

## Observasi Potensi Erosi Tanah pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang Batubara PT Multi Tambangjaya Utama (MTU) di Barito Selatan, Kalimantan Tengah

Triyono Sudarmadji<sup>1)</sup> dan Wahjuni Hartati<sup>2)</sup>

Laboratorium Konservasi Tanah dan Air<sup>1)</sup>, Laboratorium Ilmu-ilmu Tanah<sup>2)</sup>

Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman

Jalan Ki Hajar Dewantara Kampus Gunung Kelua PO. BOX 1013 Samarinda 75123,  
Kalimantan Timur, Indonesia

Telepon: +62-541-735089 / 748068, Fax. +62-541-735379

email: anni\_tri@yahoo.com<sup>1)</sup> dan wahyunihartati@yahoo.com<sup>2)</sup>

### ABSTRAK

Potensi erosi tergantung kepada faktor-faktor penentu utamanya yaitu erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, penutupan vegetasi, serta tindakan-tindakan konservasi tanah dan air. PT MTU selalu memantau dan mengelola setiap dampak lingkungan seiring kegiatan penambangan batubara. Tujuan observasi ini adalah untuk mengetahui dinamika potensi erosi terkait dengan upaya pemulihan lahan melalui reklamasi-revegetasi. Diketahuinya dinamika potensi erosi dalam besaran dan harkat KBE maupun TBE seiring upaya dan hasil reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang batubara diharapkan dapat mendukung upaya-upaya pemulihan lahan melalui kegiatan reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang dalam kerangka restorasi ekosistem bentang alam pasca penambangan batubara. Observasi potensi erosi dilaksanakan di lahan reklamasi-revegetasi pasca tambang batubara dan lahan original (hutan) pada areal kerja PT MTU di Kabupaten Barito Selatan, Kalimantan Tengah. Sebanyak 5 (lima) buah Petak Observasi (PO) - *Terbuka*, 2012, 2011, 2010 dan *Original* ditetapkan untuk dapat menggambarkan kecenderungan perkembangan penutupan vegetasi dari mulai lahan terbuka pasca tambang hingga lahan original bersamaan dengan karakter potensi erosinya. Berdasarkan kisaran harkat KBE, kepekaan tanah terhadap erosi dan potensi erosi adalah Sangat Tinggi (ST) pada PO-Terbuka dan PO-2012, yang menurun seiring perkembangan penutupan vegetasi yaitu Tinggi (T) pada PO-2011 dan PO-2010, serta Sangat Rendah (SR) pada PO-Original. Potensi erosi di PO-Terbuka dan PO-2012 adalah Sangat Tinggi (ST) akibat tiadanya tutupan vegetasi, rendahnya kapasitas infiltrasi dan besarnya limpasan permukaan. Pada PO-2011 dan PO-2010 menurun menjadi Tinggi (T) yang mengindikasikan adanya penahanan tumbukan hujan dan peningkatan kapasitas infiltrasi tanah. Harkat TBE Sangat Berat (SB) pada PO-Terbuka dan PO-2012 menurun seiring perkembangan vegetasi yaitu menjadi Berat (B) pada PO-2011 dan PO-2010, serta Sangat Ringan (SR) pada PO-Original. Pencapaian harkat KBE-SR dan TBE-SR pada lahan reklamasi-revegetasi memerlukan waktu 5-6 tahun, dan diantara penentu keberhasilan reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang paling memungkinkan untuk dikelola adalah pengaturan kelerengan dan penyiapan lahan serta penanaman dan intensitas pengelolaan tanaman revegetasi.

*Kata kunci: revegetasi lahan pasca tambang, potensi erosi, kelas dan tingkat bahaya erosi, limpasan permukaan, konservasi tanah dan air*

### I. Pendahuluan

#### A. Latar Belakang

Pemanfaatan sumberdaya alam (SDA) dan pengelolaan lingkungan hidup harus mampu menekan dampak merugikan, mempertahankan mutu dan kelestarian SDA dan lingkungan hidup bagi kesejahteraan manusia. PT Multi Tambangjaya Utama (MTU) yang bergerak di bidang penambangan batubara selalu mengamati-memantau-mengelola setiap dampak yang telah, sedang maupun yang potensial timbul seiring kegiatan penambangan batubara. Penambangan batubara berdampak signifikan, sehingga pengelolaannya harus mengikuti tata urutan kegiatannya, yaitu pembersihan lahan (*land clearing*), pengelolaan tanah pucuk (*topsoils*), penanganan limbah (*mining waste*), penambangan batubara (*mining*), penanganan air, restorasi - reklamasi - revegetasi lahan bekas tambang, serta masalah-masalah terkait erat dengan *pra - pelaksanaan - pasca* kegiatan. Pemanfaatan SDA tidak terbarukan (*non-renewable resources*) tersebut harus rasional, efisien, dan tidak boros, serta seminimal mungkin merusak lingkungan dan pencadangan untuk generasi mendatang. Metoda penambangan terbuka menyebabkan perubahan bentuk lahan dan sangat potensial menimbulkan pemborosan, kerusakan, serta kemerosotan SDA. Sehingga, sangat diperlukan upaya-upaya untuk mempertahankan dan memelihara kelestarian kemampuan lingkungan hidup guna menunjang program pembangunan. Informasi tentang potensi erosi tanah sangat diperlukan sebagai satu diantara data-data dasar dalam upaya tindak lanjut kegiatan reklamasi dan revegetasi agar terarah, efektif dan efisien. Lahan terdegradasi, termasuk lahan bekas tambang batubara pada umumnya mengalami penurunan tingkat kesuburan tanah dan perubahan iklim mikro secara drastis, peningkatan potensi erosi yang mengarah kepada perubahan yang kurang menguntungkan bagi perkembangan makhluk hidup.

## B. Perumusan Masalah

Erosi merupakan suatu proses alam yang tidak mungkin bisa dihilangkan sama sekali. Penggunaan lahan yang abai terhadap kaidah-kaidah konservasi tanah dan air menyebabkan terjadinya peningkatan laju erosi sangat nyata yang berdampak setempat maupun tempat lainnya (*onsite - offsite impacts*). Oleh karenanya, pengendalian erosi dan limpasan permukaan sangat penting, karena hal tersebut akan sangat menentukan tatacara pengelolaan SDA tanah dan air. Upaya pemulihan kondisi ekologis kawasan pasca tambang diperlukan guna mengetahui sejauh mana upaya tersebut membuahkan hasil. Percepatan proses pulihnya ekosistem pada areal reklamasi-revegetasi harus didukung penuh oleh tindakan hati-hati dalam memberi apresiasi khusus terhadap nilai ekologis lapisan tanah pucuk (*top soils*) dan peranan fragmen hutan sekunder alami sebagai sumber kolonisasi jenis. Selain itu, juga perlu dipantau potensi erosi tanah untuk mendapatkan kepastian tentang stabilitas dan masa depan kawasan tersebut. Erosi yang besar dan berlangsung terus menerus akan sangat merugikan upaya-upaya penanaman yang telah dilakukan.

## C. Tujuan Observasi

Tujuan terpenting dari kegiatan observasi potensi erosi tanah adalah untuk mengetahui dinamika potensi erosi tanah dalam kaitannya dengan upaya pemulihan lahan melalui reklamasi-revegetasi lahan pasca penambangan batubara.

## D. Hasil dan Manfaat yang Diharapkan

Hasil yang diharapkan adalah diketahuinya dinamika potensi erosi tanah dalam besaran dan harkat kelas maupun tingkat bahaya erosi seiring upaya dan hasil reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang. Selanjutnya diharapkan bahwa data dasar dan pengetahuan tentang dinamika potensi erosi tanah pada lahan revegetasi pasca tambang dapat mendukung upaya-upaya pemulihan lahan melalui kegiatan reklamasi-revegetasi dalam upaya restorasi ekosistem bentang alam pasca penambangan batubara.

## II. Bahan dan Metoda

### A. Lokasi dan Waktu

Observasi potensi erosi dilaksanakan di lahan reklamasi-revegetasi pasca tambang batubara dan lahan original (hutan) pada areal kerja PT MTU di Kabupaten Barito Selatan Provinsi Kalimantan Tengah. Di tapak observasi ditetapkan sebanyak 5 (lima) buah Petak Observasi (PO), yaitu PO-Terbuka, PO-2012, PO-2011, PO-2010 dan PO-Original; yang dirancang untuk menggambarkan kecenderungan (*trend*) perkembangan penutupan vegetasi bersamaan dengan karakter potensi erosinya. Pelaksanaannya adalah selama  $\pm 3$  (tiga) bulan yaitu antara Bulan Oktober hingga Desember 2012, yang meliputi perancangan kegiatan, pengumpulan dan analisis data, serta penyusunan laporan penelitian.

### B. Prosedur Observasi

Observasi dilaksanakan pada PO yang ditetapkan secara purposif dengan sangat mempertimbangkan representasi kondisi lahan reklamasi-revegetasi pasca tambang batubara di areal kerja PT MTU. Observasi dilakukan pada PO yang berukuran 10 m x 50 m untuk setiap kondisi lahan (Terbuka, 2012, 2011, 2010, Original/Hutan) yang kemudian dibagi menjadi 20 (dua puluh) Sub-PO berukuran 5 m x 5 m (**Gambar-01**).

