sesudah pemangkasan, demikian juga dengan Lamtoro. Namun Lamtoro kurang baik tumbuhnya apabila tanah masam (sesuai pada tanah dengan pH 5,5-7,5). *Kaliandra* mempunyai daya adaptasi yang cukup luas tetapi kalah populer dibandingkan dengan *Gliricidia*.

Penanaman, pemangkasan dan penggunaan hijauan tanaman pagar:

- Gamal di tanam dengan cara stek, sedangkan lamtoro dan flemingia biasanya ditanam dengan menggunakan biji. Untuk bahan stek, pilih cabang yang sudah berwarna keputihan (tidak lagi hijau) berdiameter 2-4 cm. Panjang stek kurang lebih 30 cm.
- Stek ditanam menurut baris sejajar kontur dengan jarak tanam dalam baris sekitar 25 cm. Untuk penanaman dengan biji, jarak antar biji sekitar 10 cm.
- Jarak antar baris bervariasi mengikuti kecuraman lereng. Makin curam, jarak antar baris makin rapat. Untuk lahan yang lerengnya 15%, jarak antara baris bisa 5 m, untuk lahan berlereng 30% jarak antar baris adalah 3,5 m. Perlu diingat bahwa apabila jarak antar baris tanaman pagar terlalu dekat, maka kompetisi tanaman pagar terhadap tanaman utama akan lebih besar dan jika terlalu jarang, efektivitas tanaman pagar dalam menahan erosi akan berkurang.
- Tanaman dibiarkan tumbuh sampai tingginya sekitar 1.5-2 m sebelum dipangkas untuk pertama kalinya (berumur sekitar enam bulan). Pemangkasan berikutnya dapat dilakukan setiap tiga bulan sekali. Pemangkasan dilakukan pada ketinggian 50 cm di atas permukaan tanah.
- Hasil pemangkasan disebar merata pada lorong di antara barisan tanaman semusim.



Gambar 11. Tanaman pagar (*Gliricidiae*-gamal) ditanam secara berbaris memotong lereng menjadi *water flow breaker* (*energy breaker*) sebagai bentuk usaha pengendalian erosi (Foto oleh Tejo Baskoro)

Di samping sebagai *water flow break (energy break)*, penggunaan tanaman pagar mempunyai beberapa keuntungan/keunggulan lain, diantaranya adalah : dapat menyumbangkan bahan organik dan hara terutama nitrogen untuk tanaman lorong, dan mengurangi laju aliran permukaan dan erosi apabila tanaman pagar ditanam secara rapat menurut garis kontur. Namun demikian, penggunaan tanaman pagar sebagai *water flow break / wind break* mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya:

- Tanaman pagar mengambil sekitar 5-15% areal yang biasanya digunakan untuk tanaman utama. Oleh karena itu usahakan agar tanaman pagar dapat memberikan hasil langsung, seperti misalnya dengan menggunakan tanaman pagar yang sekaligus sebagai tongkat panjatan bagi vanili atau lada.
- Adanya persaingan antara tanaman pagar dengan tanaman utama untuk mendapatkan hara, air, dan cahaya. Hal ini dapat diatasi dengan memangkas tanaman pagar secara teratur.
- Kadang-kadang terjadi pengaruh alelopati dan berkembangnya hama atau penyakit pada tanaman pagar yang dapat mengganggu tanaman pangan.
- Tenaga kerja yang diperlukan untuk penanaman dan pemeliharaan tanaman pagar cukup tinggi.

d. Strip Rumput

Sistem ini hampir sama dengan budidaya lorong, namun tanaman pagar yang digunakan adalah tanaman rumput pakan ternak. Strip dibuat mengikuti kontur dengan lebar strip 0,5 m atau lebih (Gambar 12). Semakin lebar strip semakin efektif menanggulangi erosi dan semakin tinggi jaminan ketersediaan pakan ternak, namun semakin besar penguraangan lahan untuk tanaman utama. Strip rumput pakan ternak penting bagi petani yang memelihara ternak ruminansia sebagai penyangga kekurangan hijauan pakan pada musim kemarau.

Cara penanaman sebagai berikut:

- Bibit rumput ditanam sejajar kontur dan sebaiknya terdiri atas 2 barisan rumput atau lebih tergantung kepada berapa persen lahan akan ditanami rumput. Jarak antar barisan 30 cm dan jarak dalam baris 20-30 cm.
- Jarak antara strip rumput disesuaikan dengan kemiringan lahan, makin miring lahan, jarak antar strip makin rapat.
- Jika biji rumput tersedia, penanaman dengan biji memerlukan lebih sedikit tenaga kerja dibandingkan dengan penanaman dengan stek.



Gambar 12. Strip rumput gajah (*Penisetum purpureum*) dan sedreh wangi yang dapat digunakan sebagai penahan aliran permukaan dan erosi

e. Penggunaan Sisa Tanaman

Untuk Indonesia, pengembalian sisa tanaman sangat perlu dilakukan. Hal ini karena: a) Kehilangan bahan organik tanah di daerah tropika tergolong cepat/tinggi - jauh lebih cepat dari daerah sub-tropik, b) sisa sisa tanaman merupakan sumberdaya yang dapat diperbaharui (renewable), mengandung energi dan unsur hara yang diperlukan biota tanah yang membantu perbaikan kondisi fisik, kimia dan biologis tanah, c) sisa sisa tanam3an bila dimusnahkan (dengan dibakar atau dibuang) berarti pemborosan sumberdaya yang dapat diperbaharui; serta dapat menimbulkan kerusakan tanah dan pencemaran lingkungan. Dampak negatif dari pembakaran sisa tanaman adalah sebagai berikut:

- Mempercepat kehilangan bahan organik tanah,
- Mengurangi populasi dan aktivitas biota tanah.
- Menghilangkan penutup permukaan lahan.
- Meningkatkan fluktuasi suhu lingkungan.
- Menimbulkan pencemaran udara (asap dan gas rumah kaca).
- Menimbulkan pencemaran air (abu dan unsur hara yang terbawa aliran permukaan).
- Merangsang pertumbuhan Ilalang (*Imperata cylindrica*).

Sementara itu, jika sisa tanaman tidak dibakar, tetapi dibuang juga dapat menimbulkan dampak negative. Hal negatif terkait pembuangan sisa tanaman yang mungkin ada, diantaranya adalah:

- Pemborosan sumber energi dan unsur hara.
- Pemborosan sumberdaya lahan tempat pembuangan.
- Menjadi sarang hama dan pembawa penyakit.
- Menimbulkan pencemaran:
 - Udara : bau busuk dan emisi gas rumah kaca (CO₂ dan metan)
 - Tanah : akumulasi asam² organik.

- Air : penyuburan (*eutrophication*) perairan dan pencemaran air bawah tanah.

- Penyumbatan dan pendangkalan badan air (saluran drainase, sungai, dan danau).

Penggunaan sisa sisa tanaman untuk upaya pengendalian erosi dan perbaikan lahan dapat dilakukan melalui beberapa cara, yaitu:

- Mulsa konvensional: disebar di atas permukaan lahan secara merata.
- Mulsa vertikal: dimasukkan dalam alur/saluran peresapan biopori (SPB) atau lubang resapan biopori (LRB).
- Pupuk hijau (green manure): ditanam/dicampur ke dalam tanah dg pengolahan tanah.
- Kompos: sisa tanaman dikomposkan dulu, baru dicampur ke dalam tanah.
- Pupuk kandang: sisa tanaman diberikan utk pakan ternak, kotoran ternak dicampur ke dalam tanah



Gambar 13 Penggunaan tandan kosong (kiri) dan sisa tanaman yang ditahan dengan jala coconet (kanan) untuk perbaikan sifat tanah dan pengendalian erosi (Foto oleh Tejo Baskoro)

3.2 Metode Mekanik

Pengendalian erosi secara mekanis umumnya memerlukan biaya dan tenaga yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik konservasi secara vegetatif. Teknik olah tanah minimum atau tanpa olah tanah adalah satusatu bentuk teknik konservasi mekanik yang murah dan mudah dibandingkan dengan teknik olah tanah biasa (konvensional). Lagipula teknik konservasi vegetatif pada umumnya mempunyai manfaat ganda, selain memberikan manfaat konservasi, juga memberikan produk yang dapat dikonsumsi berupa bahan makanan, hijauan pakan ternak, kayu bakar dan sebagainya. Hanya apabila masalah erosi sangat serius maka sistem sipil teknik perlu dipertimbangkan.

Untuk area yang baru akan di revegetasi, pengendalian erosi sebaiknya dilakukan sejak awal dengan melakukan pendataran sebaik mungkin, sehingga areal yang cukup curam hanya pada tampungan/pinggiran areal revegetasi.

3.2.1 Terasering

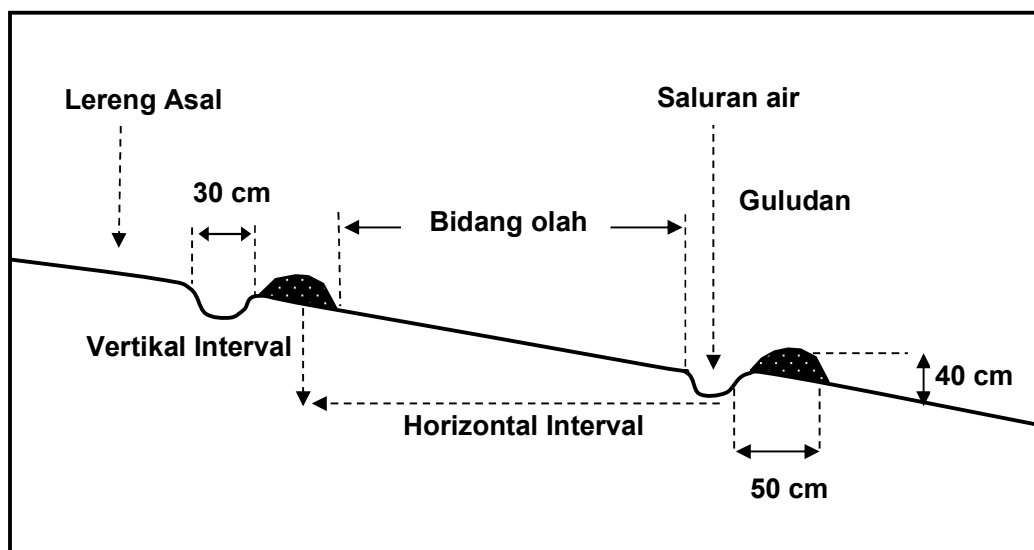
a. Teras Gulud

Teras gulud adalah barisan timbunan tanah yang dibuat memanjang (guludan) yang (sebaiknya) dilengkapi dengan rumput penguat gulud dan saluran air pada bagian lereng atasnya. Teras gulud berfungsi untuk menahan laju aliran permukaan dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah. Saluran air ini berfungsi untuk mengalirkan air aliran permukaan dari bidang olah ke saluran pembuangan air (Gambar 14).

Teras gulud cukup efektif mengendalikan erosi untuk kemiringan lahan < 15 % dan dapat dibuat pada tanah-tanah agak dangkal (> 20 cm) dan/atau tanah mempunyai kecepatan infiltrasi/permeabilitas tinggi.

Pembuatan:

- Buat garis kontur sesuai dengan jarak vertikal (vertikal interval) yang diinginkan. Vertikal interval yang umum adalah 1–2 m.
- Pembuatan guludan dimulai dari lereng atas dan berlanjut ke bagian bawahnya.
- Teras gulud dan saluran airnya dibuat membentuk sudut (0,1-0,5%) dengan garis kontur menuju ke arah saluran pembuangan air.
- Saluran air digali dan tanah hasil galian ditimbun di bagian bawah lereng dan dijadikan guludan.
- Tanami guludan dengan rumput penguat seperti *Paspalum notatum*, *Brachiaria brizanta*, *Brachiaria decumbens*, atau *Vetiveria zizanioides* agar guludan tidak mudah rusak.
- Diperlukan saluran pembuangan air (SPA) yang aman (berumput).