Pendugaan besaran potensi laju erosi dilakukan dengan pendekatan metode Universal Soil Loss Equation (USLE) yaitu  $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$  ( $A =$  Potensial jumlah tanah maksimum yang hilang (*ton/ha/tahun*),  $R =$  Indeks erosivitas hujan,  $K =$  Indeks erodibilitas tanah,  $L =$  Indeks panjang dan kemiringan lereng,  $C =$  Indeks tanaman penutup dan pengelolaannya,  $P =$  Indeks tindakan konservasi tanah). Indeks R adalah gambaran dari kemampuan hujan untuk menimbulkan kejadian erosi melalui tahapan pemecahan agregat dan dispersi serta pengangkutan partikel tanah oleh tenaga limpasan permukaan (*surface run-off*). Besaran Indeks R ditentukan berdasarkan jelek hujan bulanan dengan pendekatan Lenvain (1989) yaitu:  $R = 2,21 P^{1,36}$  ( $R =$  Erosivitas hujan dan aliran permukaan,  $P =$  Jelek hujan bulanan *cm*). Berdasarkan pendekatan tersebut diperoleh besaran R-tahunan dengan menjumlahkan R-bulanan tersebut secara aljabar. Indeks K diartikan sebagai jumlah tanah yang hilang secara potensial dari suatu jenis lahan akibat erosivitas hujan dalam keadaan bera sepanjang tahun, yang terletak pada kemiringan lahan 9% dan panjang lereng 22,10 m. Besaran K sangat ditentukan oleh tekstur, struktur, permeabilitas dan kandungan bahan organik tanah, yang dapat dilakukan melalui pendekatan nomografis atau rumus-rumus lainnya. Kombinasi faktor LS mewakili rasio kehilangan tanah pada suatu panjang dan kecuraman lereng terhadap kehilangan tanah dari suatu lereng dengan panjang 22,10 m pada kondisi yang sama. Nilai-nilai LS tidak mutlak tetapi merujuk kepada nilai 1,0 dengan panjang lereng 22,10 m dan kecuraman 9%. Pengaruh panjang lereng dapat diabaikan dan yang dianggap berpengaruh hanya kemiringan lereng.

Besaran Indeks P adalah nisbah atau perbandingan antara besarnya tanah yang tererosi atau tanah yang hilang dari lahan dengan tanaman tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang terjadi pada lahan yang sama tetapi tanpa tanaman dan dengan panjang dan kemiringan lereng lapangan yang sama. Faktor tersebut mencakup tindakan mekanik atau fisik dan upaya lain yang bertujuan untuk mengurangi atau menekan bahaya erosi. Penilaian indeks P menggunakan kriteria berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Dengan mempertimbangkan kondisi penutupan vegetasi, PO dirancang dengan sejauh mungkin merupakan representasi ragam kondisi lapangan. Secara keseluruhan, jumlah PO adalah 5 buah (10 m x 50 m) dan setiap PO dibagi menjadi Sub-PO (5 m x 5 m) sebanyak 20 Sub-PO.



**Gambar-01.** Petak Observasi Potensi Erosi pada Lahan Reklamasi-Revegetasi Pasca Tambang Batubara PT MTU

Pengamatan sifat-sifat tanah dilakukan untuk mengetahui potensi tanah, baik secara kimia, morfologi maupun fisik dalam mendukung keterpulihan lahan reklamasi-revegetasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan bor tanah pada kedalaman 0 - 10 cm, 10 - 30 cm dan 31 - 60 cm. Pada setiap PO dibuat Profil Tanah Mini guna mengamati drainase, kedalaman efektif, ketebalan material tanah dan tinggi muka air tanah. Pengamatan potensi erosi tanah meliputi *indeks erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, tutupan vegetasi, serta ada tidaknya praktek-praktek konservasi tanah dan air.*

### III. Hasil dan Pembahasan

#### A. Risalah Lokasi Observasi

Lokasi kegiatan observasi potensi erosi tanah adalah areal lahan reklamasi-revegetasi pasca kegiatan penambangan batubara di areal kerja penambangan batubara PT MTU. Karakteristik areal reklamasi dibedakan atas tahun tanam tanaman (2012, 2011, 2010) dan kondisi penutupan vegetasi (terbuka, original). Penanaman tahun 2010 ditetapkan sebagai areal reklamasi yang pertama yang diikuti penanaman pada tahun-tahun berikutnya yaitu 2011 dan 2012. Jenis-jenis tanaman yang ditanam adalah jenis-jenis cepat tumbuh (*fast growing species*) yang didahului tanaman penutup tanah (*legume cover crops*). Blok-blok tanaman areal reklamasi terhubung oleh jaringan jalan tambang yang terpelihara dengan kondisi cukup baik sehingga akses ke lokasi areal reklamasi-revegetasi dapat dilakukan dengan mudah. Status kawasan untuk areal kerja PT MTU adalah Arahana Penggunaan Lain (APL) sehingga termasuk kelompok kawasan budidaya non-kehutanan (KBNK). Sehubungan dengan hal tersebut, lahan original yang ditetapkan sebagai acuan (*benchmark*) reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang adalah bagian dari konsesi tambang yang tidak terganggu oleh sekuen kegiatan penambangan, yang sebagian besar berupa lahan hutan sekunder yang sudah dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar (*transmigran*) untuk kegiatan pertanian, perkebunan (karet) dan perburuan.

#### B. Geologi dan Jenis Tanah

Secara umum, kondisi geologi termasuk dalam cekungan Barito bagian Utara yang terbentuk pada kala Eosen - Oligosen dimana saat itu terjadi penurunan daratan yang mengakibatkan genangan air laut (*transgresi*). Menurut Peta Geologi Lembar Buntok Skala 1 : 250.000, sedimen tersier di daerah Gunung Bintang Awai dapat dikelompokkan menjadi satuan-satuan batuan (formasi) Kompleks Batuan Pra-Tersier, Formasi Tanjung, Formasi Berai, dan Formasi Montalat. Batuan tertua terdapat pada Formasi Tanjung yang pengendapannya dimulai sejak kala Eosen kemudian tertindih secara selaras oleh Formasi Berai yang berumur Oligosen - Miosen. Formasi Berai menjemari dengan Formasi Montalat. Formasi Tanjung dan Montalat mengandung lapisan-lapisan batubara yang cukup potensial. Struktur geologi adalah struktur lipatan baik sinklin atau antiklin dengan arah sumbu relatif Utara - Selatan. Batuan penyusun didominasi oleh batuan lempung berwarna abu-abu, plastis hingga semi plastis, lekat. Batu pasir berwarna putih hingga putih keabuan, terpilah sedang, halus dan kasar dengan butiran agak menyudut hingga menyudut serta batu lempung pasir berwarna putih keabuan, berbutir halus hingga sedang dengan kandungan mineral kwarsa. Tanah di areal kuasa

pertambangan PT MTU didominasi oleh jenis Podsolik Merah Kuning (PMK) - Ultisol dengan sisipan jenis Latosol dan Litosol. Tanah PMK merupakan tanah tua sangat masam yang dicirikan kandungan C organik sangat tinggi.

### C. Iklim

Jeluk hujan rata-rata tahunan dari bulan ke bulan relatif bervariasi kecil atau merata sepanjang tahun. Rataan jeluk hujan tahunan berkisar antara 1.245 mm hingga 2.548 mm. Rataan jeluk hujan bulanan tercatat sebesar 146 mm, tertinggi terjadi pada bulan Januari sebesar 296 mm dan terendah pada bulan Juli sebesar 70 mm. Suhu udara rata-rata bulanan adalah 27,7 °C. Suhu udara tertinggi umumnya terjadi pada bulan Maret-Mei-September dan minimum pada bulan Januari-Maret, Juni-Oktobre. Kelembaban udara rata-rata tahunan 85,9%, maksimum 87% dan minimum 83%. Menurut Sistem Klasifikasi Iklim Schmidt dan Fergusson (1951), kawasan tambang batubara PT MTU berada di bawah pengaruh iklim tipe A dengan indikator besaran Q (Quotient) 3,9%; yang berarti daerah basah dengan vegetasi hutan hujan tropis. Berdasarkan klasifikasi Koppen (1931), tipe iklim di lokasi observasi termasuk tipe tropika basah (Af). Arah angin pada bulan Januari sampai Juni pada umumnya bergerak ke arah Selatan dan Barat, sedangkan pada bulan Juli hingga Desember bertiup ke arah Baratdaya. Kecepatan angin rata-rata bulanan adalah sebesar 7,2 m/det, dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan Mei (12,88 m/det) dan terendah terjadi pada bulan Juli (3,61 m/det).

### D. Vegetasi

Berdasarkan pengamatan secara okuler di lapangan dan informasi yang diperoleh dari dokumen ANDAL PT MTU, diketahui bahwa vegetasi pohon yang tumbuh di lokasi penambangan batubara pada umumnya adalah *Dipterocarpus verrucosus*, *Koordersiodendron pinnatum*, *Shorea laevis*, *Shorea smithiana*, *Shorea pinanga*, *Palaquium rostratum*, *Shorea parvifolia*, *Ficus sp*, *Dipterocarpus gracilis*, *Cotylelobium burckii*, *Santiria griffithii*, *Eusideroxylon zwageri* T.et.B, *Koompassia exelsa*, *Anisoptera grosivenia*, *Parashorea malaanonan*, *Hopea dryobalanoides*, *Litsea angulata*, *Durio oxleyanus*, *Tristania whiteana*, *Scaphium macropodium*, *Canarium decumanum*, *Parkia speciosa*, *Dryobalanops lanceolata*, *Eugenia aromatica*, *Macaranga triloba*. Selain itu, terdapat pula jenis-jenis vegetasi bukan kayu seperti rotan, gaharu, getah, bau-buahan hutan dan tumbuhan obat-obatan tumbuhan bawah diantaranya adalah *Imperata cylindrica*, Paku-pakuan, Jambu-jambuan (*Eugenia sp*), Rumput ikat (*Scleria sp*), Kirinyu (*Eupatorium palesscens*), Kuray (*Trema orientalis*), Paku kawat (*Lycopodium circinatum*), Paku katupat (*Geichenia linearis*), Senduduk (*Acrosticum specolsum*), Hakang (*Cyperus rotundus*), *Paspalum conjugatum*, *Vitex pubescens*, *Melastoma malabathricum*, *Cyperus rotundus*, *Saccharum spontaneum*, Anggrung (*Trema orientalis*), Sembung (*Blumea balsamifera*), Pulai (*Alstonia scholaris*), Laban (*Vitex pubescens*), Terap (*Artocarpus elasticus*), Belayong (*Merremia peltata*, *Merremia umbelata*), Mahang (*Macaranga trilobalgigantea*) Kelampayan (*Anthocephalus chinensis*), Pandan (*Pandanus tectorius*), dan lainnya.