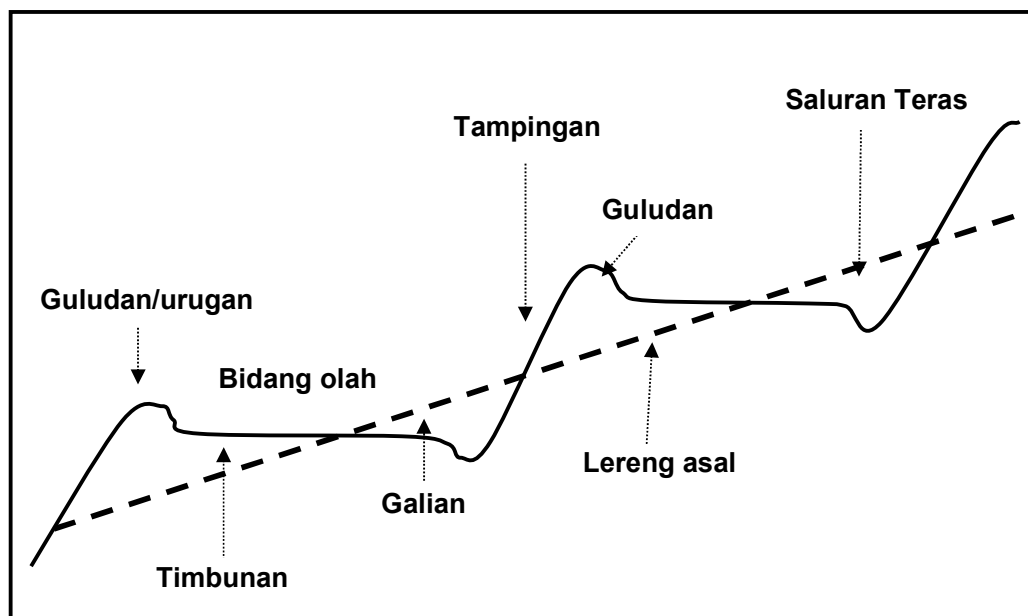


Gambar 14. Tampak samping teras gulud

b. Teras Bangku

Seperti halnya teras gulud, teras bangku berguna untuk menurunkan laju aliran permukaan dan menahan erosi. Teras bangku dibuat dengan jalan memotong lereng dan meratakan tanah di bidang olah sehingga terjadi suatu deretan berbentuk tangga (Gambar 15). Ada 3 jenis teras bangku: gulir kampak, datar, dan miring.

Teras bangku gulir kampak adalah teras bangku yang bidang olahnya dibuat agak miring ($< 3\%$) ke arah yang berlawanan dengan lereng asli. Dengan demikian air aliran permukaan dari setiap bidang lahan mengalir dari bidang lahan teras ke saluran teras dan terus ke Sistem Pembuangan Air (SPA). Teras bangku gulir kampak memerlukan biaya yang mahal karena memerlukan lebih banyak penggalian. Penggalian ini menyebabkan bagian bidang lahan di sekitar saluran teras merupakan bagian yang kurang/tidak subur (sekurang-kurangnya beberapa tahun pertama sesudah pembuatan teras) karena merupakan bagian lapisan tanah bawah (subsoil) yang tersingkap di permukaan tanah. Namun jika dibuat dengan benar, teras bangku gulir kampak sangat efektif mengurangi erosi.



Gambar 15. Tampilan samping teras bangku

Teras bangku datar adalah teras bangku yang bidang olahnya datar (membentuk sudut 0° dengan bidang horizontal). Biaya pembuatannya lebih murah dibandingkan dengan teras bangku gulir kampak dan cukup efektif menahan erosi, apabila bibir teras ditanami dengan tanaman penguat teras.

Teras bangku miring adalah teras bangku yang bidang olahnya miring ke arah lereng asli, namun kemiringannya sudah berkurang ($1 - 3\%$). Teras bangku miring dapat juga terbentuk secara perlahan dari teras kredit atau melalui sistem pertanaman lorong.

Teras bangku miring memerlukan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan teras bangku datar atau teras bangku gulir kampak, namun efektivitasnya dalam menahan erosi lebih rendah pada beberapa tahun pertama. Efektivitas ini akan meningkat secara perlahan apabila bibir teras ditanami tanaman rumput atau tanaman pagar.

Teras bangku dapat diterapkan pada :

- Lahan dengan kemiringan lahan 10-40% (teras bangku pada lahan yang jauh lebih curam - sampai 100% ada juga ditemukan)
- Solum tanah > 60 cm. Tanah stabil, tidak mudah longsor
- Tanah tidak mengandung unsur beracun seperti aluminium dan besi dengan konsentrasi tinggi. Pada tanah yang mengandung aluminium tinggi pada lapisan bawahnya (sub soil) seperti misalnya Tanah Podsolik Merah Kuning, pembuatan teras bangku dapat menyebabkan tersingkapnya lapisan tanah yang tinggi kandungan aluminiumnya sehingga meracuni tanaman.
- Ketersediaan tenaga kerja cukup untuk pembuatan dan pemeliharaan teras.



Gambar 16. Beberapa metode mekanik yang dapat diterapkan untuk mengendalikan erosi: teras gulud, teras bangku, barisan batu, dan pematang kontur

Pembuatan:

- Teras bangku dapat dibuat dengan jarak vertikal 0,5 sampai 1 m.
- Pembuatan teras dimulai dari lereng atas dan terus ke lereng bawah untuk menghindarkan kerusakan teras yang sedang dibuat oleh air aliran permukaan bila terjadi hujan.
- Tanah bagian atas digali dan ditimbun ke bagian lereng bawah sehingga terbentuk bidang olah baru. Tampingan teras dibuat miring; membentuk sudut 200% dengan bidang horizontal. Kalau tanah stabil tampingan teras bisa dibuat lebih curam.
- Kemiringan bidang olah berkisar 0 sampai 3% mengarah ke saluran teras.
- Guludan (bibir teras) dan bidang tampingan teras ditanami dengan tanaman berakar rapat, cepat tumbuh, dan menutup tanah dengan sempurna. Untuk petani yang memiliki ternak ruminansia dapat ditanami rumput pakan ternak. Contoh tanaman yang dapat ditanam pada guludan dan bibir teras adalah *Paspalum notatum*, *Brachiaria brizanta*, *Brachiaria decumbens*, atau *Vetiveria zizanioides*. Guludan teras dapat juga ditanami dengan salah satu tanaman legum pohon atau perdu seperti *Gliricidia*, lamtoro, turi, stylo, dan lain-lain. Tanaman leguminose (kacang-kacangan) lebih menguntungkan karena menyumbangkan N.
- Sebagai kelengkapan teras perlu dibuat saluran teras, saluran pengelak, saluran pembuangan air serta terjunan. Ukuran saluran teras: lebar 15-25 cm, dalam 20-25 cm.
- Untuk mengurangi erosi dan meningkatkan infiltrasi, rorak bisa dibuat di dalam saluran teras atau saluran pengelak.
- Air aliran permukaan perlu diarahkan ke SPA yang aman (berumput dan dilengkapi dengan bangunan terjunan air).

Pemeliharaan:

- Keluarkan sedimen dari dalam saluran dan dari rorak secara berkala, terutama pada musim hujan
- Sulam tanaman tampingan dan bibir teras yang mati
- Pangkas rumput yang tumbuh pada saluran, tampingan dan bibir teras.

Keuntungan:

- Bidang olah teras yang datar lebih mudah ditanami daripada lahan asli yang berlereng curam.
- Kalau bangunan teras cukup baik akan sangat efektif dalam mengurangi erosi dan aliran permukaan.
- Meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah.

Masalah Teras Bangku:

- Memerlukan banyak tenaga kerja untuk pembuatannya.

- Pada bidang olah teras sering tersingkap lapisan bawah tanah (*subsoil*) yang umumnya kurang subur terutama pada tahun-tahun pertama sesudah pembuatan teras.

Pembuatan dan pemeliharaan teras bangku mempunyai banyak masalah seperti mahalnya biaya atau tingginya kebutuhan tenaga kerja dan mudah tersingkapnya lapisan tanah beracun dan tidak subur pada sisi sekitar saluran teras. Hal ini menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat dalam beberapa tahun pertama sejak pembuatan teras. Untuk mengatasi masalah ini lebih baik dipilih teras kredit, sistem pertanaman lorong atau stip rumput yang secara perlahan juga akan membentuk teras bangku.

Teras bangku efektif menurunkan erosi karena menurunkan baik kemiringan maupun panjang lereng yang menentukan laju dan volume aliran permukaan. Secara umum, makin miring dan makin panjang lereng erosi makin besar, dan peningkatan erosi karena peningkatan kemiringan dan panjang lereng tidak bersifat linear tetapi cenderung eksponensial (Zing, 1940 *dalam* Arsyad 2010; Lal, 1997). Artinya penurunan kemiringan dan panjang lereng akan sangat signifikan dalam menurunkan erosi. Faktor lereng merupakan faktor yang tidak mudah berubah secara alami, sehingga jika faktor lereng kemudian berhasil dimanipulasi sehingga tidak kondusif terhadap erosi, dampak yang diperoleh relatif permanen. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaturan kemiringan lereng sampai pada level yang tidak kondusif untuk erosi merupakan faktor kunci yang menentukan keberhasilan upaya pengendalian erosi di lahan bekas tambang.

d. **Pematang Kontur**

Pematang kontur merupakan pematang menurut kontur (Gambar 12a), yang cukup besar untuk menyimpan air aliran permukaan dari areal di atasnya. Teknik ini mempunyai keuntungan yaitu dapat mengurangi aliran permukaan dan erosi serta meningkatkan pengisian air tanah.

Teknik ini baik untuk diterapkan bila :

- Daya infiltrasi tanah dan permeabilitas tinggi.
- Curah hujan <2000 mm/tahun.
- Tanah tidak peka longsor, lereng 8-25%. Kedalaman efektif tanah > 30 cm.
- Cocok untuk lereng yang panjangnya > 150 m.

Pembuatan:

- Pematang ini dibuat mengikuti kontur.
- Pematang lebih tinggi apabila: tanah tidak mudah menyerap air (tidak gembur), lereng lebih curam, dan jarak antar pematang lebih besar.

Pemeliharaan:

- Pematang adakalanya perlu diberi sayap untuk menahan air (terutama pada akhir musim hujan dan musim kemarau).
- Pematang perlu distabilisasi dengan rumput.

- Tinggi pematang harus tetap terpelihara.
- Petani perlu memeriksa pematang tersebut secara rutin dan segera melakukan perbaikan apabila terjadi kerusakan.
- Bagian dari pematang yang tidak ditumbuhi rumput perlu disulam.

e. **Barisan Batu**

Barisan batu dibuat mengikuti kontur dan berfungsi untuk menahan dan mengurangi jumlah dan laju aliran permukaan dan erosi serta meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah.

Teknik konservasi barisan batu sesuai untuk diterapkan pada lahan dengan kemiringan lahan 3-25% dan sesuai untuk daerah yang tanahnya berbatu sehingga barisan batu ini sekaligus digunakan untuk menumpuk batu dan memperluas bidang olah lahan.

Pembuatan:

- Dibuat mengikuti kontur
- Menyusun barisan batu (batu yang lebih besar di sebelah bawah).
- Dilengkapi sayap dari batu dengan panjang 0,5 – 2m. Sayap ini berfungsi untuk mencegah terlalu banyak aliran air terkonsentrasi pada suatu tempat.
- Horisontal Interval (HI) antara 5 – 50 m tergantung kemiringan lahan

Pemeliharaan barisan batu dapat dilakukan dengan selalu mengembalikan dan menyusunnya kembali dengan segera batu-batu yang tercecer akibat dipindahkan/ erangkut oleh orang, ternak, atau penyebab lain.

f. **Sumbat Parit (Gully Plug)**

Pengendalian erosi parit yang masih berukuran kecil secara sipil teknis dapat dilakukan dengan membuat *Check Dam* kecil sederhana yang berfungsi untuk memotong jalur pergerakan air sehingga aliran air lebih terkendali. Spasing atau jarak antar check dam yang dibuat tergantung pada ukuran parit dan kemiringan lereng. Check dam dapat dibuat dari kayu, batu, atau beton tergantung pada ukuran erosi parit.. Dengan adanya check dam, aliran air akan melambat sehingga diharapkan terjadi stabilisasi, parit tidak berkembang lebih lanjut yang memberi peluang tanaman penutup tanah untuk tumbuh lebih baik. Setelah tanaman penutup tanah tumbuh baik dan rapat, erosi akan jauh lebih terkendali.

Sebelum erosi parit dikendalikan, perlu juga dipelajari di mana posisi sumber kejadian pembentukan parit yang biasa disebut sebagai kepala parit. Jika ada, aliran air pada kepala parit perlu diarahkan dengan membuat saluran pengelak supaya aliran permukaan dapat disalurkan pada saluran yang aman.

Sumbat parit juga bisa dilengkapi dengan bronjong. Bronjong dibuat untuk menanggulangi erosi parit yang sudah lanjut, di mana arus aliran permukaan cukup besar sehingga tidak mungkin lagi menggunakan cara vegetatif atau sistem batuan lepas.