**Tabel-01.** Lokasi dan Kondisi Spesifik Plot Observasi di Areal Lahan Reklamasi-Revegetasi PT MTU

No.	Petak Observasi	Lokasi dan Kondisi Spesifik				
		Koordinat (UTM)		Kelerengan (%)	Vegetasi	Tumbuhan Bawah
(X)	(Y)					
01.	Terbuka	0300480	9818328	11	-	-
02.	2012	0301349	9817713	23	Sengon laut	Lcc mulai tumbuh
03.	2011	0299826	9819514	24	<i>Acacia mangium</i>	Lcc, Anggrung, Sacharum, Rumput robot, <i>Eupatorium sp.</i>
04.	2010	0300278	9817977	27	<i>Acacia mangium</i>	Anggrung, <i>Eupatorium sp.</i> , Lcc, Mikania, Rumput, <i>Curculio sp.</i> , <i>Macaranga sp.</i>
05.	Original	0301437	9817533	32	<i>Tristania sp.</i> , <i>Dryobalanops sp.</i> , <i>Shorea sp.</i> , Bangkirai, Durian hutan, Jambu-jambuan, Kelawit, Puspa, Mahang, Beringin, Manggis hutan, Mangga-mangga, Ulin, Cempedak, Rambutan hutan dll.	Pisang hutan, Kelompok <i>Zingiberaceae</i> , Kelompok Rotan, Kelawit, dll.



**Rona Petak Observasi Lahan Reklamasi Terbuka**



**Rona Petak Observasi Lahan Reklamasi Tahun 2012**



**Rona Petak Observasi Lahan Reklamasi Tahun 2011**



**Rona Petak Lahan Reklamasi Tahun 2010**



### Rona Petak Observasi Lahan Original



**Gambar-02.** Rona Plot Observasi Potensi Erosi di Konsesi Tambang Batubara di PT MMTU

Adapun lokasi dan kondisi spesifik Plot Observasi (PO) yang meliputi posisi geografis dan vegetasi untuk setiap plot dirinci pada **Tabel-01** yang secara visual terinci pada **Gambar-02** (PO-Terbuka, PO-2012, PO-2011, PO-2010, serta PO-Original/Hutan).

#### E. Erosivitas dan Erodibilitas Tanah

Berdasarkan hasil analisis terhadap data jeluk hujan diketahui bahwa rata-rata jeluk hujan bulanan berkisar 104 - 212 mm; rata-rata tahunan 1.245 - 2.548 mm dengan indeks erosivitas hujan tahunan terhitung sebesar 1.088 (**Tabel-02**).

**Tabel-02.** Indeks Erosivitas Hujan (R) di Lokasi Observasi Berdasarkan Pendekatan Lenvain (1989)

No.	Bulan	Jeluk Hujan (mm)				Indeks Erosivitas Hujan (R)
		Barito Selatan <sup>1)</sup>	Barito Utara <sup>2)</sup>	Barito Timur <sup>3)</sup>	Rataan	
01.	Januari	480	289	120	296	222
02.	Pebruari	107	128	91	109	57
03.	Maret	301	105	151	186	117
04.	April	268	35	90	131	73
05.	Mei	219	3	132	118	63
06.	Juni	152	57	42	84	40
07.	Juli	141	58	10	70	31
08.	Agustus	2	222	13	79	37
09.	September	127	104	40	90	44
10.	Oktober	61	134	30	75	34
11.	November	205	224	207	212	141
12.	Desember	485	105	319	303	229
Jumlah		2.548	1.464	1.245	1.752	1.088
Rataan		212	122	104	146	91

Catatan: <sup>1)</sup> Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Barito Selatan (2004)

<sup>2)</sup> Stasiun Meteorologi dan Geofisika Muara Teweh (2004)

<sup>3)</sup> Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Barito Timur (2004)

#### F. Indeks Kepekaan Tanah Terhadap Erosi (K)

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap kondisi lahan, penutupan tajuk pohon dan tumbuhan bawah serta kelerengan, prakiraan indeks kepekaan tanah terhadap erosi berkisar antara 0,11 - 0,64 (**Tabel-03**). Secara keseluruhan, karakter kepekaan terhadap erosi adalah ST pada PO-Terbuka dan PO-2012, yang menurun seiring dengan perkembangan penutupan vegetasi yaitu T pada PO-2011, AT pada PO-2010 serta SR pada PO-Original.

**Tabel-03.** Indeks Kepekaan/Erodibilitas Tanah Terhadap Erosi (K)

No.	Plot Observasi	Erodibilitas Tanah (K)	
		Indeks	Kelas
01.	Terbuka	0,56 - 0,64	Sangat Tinggi (ST)
02.	Tahun 2012	0,56 - 0,64	Sangat Tinggi (ST)
03.	Tahun 2011	0,44 - 0,55	Tinggi (T)
04.	Tahun 2010	0,33 - 0,43	Agak Tinggi (AT)
05.	Original/Hutan	0,11 - 0,20	Rendah (R)



## G. Indeks Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Bentuk wilayah sekitar di lokasi plot observasi pada umumnya datar hingga bergelombang dengan kelas kelerengan berkisar dari landai hingga curam, dengan indeks panjang dan kemiringan lereng antara 1,4 hingga 6,8 (**Tabel -04**).

**Tabel-04.** Indeks Panjang (50 m) dan Kemiringan Lereng (LS) - (Landai - Curam)

No.	Petak Observasi	Kelerengan (LS)		
		Lereng (%)	Kelas	Indeks
01.	Terbuka	11	Landai	1,4
02.	2012	23	Agak Curam	3,1
03.	2011	24	Agak Curam	3,1
04.	2010	27	Curam	6,8
05.	Original	32	Curam	6,8

## H. Indeks Pengelolaan Tanaman (C)

Indeks C dianalisis secara okuler berdasarkan tingkat penutupan vegetasi baik berupa pohon (dhi. tajuk pohon) maupun keberadaan dan sebaran tumbuhan bawah (**Tabel-05**), yang mengindikasikan bahwa semakin rapat penutupan vegetasi indeks C semakin menurun karena kemampuan menahan tumbukan hujan meningkat. Hal ini bermakna bahwa permukaan lahan semakin terlindungi oleh penutupan vegetasi dan berarti erosivitas hujan akan semakin menurun.

**Tabel-05.** Indeks Penutupan Lahan/Pengelolaan Tanaman (C)

No.	Plot Pengamatan	Penutupan Lahan (%)			Indeks (C)
		Tegakan	Tumbuhan Bawah	Tertimbang	
01.	Terbuka	(0)	(0)	0	1,000
02.	2012	(1)	(0)	1	0,400
03.	2011	0-20 (10)	10-80 (50)	60	0,320
04.	2010	0-20 (8)	10-70 (40)	48	0,200
05.	Original	(90)	(90)	90	0,001

## I. Indeks Konservasi Tanah (P)

Praktek tindakan konservasi tanah dan air adalah berupa pengaturan kelerengan, pembuatan saluran drainase, serta penanaman tumbuhan bawah maupun tanaman pohon - khususnya jenis-jenis cepat tumbuh (*fast growing species*). Rincian hasil penetapan Indeks P secara okuler pada berbagai tingkat kelerengan dan penutupan lahan tertera pada **Tabel-06**, yang dilakukan secara integratif vegetatif - fisik mekanik menjadi indeks tertimbang (*weighted index*).

**Tabel-06.** Pendugaan Besaran Indeks Tindakan Konservasi Tanah (P)

No.	Petak Observasi	Indeks Konservasi Tanah (P)		
		Vegetatif	Fisik-Mekanik	Tertimbang
01.	Terbuka	0,665	0,285	0,95
02.	2012	0,665	0,285	0,95
03.	2011	0,525	0,225	0,75
04.	2010	0,350	0,150	0,50
05.	Original	0,001	0,285	0,29

## Keterangan:

- P-Vegetatif meliputi: Penanaman *cover crops*, *fast growing species*, *annual plants*;
- P-Fisik Mekanik meliputi: *re-contouring*, *land smoothing*, *water drainage constructions*.

## J. Potensi Erosi

Berdasarkan besaran Indeks R, K, LS, C, P, maka pendugaan potensi erosi maksimum yang mungkin terjadi (**Tabel-07**) menunjukkan kecenderungan potensi erosi akan menurun seiring dengan meningkatnya tingkat penutupan vegetasi. Secara kualitatif, KBE yang merupakan indikasi potensi erosi berkisar dari SR hingga ST. KBE pada PO-Terbuka dan PO-2012 adalah ST, PO-2011 dan PO-2010 adalah T, serta PO-Original mempunyai harkat SR. Hal ini secara indikatif bermakna bahwa penurunan KBE pada lahan reklamasi pasca tambang dari harkat ST ke T setidaknya memerlukan waktu 4 tahun, dengan upaya KBE pada harkat S, R hingga SR sebagaimana lahan original. Karakter kepekaan tanah terhadap erosi adalah ST pada PO-Terbuka dan PO-2012, menurun seiring perkembangan penutupan vegetasi. Pencapaian harkat SR untuk potensi erosi tergantung faktor-faktor penentu keberhasilan reklamasi-revegetasi lahan, dan paling memungkinkan untuk dikelola adalah pengaturan kelerengan dan intensitas pengelolaan tanaman.

**Tabel-07.** Potensi Erosi (A) (Ton/Ha/Tahun) pada Plot Observasi Erosi di Lahan Reklamasi-Revegetasi PT MTU

No.	Plot Observasi	Besaran Indeks					Potensi Erosi (A)	Kelas Bahaya Erosi	Tingkat Bahaya Erosi
		(R)	(K)	(LS)	(C)	(P)			
01.	Terbuka	1.088	0,64	1,4	1,00	0,95	926	(ST)	(SB)
02.	2012	1.088	0,64	3,1	0,40	0,95	820	(ST)	(SB)
03.	2011	1.088	0,55	3,1	0,32	0,75	445	(T)	(B)
04.	2010	1.088	0,43	6,8	0,20	0,50	318	(T)	(B)
05.	Original	1.088	0,20	6,8	0,01	0,01	4	(SR)	(SR)
<b>Maksimum</b>							<b>929</b>	<b>(ST)</b>	<b>(SB)</b>
<b>Rataan</b>							<b>503</b>	<b>(ST)</b>	<b>(SB)</b>
<b>Minimum</b>							<b>4</b>	<b>(SR)</b>	<b>(SR)</b>

**Keterangan:** Kelas Bahaya Erosi (KBE) SR = *Sangat Rendah* <15 Ton/Ha/Tahun, R = *Rendah* (15-60 Ton/Ha/Tahun), S = *Sedang* (60-180 Ton/Ha/Tahun), T = *Tinggi* (180-480 Ton/Ha/Tahun), ST = *Sangat Tinggi* (>480 Ton/Ha/Tahun).

Tingkat Bahaya Erosi (TBE) SR = *Sangat Ringan*, R = *Ringan*, S = *Sedang*, B = *Berat*, SB = *Sangat Berat*.

Topografi - panjang dan kemiringan lereng sangat berperan menentukan kecepatan dan volume aliran permukaan. Dari kedua unsur topografi tersebut, kemiringan lereng dipertimbangkan lebih penting karena laju pergerakan air akan semakin meningkat dengan sudut lereng yang semakin besar. Volume kelebihan air menjadi lebih besar dan kemudian semuanya menuruni permukaan lahan dengan volume dan kecepatan yang meningkat. Selain memperbesar massa limpasan permukaan, semakin miring lereng juga berpeluang memperbesar kecepatan limpasan permukaan yang sangat potensial memperbesar energi angkut limpasan air tersebut.

#### K. Proses dan Mekanisme Erosi

Erosi dapat dimengerti sebagai suatu pengikisan atau pelongsoran yang merupakan proses penghanyutan tanah oleh desakan atau kekuatan air dan/atau angin, baik yang berlangsung secara alamiah maupun sebagai akibat perbuatan dan/atau tindakan manusia (*human activities*). Sehubungan dengan hal tersebut maka dikenal adanya pengertian erosi normal (*geological erosion*) dan erosi dipercepat (*accelerated erosion*). Erosi normal merupakan proses pengangkutan tanah yang terjadi pada suatu keadaan alami seperti pengikisan lereng dan tebing-tebing bukit. Curah hujan, angin, kelerengan dan luasan permukaan lahan yang tidak terganggu oleh aktivitas manusia, merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian erosi. Pada tahap ini erosi akan mampu membentuk keseimbangan dinamis, sehingga ketebalan tanah menjadi relatif stabil. Akan tetapi dengan adanya aktivitas manusia, keseimbangan ini terganggu yang cenderung mempercepat laju erosi. Erosi tanah yang disebabkan oleh agen penyebab utama berupa air akan meliputi proses-proses *soil detachment* - tumbukan butiran-butiran hujan, *soil disaggregation* - penghancuran agregat tanah, *soil dispersion* - pemisahan partikel tanah dari agregatnya, *particle soils transportation* - pengangkutan partikel-partikel tanah oleh media erosi, dalam hal ini adalah limpasan permukaan, serta *deposition* - pemindahan dan pengendapan partikel-partikel tanah terhanyutkan. Dalam hal terjadinya erosi, baik alamiah maupun dipercepat setidaknya terdapat 5 (lima) faktor yang menjadi penyebab utama besarnya laju erosi yaitu iklim, tanah, topografi, vegetasi, serta manusia.

Faktor iklim yang besar pengaruhnya terhadap erosi tanah adalah curah hujan, yang meliputi tiga karakteristik utama yaitu kecepatan jatuhnya butiran hujan, diameter butir-butir hujan, serta intensitas dan lama hujan. Energi hujan terdiri dari dua komponen yaitu energi potensial ( $E_p$ ) dan energi kinetik ( $E_k$ ). Energi potensial timbul karena adanya perbedaan tinggi antara benda dan titik tinjau. Energi kinetik berkaitan dengan massa dan kecepatan. Pada fenomena erosi tanah, energi potensial dikonversi menjadi energi kinetik sehingga kekuatan erosi hanya dinyatakan dalam energi kinetik. Oleh karena  $E_k$  berkaitan dengan intensitas hujan maka dimungkinkan untuk menurunkan tenaga erosi hujan. Beberapa korelasi antara energi kinetik dan intensitas hujan telah banyak diperkenalkan oleh para peneliti yang pada akhirnya menjurus ke suatu pendekatan yang dikenal sebagai indeks erosivitas hujan (*soil erosivity*).

Sifat-sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap erosi meliputi: tekstur, struktur, infiltrasi (laju dan kapasitas) serta kandungan bahan organik. Tekstur tanah turut menentukan tata air dalam tanah, yaitu berupa kecepatan atau laju infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikatan air. Terjadinya limpasan permukaan sangat tergantung pada kapasitas infiltrasi dan permeabilitas tanah. Bila kapasitas infiltrasi dan permeabilitas besar seperti pada tanah berpasir yang mempunyai kedalaman lapisan kedap air yang dalam, walaupun intensitas hujan tinggi kemungkinan terjadi limpasan permukaan adalah kecil. Tanah bertekstur halus menyerap air sangat lambat sehingga intensitas hujan rendah pun berpeluang menimbulkan limpasan permukaan. Tanah berstruktur mantap memiliki permeabilitas dan drainase baik serta tidak mudah terdispersi oleh air hujan. Struktur tanah tidak mantap sangat mudah hancur oleh tumbukan langsung butiran hujan, sehingga butir-butir halus menutupi pori-pori tanah. Akibatnya laju infiltrasi terhambat dan limpasan permukaan meningkat. Dalam kaitan dengan erosi tanah, peran bahan organik terhadap sifat tanah adalah menaikkan kemantapan agregat dan memperbaiki struktur serta menaikkan kemampuan tanah untuk mengikat air tanah.

Topografi berperan dalam menentukan kecepatan dan volume limpasan permukaan. Unsur topografi yang berpengaruh terhadap erosi tanah adalah panjang dan kemiringan lereng. Kemiringan lereng lebih penting dibanding panjang lereng karena pergerakan air serta kemampuannya memecahkan dan membawa partikel tanah akan meningkat dengan sudut ketajaman lereng yang semakin besar. Dengan makin curam dan makin panjangnya lereng maka makin besar pula kecepatan dan limpasan permukaan serta bahaya erosi. Semakin panjang lereng, kelebihan air yang berakumulasi di atasnya menjadi lebih besar dan kemudian akan turun dengan volume dan kecepatan yang semakin meningkat. Selain memperbesar massa limpasan permukaan, makin miringnya lereng juga berpeluang untuk memperbesar kecepatan limpasan permukaan yang sangat potensial untuk meningkatkan besaran energi atau daya angkutnya (*transportability*).

Vegetasi bersifat melawan pengaruh faktor-faktor lain yang bersifat erosif, diantaranya adalah mampu menangkap (*interception*) butir-butir air hujan, sebab energi kinetiknya terserap oleh tanaman dan tidak menghantam langsung pada tanah; mengurangi energi limpasan sehingga mengurangi kecepatan limpasan permukaan dan kemudian memotong kemampuannya melepas dan mengangkut partikel sedimen; perakaran tanah meningkatkan stabilitas tanah dengan meningkatkan kekuatan granularitas dan porositas tanah; aktivitas biologis yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman akan berdampak positif pada porositas tanah; serta mendorong transpirasi air sehingga lapisan tanah atas menjadi kering dan memadatkan lapisan bawahnya. Namun, efektivitas tanaman penutup dalam mengurangi erosi juga tergantung pada ketinggian dan kontinuitas serta kerapatan penutupan tanah dan kerapatan-kedalaman perakaran.

Sangat disepakati bahwa tindakan manusia adalah satu diantara faktor penting penyebab terjadinya erosi tanah yang cepat dan intensif. Kegiatan-kegiatan tersebut umumnya berkaitan dengan perubahan faktor-faktor yang berpengaruh, misalnya perubahan tanah akibat pembukaan wilayah untuk pemukiman, lahan pertanian, ladang, areal penggembalaan dan lainnya. Demikian juga halnya perubahan topografi secara mikro akibat penerapan terasering, penggemburan lahan dengan pengelolaan serta pemakaian stabilizer dan pupuk yang berpengaruh pada struktur tanah. Pembukaan tutupan vegetasi oleh manusia yang tidak terkendali akan menciptakan kondisi awal terjadinya erosi tanah dalam skala besar. Hal tersebut sering mengganggu keseimbangan antara regenerasi (pembentukan) tanah dan laju erosi tanah. Namun demikian, manusia juga mampu melindungi tanah dari bahaya erosi melalui kegiatan konservasi, seperti reboisasi dan penghijauan, termasuk reklamasi dan revegetasi lahan pasca tambang batubara.