Persyaratan:

- Dalamnya parit bisa > 2 m dan arus aliran permukaan cukup besar.

Pembuatan:

- Pasang bronjong memotong saluran dan isi dengan batuan.
- Bronjong merupakan susunan batu yang ditata di dalam anyaman kawat berdiameter 0,5 cm dan membentuk bangun seperti pondasi rumah. Ketebalan minimum bronjong adalah 30 cm, ketebalan dasar bronjong sama atau kira-kira 3/4 dari tinggi bronjong.

Pemeliharaan:

- Pemeliharaan relatif ringan, berupa pengontrolan secara rutin.



Gambar 17. Gully plug dari batu yang disusun dan dari bambu

Jika menginginkan sumbat parit yang kuat maka bisa dibuat sumbat parit yang permanen. Check dam permanen ini tentu membutuhkan biaya yang lebih mahal, namun lebih tahan lama. Bentuk check dam permanen menyerupai sistem bronjong hanya saja bangunannya dibeton.

g. **Dam Pengendali (Check Dam)**

Dam pengendali dapat dibuat dari sabut atau bahan lain (batu). Sistem sabut atau ijuk (*brush check dam*) terdiri atas dinding bersabut yang dipasang memotong saluran dan diperkuat dengan patok/pancang. Cara ini digunakan apabila sabuk dan ijuk tersedia di lokasi setempat.

Persyaratan:

- Dalamnya parit tidak lebih dari 2 m
- Sesuai untuk parit yang kondisi tanahnya memungkinkan untuk menancapkan tiang penahan.
- Bahan seperti batu, bambu, dan ijuk tersedia di lokasi.

Bahan-bahan dan pembuatan:

- Tiang dari bambu atau kayu. Jarak antara tiang 0,5 m, tinggi tiang penahan ± 1 m.
- Sisa-sisa tanaman seperti batang jagung, rumput vetiver, alang-alang, ijuk, sabut dan lain lain.

- Kawat tebal untuk pengikat.
- Buat anyaman dan pasangkan di dalam parit.



Gambar 18. Dam pengendali dengan bronjong (gabionsupply.com) dan dengan menggunakan ban bekas (Foto : Agus Subandrio)

Penggunaan batu yang pipih dan rata (bila tersedia) akan lebih mudah digunakan untuk sumbat parit dan cukup efektif mengendalikan erosi parit.

Persyaratan: Dalamnya parit < 2 m, dan batu mudah diperoleh di lokasi.

Pembuatan:

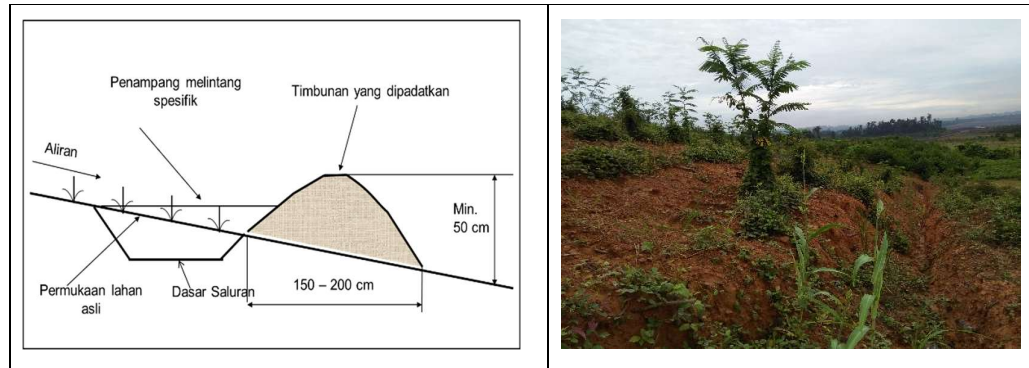
- Buat pancang penahan sedalam $\pm 0,5$ m di bagian dasar dan samping parit.
- Batu disusun sehingga satu batu dengan yang lainnya saling mengunci. Kalau tidak ada batuan yang pipih maka batu bundar juga dapat digunakan tetapi perlu diikat dengan anyaman kawat (bronjongan= gabion). Batu disusun sedemikian rupa sehingga tidak banyak rongga terbentuk di antara susunan batu

h. Saluran Pengelak (diversion trench atau diversion waterway)

Saluran pengelak (Gambar 13) adalah saluran yang dibuat untuk memotong aliran permukaan dari daerah/bidang lahan di atas lereng agar tidak masuk ke areal pertanian agar aliran permukaan dan erosi berkurang. Saluran ini dibuat memotong lereng dengan sedikit membentuk sudut (0,1-0,5%) dengan garis kontur untuk mengalirkan air.

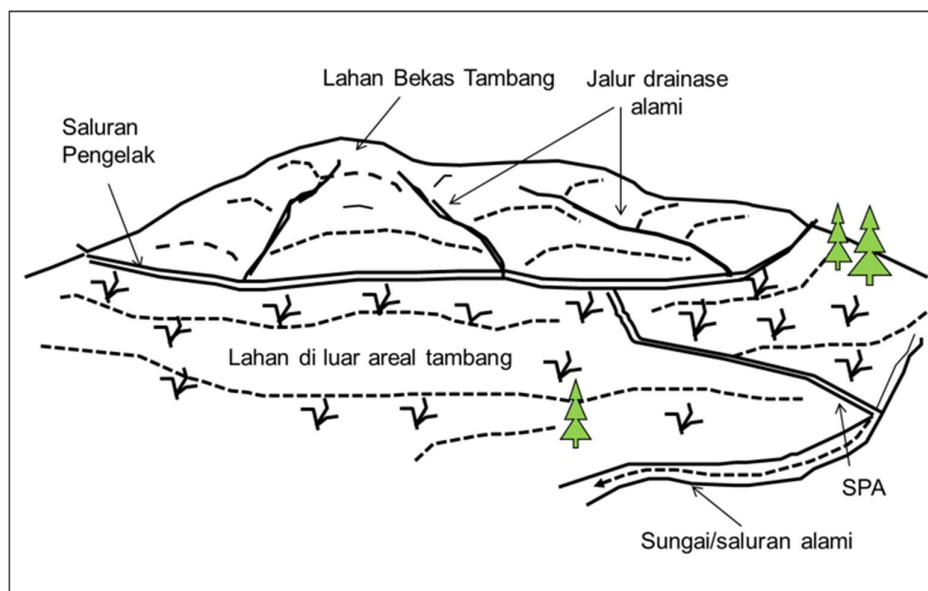
Saluran pengelak perlu juga ditempatkan pada lereng bagian atas dari jurang (*gully*) yang aktif dan lereng atas dari pemukiman/ bangunan. Ukuran saluran ditentukan oleh jumlah air aliran permukaan yang akan dialirkan. Untuk areal yang landai dan tidak terlalu luas, saluran dengan lebar 30 cm dan dalam 20 cm sudah cukup. Untuk daerah yang lebih luas dan semakin curam perlu saluran yang lebih besar. Panjang saluran biasanya 250-400 m atau disesuaikan dengan kondisi di lapangan.