Berdasarkan bentuknya di lapangan, kejadian erosi secara umum sering dibedakan menjadi erosi percikan (*splash erosion*), erosi limpasan permukaan (*overland flow erosion*), erosi alur (*riil erosion*), erosi parit/selokan (*channel erosion*), parit besar (*gully erosion*), erosi tebing sungai (*streambank erosion*), erosi internal (*internal or sub-surface erosion*). Erosi percikan adalah terlepas dan terlemparnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat tumbukan air hujan secara langsung. Erosi percikan maksimum akan terjadi segera setelah tanah menjadi basah dan kemudian akan menurun terhadap waktu sejalan dengan makin meningkatnya ketebalan air di atas permukaan tanah. Erosi limpasan permukaan akan terjadi hanya dan jika intensitas atau lamanya hujan melebihi kapasitas infiltrasi atau kapasitas simpan air. Mengingat bahwa aliran permukaan terjadi tidak merata dan arah limpasannya tidak beraturan, maka kemampuan mengikis tanah juga tidak sama atau tidak merata dalam suatu luasan tertentu dari bentang atau hamparan lahan.

Erosi alur terbentuk pada jarak tertentu ke arah bawah lereng akibat dari terkonsentrasinya limpasan permukaan sehingga membentuk alur-alur kecil. Jika alur-alur yang terbentuk merupakan alur baru, maka alur-alur tersebut tidak selalu saling berkaitan dengan alur-alur sebelumnya. Kebanyakan sistem alur tidak permanen dan tidak mempunyai hubungan dengan induk alur. Hanya kadang induk alur berkembang menjadi saluran permanen dan menyambung ke sungai. Proses terjadinya erosi parit sama dengan erosi alur, sehingga pada mulanya erosi parit ini dianggap sebagai perkembangan lanjut dari erosi alur. Proses pembentukan parit dimulai dari pembentukan cekungan (*depression*) pada lereng akibat lahan yang gundul atau tanaman penutupnya jarang akibat pembakaran atau perumputan. Air permukaan terkonsentrasi pada bagian ini sehingga cekungan makin besar dan beberapa cekungan menyatu membentuk parit.

Erosi tebing sungai adalah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus air sungai yang kuat terutama pada tikungan-tikungan. Erosi tebing akan lebih hebat jika vegetasi penutup tebing telah rusak atau pengolahan lahan terlalu dekat tebing. Erosi internal adalah proses terangkutnya partikel-partikel tanah ke bawah, masuk ke pori-pori akibat limpasan bawah permukaan. Tanah menjadi kedap air dan udara sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan atau erosi alur.

Tanah longsor merupakan bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan massa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar. Berbeda dengan jenis erosi yang lain, pada tanah longsor pengangkutan tanah terjadi sekaligus dalam jumlah yang besar dan dalam waktu yang sangat singkat. Secara okuler, bentuk-bentuk erosi yang terjadi di lahan reklamasi-revegetasi pasca tambang adalah erosi percikan, erosi limpasan permukaan, erosi alur, erosi parit dan erosi internal. Jenis yang mudah dideteksi di lapangan adalah erosi alur (**Gambar-03, 04, 05, dan 06**).



*Erosi Alur (Rill Erosion) di PO-Terbuka*



■ Tutupan Vegetasi	:	-
■ Tutupan Tumbuhan Bawah	:	-
■ Limpasan Permukaan	:	Sedang - Sangat Besar
■ Estimasi Potensi Erosi	:	Sedang - Sangat Tinggi
■ Bentuk dan Sebaran Erosi	:	Sedang - Sangat Banyak

**Gambar-03.** Bentuk dan Sebaran Erosi di PO-Terbuka PT MTU, Barito Selatan, Kalimantan Tengah

*Erosi Alur (Rill Erosion) di PO-2012*



■ Tutupan Vegetasi	:	1%
■ Tutupan Tumbuhan Bawah	:	-
■ Limpasan Permukaan	:	Sedang - Besar
■ Estimasi Potensi Erosi	:	Sedang - Tinggi
■ Sebaran Erosi	:	Sedang - Banyak

**Gambar -04.** Bentuk dan Sebaran Erosi di PO-2012 Pasca Tambang Batubara PT MTU

*Erosi Alur (Rill Erosion) di PO-2011*

■ Tutupan Vegetasi	:	5 - 20%
■ Tutupan Tumbuhan Bawah	:	10 - 80%
■ Limpasan Permukaan	:	Kecil - Besar
■ Estimasi Potensi Erosi	:	Rendah - Tinggi
■ Sebaran Erosi	:	Sedikit - Banyak

**Gambar-05.** Bentuk dan Sebaran Erosi di PO-2011 PT MTU, Barito Selatan, Kalimantan Tengah*Erosi Alur (Rill Erosion) di PO-2010*

■ Tutupan Vegetasi	:	5 - 20%
■ Tutupan Tumbuhan Bawah	:	10 - 80%
■ Limpasan Permukaan	:	Sedang - Besar
■ Estimasi Potensi Erosi	:	Rendah - Tinggi
■ Bentuk dan Sebaran Erosi	:	Sedikit - Banyak

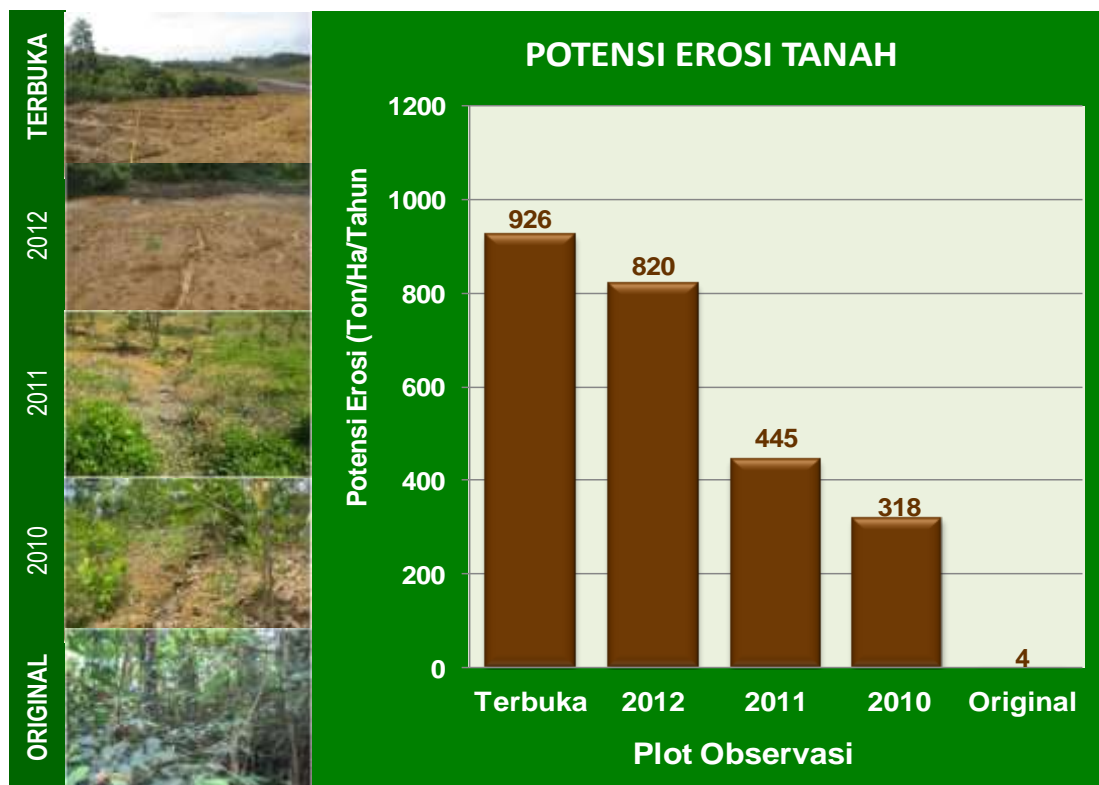
**Gambar-06.** Bentuk dan Sebaran Erosi di PO-2010 PT MTU, Barito Selatan, Kalimantan Tengah



## L. Potensi dan Kelas Bahaya Erosi (KBE)

Berdasarkan penetapan besaran indeks R, K, LS, C, serta indeks P, maka pendugaan besaran potensi erosi yang mungkin terjadi pada setiap plot observasi dapat dilakukan. Secara umum terdapat kecenderungan bahwa potensi erosi lahan reklamasi pasca tambang yang terbuka cenderung menurun dengan meningkatnya penutupan vegetasi. Potensi erosi pada PO-Terbuka dan PO-2012 adalah 926 dan 820 ton/ha/tahun dengan harkat KBE adalah ST (**Gambar-07**). Tingginya potensi erosi tersebut adalah akibat tiadanya penutupan vegetasi dan rendahnya kapasitas infiltrasi sehingga sebahagian besar curah hujan menjadi limpasan permukaan. Permukaan lahan yang tertumbuk butiran-butiran hujan secara langsung dan mengalami pemecahan agregat serta dispersi menjadi partikel tanah kemudian terangkut oleh limpasan permukaan mengikuti lereng ke arah yang lebih rendah. Pada dasarnya, upaya untuk menekan laju erosi yang mungkin terjadi adalah dengan menahan tumbukan langsung curah hujan dan mengendalikan limpasan permukaan. Hal tersebut sangat mungkin dilakukan secara vegetatif seperti penanaman tanaman penutup tanah, sedangkan secara fisik mekanik adalah penyiapan jaringan drainase yang mencukupi baik secara sebaran maupun kapasitasnya. Potensi erosi pada PO-2011 dan PO-2010 adalah 445 dan 318 ton/ha/tahun dengan harkat KBE adalah T. Secara suseptibilitas, harkat KBE mengindikasikan bahwa telah adanya penahanan tumbukan langsung curah hujan terhadap lahan oleh penutupan vegetasi. Hal tersebut berarti bahwa setidaknya terjadi peningkatan kemampuan lahan untuk meresapkan sebahagian curah hujan melalui proses perembesan/infiltrasi (*infiltration*) ke dalam tanah.

Upaya untuk mempertahankan dan meningkatkan intensitas penutupan lahan yang secara signifikan dapat mereduksi erodibilitas tanah akibat tumbukan curah hujan dan transportabilitas partikel-partikel tanah yang ter-disagregasi dan ter-dispersi adalah pengelolaan lahan-lahan revegetasi pasca tambang secara intensif. Secara praktis hal tersebut berarti adanya kegiatan pemeliharaan tanaman (penyulaman, pemupukan, pengendalian gulma - hama penyakit, penanaman pengayaan), guna mengawal sepenuhnya pertumbuhan tanaman revegetasi. Fenomena indikatif tersebut juga dapat dimaknai bahwa kegiatan upaya pemeliharaan yang meliputi penyulaman, pemupukan, pengendalian gulma dan hama penyakit, serta pengayaan tanaman guna mengawal pertumbuhan tanaman revegetasi agar dapat bertahan - tumbuh - berkembang dan pada akhirnya mampu berfungsi sebagaimana diharapkan. Potensi erosi PO-Original adalah 1,4 ton/ha/tahun dengan harkat KBE SR, yang mengindikasikan bahwa di lahan original proses penahanan tumbukan langsung curah hujan dan pengendalian limpasan permukaan berlangsung dengan baik. Secara keseluruhan, kelima petak observasi erosi tersebut mengindikasikan adanya kecenderungan perkembangan KBE berupa penurunan potensi erosi tanah sejalan dengan tingkat penutupan vegetasi. Pada lahan revegetasi pasca tambang yang masih terbuka dan 2012 KBE ST, 2011 dan 2010 T, serta untuk lahan original adalah SR. Secara indikatif pencapaian harkat dengan status kisaran SR - T pada lahan reklamasi-revegetasi setidaknya memerlukan waktu 5 tahun efektif.



**Gambar-07.** Potensi Erosi di Lahan Reklamasi-Revegetasi Pasca Tambang Batubara dan Original PT MTU

## M. Dinamika Potensi Erosi Tanah

Fenomena dinamika erosi tanah dapat dianalisis dari prinsip filosofis dan hubungan fungsional antara potensi besaran erosi dengan faktor-faktor utama penentunya yaitu erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, penutupan vegetasi, serta tindakan konservasi tanah dan air. Perkembangan vegetasi adalah faktor sangat signifikan terkait dengan dinamika erosi tanah di lahan reklamasi-revegetasi pasca tambang. Berangkat dari pemikiran tersebut, pendugaan potensi erosi tanah pada rentang waktu 2 (dua) tahun untuk setiap plot observasi disajikan di **Gambar-08**.

Petak Observasi		Soil Depth	Kelas Bahaya Erosi - KBE (Ton/Ha/Tahun)				
			(<15)	(15-60)	(60-180)	(180-480)	(>480)
ORIGINAL	2012	(30-40 cm)					(ST)
	2011	(30-40 cm)				(T)	
	2010	(30-40 cm)			(S)		
	2010	(30-40 cm)		(R)			
	2010	(>100 cm)	(SR)				

**Keterangan:** Kelas Bahaya Erosi (KBE) SR = Sangat Rendah <15 Ton/Ha/Tahun, R = Rendah (15-60 Ton/Ha/Tahun), S = Sedang (60-180 Ton/Ha/Tahun), T = Tinggi (180-480 Ton/Ha/Tahun), ST = Sangat Tinggi (>480 Ton/Ha/Tahun)

**Gambar-08.** Indikasi Dinamika Potensi Erosi Tanah - Kelas Bahaya Erosi Berdasarkan Perkembangan Kelas Penutupan Vegetasi

Pada gambar skematik tersebut dapat ditunjukkan bahwa pada lahan terbuka maupun 2012 harkat KBE adalah ST dan T. Seiring pertumbuhan dan perkembangan vegetasi, diharapkan harkatnya menurun menjadi SR - R - S. Sudah barang tentu prakiraan waktu tersebut bersifat indikatif dan akan bervariasi tergantung kondisi lapangan - curah hujan, kelerengan, perkembangan penutupan lahan, intensitas pengelolaan tanaman, serta tindakan konservasi tanah dan air. Diantara faktor-faktor penentu tersebut, yang paling memungkinkan untuk dikelola dengan baik dan konsisten adalah pengaturan kelerengan dan penyiapan lahan pada tahap reklamasi lahan, serta intensitas pengelolaan tanaman.

## M. Keterpulihan Lahan Pasca Tambang

## a) Reklamasi Lahan

Lahan pasca tambang harus direklamasi agar pulih sebagai kawasan yang produktif, dan untuk itu sangat diperlukan pengetahuan dan pengalaman spesifik tentang perkembangan tanah, teknik reklamasi yang tepat guna, pemilihan jenis tanaman yang sesuai tapak serta teknik penanaman dan pemeliharaan. Penambangan batubara sistem terbuka menyebabkan perubahan bentang alam, terjadinya timbunan-timbunan akibat perpindahan lapisan penutup (*overburden* dan *interburden*). Untuk menekan perubahan yang besar ditempuh cara mengembalikan lapisan penutup ke tempat asalnya, yaitu ke daerah bekas tambang. Setelah selesai penimbunan lapisan penutup pada blok bekas tambang, segera dilanjutkan dengan penyebaran tanah pucuk, diikuti pembuatan jenjang mengikuti garis kontur untuk menekan laju erosi dan pembuatan drainase guna menghindari genangan air pada musim hujan. Apabila tahapan ini dapat dilakukan dengan baik dan benar, kondisi lahan tersebut siap untuk ditanami.

Pada kegiatan reklamasi, material yang ditimbunkan pada proses pengisian kembali (*backfilling*) umumnya dalam kondisi agregat hancur sehingga struktur dan pori dari tanah asalnya dalam kondisi rusak, tercipta rongga-rongga antar bongkahan tanah, terdapat fragmen-fragmen batuan dan kadang tercampur batubara pada tanahnya dan tanpa lapisan bahan organik. Dalam kaitan tanah sebagai media tumbuh tanaman, kondisi seperti ini berakibat pada terbentuknya sistem drainase buruk, kemampuan memegang air rendah, tanah menjadi padat dan sulit ditembus akar, tanah terbuka sehingga temperatur relatif tinggi serta kesuburan tanah cenderung menurun karena peningkatan kehilangan hara akibat penguapan dan limpasan permukaan.

Satu diantara tujuan dari reklamasi lahan pasca tambang batu bara di PT MTU adalah memperbaiki kondisi tanah untuk mempercepat proses suksesi. Setelah dilakukannya upaya reklamasi biologi dengan penanaman vegetasi, introduksi mikroorganisme tanah yang berpotensi memperbaiki kesuburan tanah dan peningkatan unsur hara tanah oleh proses dekomposisi serasah diharapkan dampak buruk akibat terbukanya lahan - satu diantaranya adalah erosi dapat segera teratasi. Melalui parameter-parameter yang diamati diharapkan dapat diketahui apakah revegetasi yang telah, sedang dan akan terus dilakukan dapat memperbaiki peningkatan kesuburan tanah setempat terutama dalam peningkatan unsur hara tanah secara cepat, efektif dan efisien yang pada gilirannya juga akan mengurangi potensi erosi.

#### b) Keterpulihan Lahan

Lahan adalah suatu perpaduan antara unsur bentuk/bentang lahan, geologi, tanah, hidrologi, iklim, flora dan fauna, serta alokasi penggunaannya. Oleh karenanya, keterpulihan lahan tidak hanya menyangkut keterpulihan tanah semata namun juga menyangkut keterpulihan komponen lahan lainnya (iklim, hidrologi, flora, fauna dll). Kerusakan lahan pasca tambang diawali dengan kerusakan tanah, yaitu rusaknya struktur dan pori tanah asal diikuti kerusakan sifat-sifat tanah lainnya bahkan kerusakan komponen-komponen lahannya. Untuk menilai keterpulihan lahan juga harus diawali dengan keterpulihan tanah secara *pedogenesis* namun *edafologis*. Hal ini bermakna bahwa keterpulihan tanah tidak hanya dipandang dari proses pembentukan suatu benda alam - namun lebih jauh dari itu, tanah harus pulih fungsinya sebagai media tumbuh tanaman atau tanah harus pulih fungsi produksinya.