Pada saat menggali saluran, tanah hasil galian (urugan) digunakan untuk pembuatan guludan atau tanggul pada bagian bawah saluran (Gambar 14).



Gambar 19. Penampang melintang (tampak samping) saluran diversifikasi (kiri) dan contoh saluran diversifikasi (kanan) (Foto oleh Tejo Baskoro)

Pemeliharaan saluran dapat dilakukan dengan mengeluarkan sedimen dan batuan dari dasar saluran, memangkas rumput dan atau semak yang tumbuh pada saluran, dan memelihara guludan di lereng bawah saluran.



Gambar 20. Ilustrasi letak saluran pengelak, saluran teras, dan saluran pembuangan air (SPA) pada suatu areal bekas tambang.

Pembuatan:

- Ukuran saluran tergantung pada jumlah air aliran permukaan yang akan ditampung.
- Panjang saluran disesuaikan dengan kondisi lapangan dan maksimum 150-200 m dan dipotong dengan saluran pembuangan air.
- Biasanya kemiringan saluran pengelak 0,1-0,5% dari garis kontur.

i. Terjunan Air

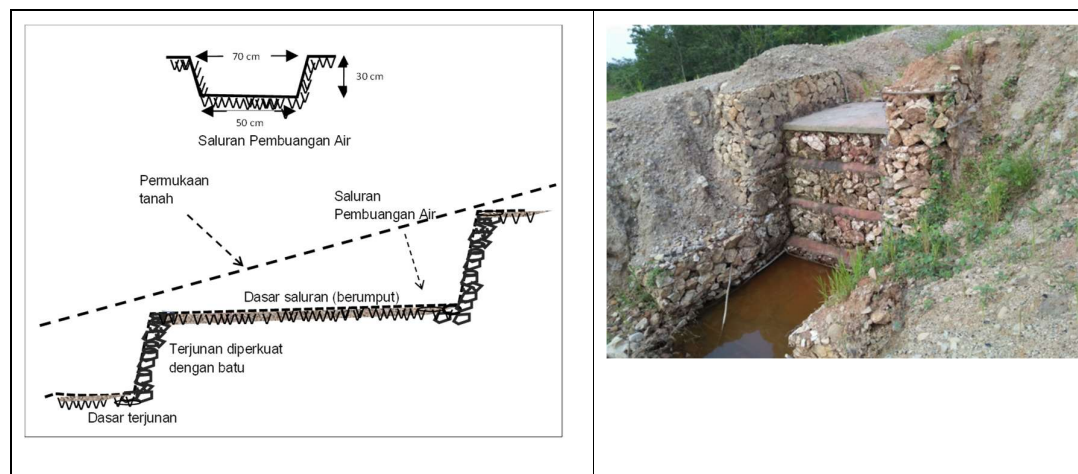
Terjunan air (Gambar 19) adalah bangunan yang terbuat dari susunan batu atau bambu atau bahan lainnya pada SPA yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan sehingga air mengalir dengan kecepatan yang tidak merusak. Bangunan terjunan diperlukan bila kemiringan SPA > 8% atau bila tanah peka terhadap erosi jurang.

Pembuatan:

- Terjunan ditempatkan pada tempat-tempat tertentu sepanjang SPA terutama pada bagian SPA yang berlereng amat curam. Semakin curam lereng, semakin banyak terjunan yang diperlukan. Pada lahan yang curam, tinggi bangunan terjunan bisa mencapai >75 cm.
- Dinding dan titik jatuhnya air diperkuat dengan susunan batu, bambu atau batu bata sehingga tidak mudah tergerus air.
- Pada bagian bawah terjunan perlu dilengkapi dengan penahan sedimen berupa barisan rumput melintang/memotong SPA.

Pemeliharaan bangunan terjunan perlu segera dilakukan apabila ada kerusakan seperti telah bergesernya susunan batu dari terjunan atau telah melapuknya susunan bambu.

Terjunan juga bisa dibuat berupa gabungan gorong-gorong dengan susunan batu pada titik terjunan air (Gambar 20). Gorong-gorong berfungsi untuk mengalirkan air agar tidak merusak dinding/tebing pada tempat-tempat yang rawan. Kapasitas gorong-gorong diperhitungkan lebih besar dari aliran permukaan maksimum sehingga dapat menampung aliran permukaan dari hujan lebat.



Gambar 21. Ilustrasi saluran pembuangan air dengan terjunan (kiri) dan contoh terjunan yang *over size* (kanan) (Foto oleh Tejo Baskoro)

IV. PEMANTAUAN DAN EVALUASI EROSI

Erosi dan sedimentasi di areal penambangan dapat menjadi penyebab utama kegagalan upaya reklamasi lahan bekas tambang karena erosi mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lahan (degradasi lahan) sekitar areal tambang. Keberhasilan dalam pengendalian dan pencegahan terjadinya erosi pada lahan areal reklamasi merupakan aspek utama yang harus dilakukan oleh perusahaan pertambangan dalam rangka mengukur tingkat ketaatan perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup. Oleh karena itu kegiatan pemantauan secara periodik perlu dilakukan.

4.1 Metode Petak Erosi

Pengukuran dengan menggunakan petak erosi merupakan metode standard yang biasa digunakan dalam penelitian erosi. Pengukuran erosi dengan cara ini dianggap yang paling akurat, walaupun memerlukan waktu dan biaya yang lebih tinggi. Pengukuran dilakukan untuk setiap kejadian hujan.

Pengukuran dilakukan dengan membuat petak erosi dan mengukur jumlah tanah yang tererosi dari petak erosi tersebut yang luasnya diketahui. Tanah yang tererosi ditampung pada suatu bak penampung di bawah petak erosi, di ambil dan diukur pada setiap kejadian hujan. Ukuran petak bervariasi, tergantung tujuan pengukuran. Petak standar menurut Wischmeier dan Smith adalah panjang 22 m dan lebar 2 - 4 m.



Gambar 22. Contoh petak erosi. Besaran aliran permukaan dan erosi diperoleh dengan mengukur volume air dan jumlah sedimen yang masuk ke bak erosi yang ditempatkan di bagian bawah petak erosi

4.2 Pengukuran Penurunan Permukaan Tanah

Laju atau tingkat erosi pada periode waktu tertentu dapat diperkirakan dari tebalnya tanah yang hilang / penurunan permukaan tanah. Pengukuran penurunan permukaan tanah dilakukan dengan menanam tongkat dengan kedalaman secukupnya (kalau bisa sampai 1 m), lalu tinggi tongkat dari permukaan tanah diukur. Tinggi tongkat kemudian diukur secara periodik. Penurunan permukaan tanah adalah selisih tinggi tongkat dari dua periode pengukuran. Pengukuran penurunan permukaan tanah dapat juga dilakukan dengan melihat singkapan akar dan/ atau pedestal



Gambar 23. Penetapan erosi dengan patok ukur erosi dengan mengukur tingginya secara periodik untuk mendapatkan besaran erosi yang terjadi (atas). Variasi erosi lokal yang (bawah)

Pengukuran dengan cara ini umumnya agak kasar/kurang akurat. Hal ini karena 1) Ketebalan lapisan tanah yang hilang sangat bervariasi (hal ini dapat diatasi dengan memperbanyak jumlah tongkat pengukur) dan 2) Penurunan permukaan tanah mungkin baru bisa terbaca setelah turun sekitar 0.5 cm dan itu setara dengan kehilangan tanah sekitar 50 ton/ha.

4.3 Pengukuran Besar dan Kerapatan Alur/Parit

Besarnya erosi dilihat dari kerapataan dan dimensi alur/parit. Kerapatan alur /parit dilihat dari panjang alur/parit yang dijumpai persatuan luas. Jadi parameter yang diukur adalah total panjang parit pada suatu luasan tertentu serta lebar dan dalam alur / parit yang ada. Hasil pengukuran kemudian dapat dievaluasi dengan menggunakan kriteria seperti tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kelas Erosi berdasarkan kehilangan lapisan tanah dan erosi alur / parit

	Kriteria	
	Tanah Dalam	Tanah Dangkal
Ringan	< 25 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi alur pada jarak 20 – 50 m	< 25 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi alur pada jarak > 50 m
Sedang	25-75 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi alur pada jarak < 20 m	25-50 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi alur pada jarak 20 - 50 cm
Berat	> 75 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi parit pada jarak 20 - 50 m	50 - 75 % lapisan tanah atas hilang, erosi parit pada jarak > 50 m
Sangat Berat	> 75 % lapisan tanah atas hilang dan/atau erosi parit dengan kedalaman sedang pada jarak < 10 m	25-50 % lapisan tanah atas hilang, sebagian lapisan tanah bawah telah tererosi

4.4 Pengukuran Jumlah Sedimen

Pengukuran erosi dapat dilakukan secara tidak langsung dengan mengukur jumlah sedimen yang dihasilkan. Hal ini dapat dilakukan baik dengan cara mengukur sedimen yang terangkut pada suatu sungai (muatan sedimen air sungai) atau dengan mengukur sedimen yang tertampung pada suatu waduk atau kolam pengendapan sedimen.

a. *Muatan Sedimen Air Sungai*

Pengukuran muatan sedimen air sungai dilakukan dengan mengambil contoh air dalam interval waktu tertentu. Lalu konsentrasi sedimen dalam contoh air sungai tersebut diukur di laboratorium.

Untuk mendapatkan data jumlah sedimen, maka perlu dilakukan pengukuran debit aliran sungai atau volume aliran permukaan. Pengukuran debit aliran sungai dapat dilakukan dengan memasang weir dan AWLR (automatic water level recorder), mengukur kecepatan aliran sungai dan survei penampang aliran sungai-perimeter basah).

Jumlah sedimen (S) kemudian dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q = V A$$

Q = debit aliran sungai ($m^3/detik$)

V = kecepatan aliran air sungai (m/detik)

A = luas penampang basah sungai (m^2)

$$Q_s = Q C_s$$

Q_s = debit sedimen air sungai (gram/detik)

Q = debit aliran sungai ($m^3/detik$)

C_s = konsentrasi sedimen (mg/liter)

$$S = Q_s \times t$$

t = waktu

Untuk mendapatkan nilai erosi yang terjadi pada bidang lahan, maka diperlukan nilai "*Nisbah Pelepasan Sedimen*" (Sediment Delivery Ratio , SDR). Untuk daerah tangkapan yang kecil, dengan ukuran hanya beberapa hektar, SDR mendekati 1). Besarnya erosi yang terjadi pada suatu bidang lahan, E , adalah jumlah sedimen dibagi dengan nilai SDR.

b. Pengukuran Jumlah Sedimen Yang Tertampung

Pengukuran jumlah sedimen yang tertampung dapat dilakukan dengan mengukur tebal sedimen pada beberapa titik (penampang tebal sedimen) pada suatu waduk, reservoir, ataupun sediment pond untuk menduga volume sedimen.

Untuk mendapatkan jumlah sedimen dalam satuan berat (gram, kg, ataupun ton) maka diperlukan pengukuran bobot isi contoh sedimen. Bobot isi sedimen adalah berat sedimen per satuan volume sedimen

Perlu pengetahuan atau data mengenai "trap efisiensi " untuk menduga banyaknya sedimen yang dihasilkan dan sampai ke waduk (sediment yield). Catatan : untuk sediment pond pada daerah bekas tambang *trap efisiensi* diharapkan 100 %. Artinya tidak ada sedimen yang dibiarkan lolos keluar.