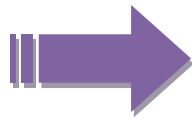
Tindakan reklamasi di lahan pasca tambang adalah suatu upaya mempercepat keterpulihan lahan. Syarat agar tanah berfungsi sebagai media tumbuh tanaman adalah berjangkarnya akar, aerasi dan drainase baik agar perakaran dapat berkembang dan menjalankan fungsinya serta dapat menyediakan unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Hal tersebut dilakukan dengan mengatur ketebalan materi tanah, kontur untuk menjamin drainase, serta aerasi dan jaminan kecukupan hara bagi tanaman dilakukan seiring dengan pelaksanaan revegetasi. Perbaikan aerasi tanah dilakukan dengan pemberian pupuk organik atau pembenah tanah lainnya, serta dapat juga dengan penanaman tumbuhan bawah. Adapun kecukupan hara bagi tanaman dipasok dengan pemberian pupuk anorganik. Seiring dengan pulihnya kondisi tanah diharapkan keterpulihan komponen lahan lainnya juga akan terikut dengan sendirinya.

Percepatan pemulihan lahan dapat terwujud apabila materi berwujud tanah cukup menjamin perkembangan perakaran tanaman. Ketebalan materi berwujud tanah minimal 50 cm bahkan disarankan minimal 100 cm untuk tanah pasca tambang, disamping materi tanah sebaiknya bebas dari campuran materi lainnya (batu, materi OB atau batubara). Observasi lahan reklamasi di PT MTU menunjukkan bahwa seluruh PO mempunyai ketebalan materi berwujud tanah <60 cm, berarti persyaratan minimal sebagai media tumbuh tanaman tahunan belum terpenuhi. Selain itu, sebagian besar materi tanah tersebut tidak bebas dari campuran bahan lain seperti batu kerikil, materi OB bahkan serpihan batubara. Kondisi drainase di setiap PO buruk yang terindikasi banyak genangan di permukaan saat hujan turun. Keterpulihan tanah dapat ditinjau dari sifat-sifat kimia, fisik maupun morfologi. Secara kimia dapat dipantau dari dinamika sifat-sifat kimia tanah. Pada tahap awal, kesuburan tanah secara kimiawi ditinjau dari pH. Reaksi tanah (pH) merupakan sifat kimia tanah penting yang berpengaruh terhadap sebagian besar sifat-sifat tanah (fisik, kimia dan biologi) lainnya.

Analisis korelasi sederhana dilakukan terhadap pasangan data pH dengan sifat tanah lainnya di Lahan Pasca Tambang PT Berau Coal pada berbagai umur tutupan lahan hasilnya menunjukkan adanya korelasi lebih kuat dibanding korelasi antar parameter lainnya (Hartati dkk., 2011). Berdasarkan hal tersebut maka pengukuran pH di lapangan atau di laboratorium dapat dipertimbangkan sebagai indikator penentuan tingkat kesuburan tanah lahan pasca tambang. Dalam hal ini penentuan kriteria tingkat kesuburan tanah secara kimiawi beberapa referensi tentang pengaruh pH terhadap kelarutan hara makro dan mikro serta perkembangan optimal mikro organisme tanah menjadi acuan. Dalam menentukan tingkat kesuburan tanah di LPT dengan berpegang pada pH tanahnya ditetapkan kisaran pH sebagai berikut: Sangat Rendah (pH<4), Rendah (4<pH<4,5), Sedang (4,6<pH<5,5), Tinggi (5,6<pH<6,5) dan Sangat Tinggi (6,6<pH<7,5) (Hartati dkk., 2011). Namun diakui bahwa penetapan nilai serta rentang nilai masih harus diuji lebih lanjut untuk mendapatkan nilai yang tepat sehingga kriteria yang ditetapkan akurat.

Selain berdasarkan sifat kimia tanah, keterpulihan lahan dapat dievaluasi berdasarkan sifat fisik tanah, diantaranya adalah pada pengurangan tingkat kepadatan tanah. Keberadaan vegetasi menyumbangkan bahan organik yang berfungsi mengurangi kepadatan tanah. Kepadatan tanah mineral berkisar 0,8 - 1,6 g/cc, namun yang umum dijumpai adalah 1,0 - 1,2 g/cc (Arsyad, 2006). Dalam menentukan tingkat kesuburan tanah pasca tambang, ditetapkan kisaran pH: SR (pH<4), R (4<pH<4,5), S (4,6<pH<5,5), T (5,6<pH<6,5) dan ST (6,6<pH<7,5) (Hartati dkk., 2011). Untuk kesuburan tanah secara fisik, kepadatan tanah digunakan dengan kriteria: T (BD 1,00-1,45g/cc), S (BD 1,46-1,55 g/cc), R (BD>1,56 g/cc). Evaluasi keterpulihan lahan berdasarkan penggabungan harkat kesuburan tanah secara kimia dan fisik. Tingkat kesuburan tanah bernilai + jika salah satu dari dua parameter yang diamati mempunyai harkat minimal S dan ++ jika kedua parameter mempunyai harkat minimal S. Namun jika kedua parameter yang diamati mempunyai harkat R atau SR maka harkat kesuburan tanahnya. Hasil evaluasi keterpulihan lahan dikombinasikan untuk menentukan keterpulihan lahan reklamasi di PT MTU (**Gambar-08**).





### Arah Harapan Perkembangan

Parameter Kesuburan Tanah	Terbuka	Tahun 2012	Tahun 2011	Tahun 2010	Original
<b>Kemasaman</b>	(R)	(R)	(S)	(R)	(R)
<b>Kepadatan</b>	(T)	(S)	(T)	(T)	(T)
<b>Harkat</b>	+	+	++	+	+

Keterangan:

SR = Sangat Rendah ( $pH < 4$ ), R = Rendah ( $4 \leq pH < 4,5$  atau  $BD > 1,56$  g/cc), S = Sedang ( $4,6 \leq pH \leq 5,5$  atau  $BD 1,46-1,55$  g/cc), T = Tinggi ( $5,6 \leq pH \leq 6,5$  atau  $BD 1,00-1,45$  g/cc), ST = Tinggi ( $6,6 \leq pH \leq 7,5$ )

**Gambar-09.** Skema Dinamika Tingkat Kesuburan Tanah Berdasarkan Perkembangan Umur Penutupan Vegetasi

Kondisi keterpulihan lahan yang dikehendaki/optimum jika keduanya berharkat S hingga ST. Kondisi awal kesuburan tanah, baik fisik maupun kimia sangat berpengaruh dalam kecepatan keterpulihan lahannya. Kondisi kesuburan tanah hasil observasi pada PO di PT MTU saat ini belum dapat digunakan untuk menilai pengaruh vegetasi hasil kegiatan reklamasi mengingat umur vegetasinya yang masih sangat muda ( $\pm 2$  tahun). Namun evaluasi ini diperlukan sebagai informasi awal untuk mengetahui apakah kondisi tanah yang ada saat ini mempunyai harapan untuk pulih. Selain itu, informasi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengambil langkah ke depan agar keterpulihan tanah dapat dicapai lebih cepat.

Berbeda dengan kondisi tanah di hutan alam meskipun dalam hal ini tingkat kesuburannya berada pada peringkat sama dengan tanah di lahan reklamasi-revegetasi namun kondisi tersebut tetap dapat mendukung pertumbuhan vegetasinya. Vegetasi hutan alam yang ada saat ini telah mengalami seleksi alam dan membutuhkan waktu sangat lama untuk sampai pada kondisi tersebut sehingga tanaman yang ada saat ini merupakan pemenang dalam seleksi tersebut. Berbeda dengan jenis-jenis tanaman yang dibudidayakan di lahan pasca tambang, sebagian besar adalah tanaman rakus hara untuk itu perlu dukungan media tanam dengan tingkat kesuburan tinggi. Dalam hal ini disarankan untuk melakukan pengapuran atau menanam jenis-jenis yang adaptif terhadap kondisi lahan pasca tambang.

Dipandang dari sisi kejadian erosi tanah, penambangan batubara dengan sistem terbuka mengakibatkan turunnya permukaan lahan, disamping terjadinya timbunan-timbunan baru akibat *overburden* dan *interburden*. Untuk mengurangi hal ini ditempuh cara dengan mengembalikan lapisan penutup ke tempat asalnya yaitu daerah bekas tambang. Setelah selesai penimbunan lapisan penutup pada suatu blok harus segera dilanjutkan dengan penyebaran tanah subur, diikuti pembuatan jenjang mengikuti garis kontur untuk menekan laju erosi dan pembuatan drainase untuk menghindari genangan air pada musim hujan, sehingga kondisi lahan tersebut siap direvegetasi. Keberadaan lahan terdegradasi (*degraded lands*) di lapangan dapat dikenali dari karakteristik fisiknya, diantaranya adalah tiadanya penutupan vegetasi dan telah terkikisnya sebagian besar lapisan tanah pucuk (*top soils*) yang kemudian hilang akibat erosi. Berhadapan dengan kondisi lahan tersebut, prinsip rehabilitasi lahan digunakan sebagai panduan perencanaan dan pelaksanaan rehabilitasi lahan dengan menggunakan cara fisik-mekanik dan vegetatif maupun kombinasi keduanya.



### Arah Harapan Perkembangan

Indikator	Perkembangan Vegetasi				
	Terbuka	2012	2011	2010	Original
Kelas Bahaya Erosi (KBE)	(ST) Sangat Tinggi	(ST) Sangat Tinggi	(T) Sangat Tinggi	(T) Sangat Tinggi	(SR) Sangat Rendah
Tingkat Bahaya Erosi (TBE)	(SB) Sangat Berat	(SB) Sangat Berat	(B) Berat	(B) Berat	(SR) Sangat Ringan

**Gambar-10.** Dinamika Potensi Erosi Berdasarkan Perkembangan Kelas Penutupan Vegetasi

Hasil-hasil pengamatan dan analisis terhadap dinamika potensi erosi sebagai pertimbangan upaya revegetasi lahan pasca tambang guna mencapai keterpulihan lahan disajikan pada **Gambar-10**. Perkembangan vegetasi adalah faktor yang sangat signifikan terkait dengan dinamika erosi tanah di lahan revegetasi pasca tambang. Hingga umur 2 tahun, harkat KBE menurun dari ST menjadi T. Ketika vegetasi mencapai umur >2 tahun, harkat KBE diharapkan menuju harkat SR. Hal ini bermakna bahwa pengelolaan lahan pasca tambang dalam rangka upaya pemulihannya harus dilakukan secara intensif setidaknya pada 5 (lima) tahun pertama sejak direklamasi lahan. Upaya pemulihan lahan ini harus sangat memperhatikan pengaturan kelerengan dan penyiapan lahan pada tahap reklamasi lahan, serta intensitas pengelolaan tanaman yang mencakup seleksi jenis, teknik penanaman dan pemeliharaan.

Upaya rehabilitasi lahan secara fisik-mekanik yang dikombinasikan dengan cara vegetatif adalah upaya mengendalikan limpasan permukaan, sehingga daya angkut terhadap partikel-partikel tanah menurun. Hal ini dapat dilakukan dengan memotong panjang lereng untuk meredusir kecepatan limpasan kemudian mengarahkan serta mengumpulkannya ke arah yang tidak merusak. Pengendalian limpasan permukaan tersebut semata-mata tergantung kepada fungsi-fungsi fisik-mekaniknya. Apabila limpasan dapat dikendalikan dengan baik, maka dimungkinkan untuk melakukan penyiapan lahan dan melakukan penanaman pada bidang-bidang tanam yang ada. Tanaman diharapkan tumbuh dan berkembang, sehingga penutupan tajuknya diharapkan mampu berfungsi menahan tumbukan langsung curah hujan. Apabila tahapan ini bisa dilalui, maka pemecahan agregat tanah akibat tumbukan langsung curah hujan dan dispersinya menjadi partikel-partikel tanah tersebut bisa direduksi atau dikurangi. Dampak langsung kondisi tersebut adalah tereduksinya tenaga atau energi tumbukan (energi kinetik) curah hujan, terlindunginya permukaan tanah dari tumbukan langsung hujan, menurunnya limpasan permukaan karena meningkatnya kesempatan untuk berinfiltrasi; sehingga kecepatan limpasan permukaan tidak bersifat merusak. Dengan demikian, proses pemiskinan unsur-unsur hara tanah yang sangat diperlukan oleh tanaman dapat ditahan dan unsur-unsur hara tetap tertahan di tempatnya.

Apabila tanaman dapat tumbuh dan berkembang, maka pada tempat tersebut akan terjadi daur atau siklus hara yang berawal dari pasokan bahan organik. Daur unsur hara akan memulihkan kondisi lahan kritis dengan terbentuknya lapisan tanah pucuk. Bila hingga tahap ini bisa dicapai maka tanaman-tanaman tersebut dipertahankan. Sebaliknya bila tanaman yang dikembangkan belum sesuai dengan fungsi dan manfaat yang diharapkan, karena biasanya pada tahap awal diperlukan tanaman-tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*) dan resisten dengan lingkungan pertumbuhan yang kurang menguntungkan (miskin), maka tanaman-tanaman tersebut dapat diganti yang baru sesuai dengan fungsi dan/atau manfaat yang diinginkan. Penggantian ini sangat mungkin dilakukan, karena pada waktu itu kondisi lahan sudah pulih sehingga mampu berfungsi sebagai media tumbuh tanaman dengan pilihan jenis yang lebih banyak serta sebagai media pengatur tata air. Prinsip-prinsip rehabilitasi lahan tersebut adalah tahapan-tahapan yang harus dilalui oleh setiap upaya rehabilitasi lahan terdegradasi, terutama untuk kategori keadaan fisik lahan yang tanpa penutupan vegetasi sama-sekali dan/atau apabila tanah atas sudah hilang atau bahkan lapisan tanah C (sangat miskin hara) telah tersingkap dan muncul ke permukaan. Tahapan-tahapan tersebut sangat membutuhkan waktu dan setiap tahap akan menjadi tumpuan tahap berikutnya.

#### IV. Kesimpulan dan Saran

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil observasi, analisis dan pembahasan yang dipaparkan, beberapa kesimpulan terpenting dirinci sebagai berikut:

01. Kepekaan tanah terhadap erosi adalah (ST) pada PO-Terbuka dan PO-2012, yang menurun seiring perkembangan penutupan vegetasi yaitu (T) pada PO-2011 dan PO-2010, serta (SR) pada PO-Original;
02. Potensi erosi di PO-Terbuka dan PO-2012 adalah ST akibat tiadanya penutupan vegetasi dan rendahnya kapasitas infiltrasi serta besarnya limpasan permukaan. Pada PO-2011 dan PO-2010 menurun walau berharkat T namun mengindikasikan telah adanya penahanan terhadap tumbukan hujan dan peningkatan kapasitas infiltrasi tanah;
03. Pencapaian harkat potensi erosi (SR) lahan reklamasi diduga setidaknya memerlukan waktu 5 - 6 tahun, dan diantara faktor yang menentukan keberhasilan reklamasi lahan pasca tambang yang paling memungkinkan untuk dikelola adalah pengaturan kelerengan dan penyiapan lahan serta penanaman dan intensitas pengelolaan tanaman.
04. Harkat KBE dan TBE mengindikasikan penurunan potensi erosi tanah sejalan dengan perkembangan penutupan vegetasi;
05. Dinamika erosi tanah sangat tergantung kepada faktor-faktor penentunya yaitu erosivitas, erodibilitas, panjang-kemiringan lereng, penutupan vegetasi, serta tindakan konservasi tanah dan air; dan perkembangan vegetasi adalah faktor penentu dinamika erosi tanah yang sangat signifikan di lahan reklamasi pasca tambang batubara.

**B. Saran**

Merujuk kepada kesimpulan-kesimpulan tersebut, beberapa rekomendasi terpenting dengan harapan bermanfaat disampaikan sebagai berikut:

01. Mengingat bahwa upaya untuk menekan laju erosi yang mungkin terjadi adalah dengan menahan tumbukan curah hujan dan mengendalikan limpasan permukaan, alternatif tindakan praktis secara vegetatif adalah penanaman tanaman penutup lahan (*land cover crops*) - tanaman cepat tumbuh - tanaman tahunan; sedangkan secara fisik-mekanik adalah jaringan drainase yang memadai baik sebaran maupun kapasitasnya;
02. Upaya untuk meningkatkan intensitas penutupan lahan guna mereduksi erodibilitas tanah adalah pengelolaan lahan reklamasi secara intensif dengan kegiatan pemeliharaan tanaman guna mengawal pertumbuhannya. Hal tersebut akan semakin efektif apabila seiring dengan pengaturan kelerengan dan panjang lereng, penyiapan lahan serta intensitas pengelolaan tanaman.

Seiring perjalanan waktu dan semakin meningkatnya kapasitas produksi batubara PT MTU, jumlah - sebaran dan luasan lahan pasca tambang akan terus meningkat. Sehingga, kegiatan pemantauan dan pengelolaan lahan pasca tambang batubara terkait dengan potensi erosi tanah akan ikut membantu penilaian keberhasilan reklamasi-revegetasi lahan pasca tambang batubara di areal kerja PT Multi Tambangjaya Utama di Barito Selatan, Kalimantan Tengah.

**Daftar Pustaka**

- Agasssi, M., 1996. Soil Erosion: Conservation and Rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Anonim. 2006. Rehabilitasi Tambang. Praktek Unggulan Program Pembangunan Berkelanjutan Untuk Industri Pertambangan. Commonwealth of Australia.
- Arsyad, S., 2006. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor
- Bradshaw, A.D. 2002. Introduction and Philosophy. Perrow and A.J. Davy (eds). Handbook of Ecological Restoration. Vol 1: Principles of Restoration. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK.
- Ghems Enviro. 2007. Final Report of Hydroseeding Operations Proj-Stage VIII (100 Ha). Banjarbaru.
- Hartati, W., Sudarmadji, T., Syafrudin, M., 2010. Pemantauan Dinamika Mikroklimat dan Tingkat Kesuburan Tanah serta Potensi Erosi pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang PT Berau Coal.
- Hartati, W., Sudarmadji, T., Syafrudin, M., 2011. Pemantauan Dinamika Mikroklimat dan Tingkat Kesuburan Tanah serta Potensi Erosi pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang PT Berau Coal.
- Hartati, W., Sudarmadji, T., Syafrudin, M., 2012. Pemantauan Dinamika Mikroklimat dan Tingkat Kesuburan Tanah serta Potensi Erosi pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang PT Berau Coal.
- Hidayat, Y., 2003. Model Penduga Erosi. Falsafah Sains (PPs 702). Program Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hobbs, R.J dan Norton, D. A. 1996. A Conceptual Framework for Restoration Ecology. Restoration Ecology, 4: 93-110.
- Morgan, R. P. C., 1996. Soil Erosion and Conservation, 2nd Edition. Longman Group Limited. London.
- PT Berau Coal, 2009. Rencana Penutupan Tambang tahun 2025 PT Berau Coal.
- PT Berau Coal, Rencana Penutupan Tambang tahun 2025 PT Berau Coal, 2009.
- Rahmawaty, 2002. Restorasi Lahan Bekas Tambang Berdasarkan Kaidah Ekologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Udiansyah. 2007. Revegetation Stand Valuation On The Ex Coal Mining Area of PT Adaro Indonesia. MoU PT Adaro Indonesia - Universitas Lambung Mangkurat - Hokkaido University. Banjarbaru.