Perlu nilai "SDR" untuk menduga besarnya erosi yang terjadi pada daerah tangkapan di atasnya

V. PENUTUP

Erosi merupakan fenomena yang sangat umum dijumpai di lahan bekas tambang dan ikut menentukan keberhasilan upaya reklamasi lahan bekas tambang. Berbagai teknologi pengendalian erosi seperti diuraikan diatas telah dikenal dan diterapkan, yang secara umum pada dasarnya diarahkan pada tiga perlakuan pokok, yaitu :

- a. Perlindungan terhadap tanah dari pukulan butir-butir hujan dengan cara meningkatkan penutupan tanah (dengan tajuk tanaman, sisa tanaman, atau bahan lainnya).
- b. Mengurangi jumlah aliran permukaan melalui peningkatan infiltrasi dan/atau meningkatkan simpanan air di permukaan dan di dalam tanah sehingga pengikisan dan perpindahan butiran dan agregat tanah dapat dikurangi, yang dapat dilakukan misalnya dengan pembuatan rorak, guludan, mengurangi kemiringan lahan, memperpendek panjang lereng (dengan teras dan sebagainya), ataupun melalui cara vegetatif dan lain-lain.
- c. Memperbaiki sifat fisik tanah sehingga lebih tahan terhadap pukulan butir hujan dan pengikisan aliran permukaan yang dapat dilakukan misalnya dengan pemberian bahan organik, soil conditioner, dan lain-lain.

Apapun yang dilakukan untuk ketiga hal tersebut di atas akan dapat menekan/menurunkan erosi, walaupun efektifitasnya tentu saja berbeda beda. Teknik yang dipilih perlu disesuaikan dengan masalah yang ada di lapangan dan masalah yang akan dipecahkan. Misalnya, untuk memecahkan masalah erodibilitas tanah yang tinggi akibat struktur tanah yang mudah terdispersi (agregat tanah tidak stabil atau mudah pecah) dapat dilakukan dengan peningkatan kandungan bahan organik tanah, misalnya dengan sistem tanam campuran, pemberian mulsa, pemupukan, pemberian pupuk kandang. Selain berdasarkan masalah tanah, iklim dan topografi, pilihan perlu disesuaikan dengan biaya dan tenaga kerja yang tersedia serta luas dan status kepemilikan lahan.

Pemantauan erosi dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung atau melalui prediksi. Pemantauan erosi dengan pengamatan langsung dapat dilakukan metode patok erosi dan cukup dilakukan cukup sekali setahun, dalam bulan yang kurang lebih sama. Hal ini karena akurasi dan sensitifitas metode ini untuk menangkap besaran erosi tergolong rendah. Parameter yang di pantau adalah tinggi setiap patok erosi yang dipasang pada setiap petak pemantauan. Erosi per tahun kemudian ditetapkan dengan menghitung selisih tinggi patok hasil pengukuran dengan tinggi patok hasil pengukuran periode sebelumnya.

Karena variasi data yang diperoleh sangat tinggi, maka untuk mengurangi variasi dapat diperbanyak dengan jumlah patok yang dipasang untuk setiap satuan petak dan memperkecil ukuran patok.

Pemantauan erosi juga dapat dilakukan dengan melakukan prediksi menggunakan metode USLE juga bisa dilakukan sekali dalam setahun dengan waktu yang sama dengan waktu pemantauan metode Patok Erosi. Parameter yang dipantau adalah curah hujan, karakteristik tanah, kondisi tutupan vegetasi, dan kondisi bangunan konservasi yang ada. Sementara kondisi lereng tidak perlu selalu di pantau karena dianggap tetap, kecuali diketahui ada longsor yang menyebabkan perubahan lereng. Pemantauan curah hujan dilakukan dengan mengukur curah hujan setiap kejadian hujan. Alat ukur yang digunakan adalah penakar hujan, bisa manual atau otomatis tergantung pada penakar

yang sudah tersedia. Pemantauan karakteristik tanah dilakukan dengan sampling tanah untuk mengukur tekstur tanah (4 fraksi), kandungan bahan organik, dan permeabilitas. Saat sampling, dilakukan juga pengamatan struktur tanah. Pemantauan kondisi vegetasi dilakukan dengan mengukur persen penutupan setiap strata tajuk, yaitu tajuk > 2 m, tajuk 0.2 – 2 m dan tajuk < 0.2 m (basal cover). Hasil pantauan masing-masing parameter kemudian digunakan untuk menghitung nilai-nilai faktor penentu erosi pada metode USLE.

Pemantauan erosi alur atau parit diperlukan untuk melengkapi data erosi hasil pantauan patok ataupun USLE. Parameter yang dipantau adalah dimensi parit (lebar dan dalam) serta kerapatan parit (panjang parit per satuan luas tertentu).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi Kedua. PT Penerbit IPB Press. IPB Bogor.
- Asdak C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Cetakan Keempat (revisi). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hammer, W.I., 1981. *Soil Conservation Consultant Report*. Soil Research Institute. Indonesia. Technical Note No. 7.
- Laksono PB, Wachjar A, Supijatno. 2016. Pertumbuhan *Mucuna bracteata* DC. pada Berbagai Waktu Inokulasi dan Dosis Inokulan. *Jurnal Agron Indonesia*. 44(1): 104-110.
- Lal, R. 1977. *Erosivity in tropical countries*. IITA Paper Presented at the Expert Consultation on Methodology for Assessing Soil Degradation. Rome, 18-20 January 1977. Western Nigeria. I. Runoff, erosion and crop response, land Degradation and Development. 8:201-219.
- Morgan RPC. 2005. *Soil Erosion and Conservation 3rd Edition*. Oxford (UK): Blackwell Science Ltd.
- Moss, A.J. and T. W. Green. 1987. Erosive effects of large water drops (gravity drops) that fall from plant. *Australia J. Soil Res.* 25:9-20
- Othman H, Darus FA, Hashim Z. 2012. Best management practices for oil palm cultivation on peat: *Mucuna bracteata* as ground cover crop. *Malaysian Palm Oil Board*. 501: 1-4.
- Schwab GO, Frevert RK, Edminster TW, Barnes KK. 1981. *Soil and water conservation engineering*. Ed ke-3. John Wiley and Sons. New York.
- Sinukaban, N. 2007. *Konservasi Tanah dan Air*. Kunci Pembangunan Berkelanjutan. DitJen RLPS, Jakarta
- Subronto, Harahap IY. 2002. Penggunaan kacang penutup tanah *Mucuna bracteata* pada pertanaman kelapa sawit. *Warta PPKS*. 10 (1): 1-6.
- Troeh F. R., Hobbs A. J., and Danahue R. L., 1980. *Soil and water conservation for productivity and environmental protection*. Prentice-hall, Inc., Englewood Cliffs
- Wischmeier, W. H., Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.