

@2004 Debby. V. Pattimahu
Makalah Falsafah Sains (PPS 702)
Program Pascasarjana / S3
Institut Pertanian Bogor
Desember 2004

Posted 30 December 2004

Dosen :
Prof. Dr. Rudy C. Tarumingkeng (Penanggung jawab)
Prof. Dr. Ir. Zahrial Coto
Dr. Ir. Hardjanto, MS

RESTORASI LAHAN KRITIS PASCA TAMBANG SESUAI KAIDAH EKOLOGI

Oleh : **Debby. V. Pattimahu**
NRP. P062040061
e-mail : debbyvp291@yahoo.com

PENDAHULUAN

Tanah merupakan sumberdaya alam yang bersama-sama dengan hutan dan air membentuk suatu ekosistem yang sangat mempengaruhi aktivitas manusia. Pendayagunaan sumberdaya alam melalui eksploitasi, pemanfaatan pada suatu komponen dalam suatu ekosistem khususnya lahan, pada hakekatnya akan menimbulkan perubahan dalam ekosistem tersebut yang akan berimplikasi pada seluruh jaringan sistem kehidupan.

Setiap pembangunan ekonomi selalu menuntut alokasi sumberdaya, terutama sumberdaya alam. Pertumbuhan penduduk yang sangat pesat mengakibatkan tindakan pemanfaatan sumberdaya alam untuk mencukupi kebutuhan pangan, sandang, papan meningkat dengan pesat pula. Dalam prakteknya upaya untuk mencapai target tersebut seringkali menimbulkan masalah-masalah lingkungan yang kompleks, salah satunya sebagai akibat dari penggunaan lahan untuk kegiatan pertambangan. Hal ini merupakan pemicu timbulnya permasalahan degradasi ekosistem yang berawal dari terdegradasinya lahan yang ditunjukkan dengan tingginya tingkat erosi dan menurunnya kemampuan peresapan air yang lebih lanjut mengakibatkan penurunan kesuburan tanah.

Degradasi lahan didefinisikan sebagai kehilangan atau penurunan kegunaan atau perubahan kemampuan lahan yang tidak tergantikan. Degradasi lahan berimplikasi pada menurunnya status sumberdaya alam yang berakibat dari berubahnya kondisi tanah, rusaknya sistem tata air dan berkurangnya keanekaragaman flora dan fauna atau pergantian suatu bentuk organisma oleh bentuk lain. Dengan demikian terdegradasinya lahan dalam suatu ekosistem pada akhirnya akan membuat terdegradasinya ekosistem secara keseluruhan.

Degradasi ekosistem disebabkan oleh faktor-faktor alamiah seperti adanya bencana alam dan faktor-faktor antropogenik seperti penambahan penduduk yang kemudian meningkatkan interaksi manusia dengan lingkungannya. Revegetasi merupakan salah satu teknik vegetatif yang dapat diaplikasikan dalam upaya merestorasi lahan-lahan yang mengalami kerusakan kritis. Kegiatan ini bertujuan untuk memperbaiki kondisi iklim mikro, memulihkan biodiversitas dan memulihkan kondisi lahan. Pada areal bekas pertambangan, revegetasi diperlukan untuk menstabilisasi tanah, mencegah peningkatan asam baru dari pengeksposan.

Disamping itu untuk menunjang keberhasilan dalam merehabilitasi lahan rusak akibat pertambangan, maka dapat dilakukan berbagai upaya seperti perbaikan lahan pra tanam dengan memperbaiki aplikasi prinsip ekologi yang tepat dengan kondisi lingkungan.

T U J U A N

Makalah ini bertujuan untuk membedah fenomena dampak yang terjadi akibat terdegradasinya suatu ekosistem akibat kegiatan pertambangan yang menimbulkan munculnya lahan-lahan kritis. Fenomena ini diharapkan dapat menjadi informasi yang berguna dalam penerapan kaidah ekologi dalam upaya pemulihan ekosistem yang bersangkutan.

EKOLOGI RESTORASI

Ekologi restorasi adalah salah satu ilmu terapan yang mempelajari perbaikan atau pemulihan suatu sistem ekologi yang sudah mengalami gangguan. Berbagai

aktivitas manusia seperti pembukaan hutan, penambangan, pembukaan lahan pertanian dan permukiman bertanggung jawab terhadap kerusakan ekosistem yang terjadi. Lahan-lahan rusak yang sudah kritis biasanya memiliki fondasi fisik, kimia dan biologi tanah yang buruk. Pada lahan-lahan ini kegiatan rehabilitasi lahan harus dilakukan supaya degradasi yang terjadi tidak bertambah parah.

Kaidah-kaidah ekologi merupakan dasar yang harus dipakai dalam merestorasi suatu ekosistem rusak. Untuk menunjang keberhasilan dalam merehabilitasi lahan kritis menurut Setiadi (1996), usaha-usaha seperti perbaikan lahan pra tanam, seleksi species, aplikasi teknik silvikultur yang tepat, penggunaan pupuk serta pemberian Mikoriza arbuskula perlu dilakukan.

Restorasi lahan kritis bekas tambang bertujuan untuk :

1. Protektif

Memperbaiki stabilitas lahan sehingga dapat memaksimalkan fungsi lahan sesuai dengan tujuan peruntukannya, mempercepat penutupan lahan dan mengurangi surface run off dan erosi tanah.

2. Produktif

Mengarah pada peningkatan kesuburan tanah (soil fertility) yang lebih produktif, sehingga bisa saja diusahakan tanaman yang tidak saja menghasilkan kayu, tetapi juga menghasilkan produk non kayu yang dapat bermanfaat untuk masyarakat di sekitarnya.

3. Konservatif

Kegiatan untuk membantu mempercepat terjadinya suksesi secara alami ke arah peningkatan keanekaragaman hayati species lokal, serta penyelamatan pemanfaatan jenis-jenis tumbuhan potensial lokal yang langka. Meningkatkan biodiversitas flora dan fauna species setempat, sehingga dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

KONDISI KERUSAKAN LAHAN KRITIS BEKAS TAMBANG

Dalam berbagai upaya yang dilakukan untuk merestorasi lahan kritis bekas tambang, maka perlu diketahui berbagai kondisi sifat fisik, kimia dan biologi lahan yang mengalami kerusakan, sehingga usaha rehabilitasi yang dilakukan dapat berhasil sesuai dengan tujuannya.

Kondisi Fisik Lahan

Profil tanah normal terganggu akibat pengerukan, penimbunan dan pemadatan alat-alat berat. Hal ini mengakibatkan buruknya sistem tata air dan aerasi yang secara langsung mempengaruhi fase dan perkembangan akar. Tekstur dan struktur tanah menjadi rusak sehingga mempengaruhi kapasitas tanah untuk menampung air dan nutrisi. Lapisan tanah tidak berprofil sempurna, sehingga akan berpengaruh dalam membangun pertumbuhan tanaman yang kondusif. Pengaruh angin cukup serius pada permukaan tanah yang tidak stabil, dimana tanah dapat diterbangkan, tertutup oleh tanah, biji-bijian terbang dan dipindahkan ke areal tumbuh yang tidak diinginkan (Jordan, 1985). Bahan material yang digunakan selama pertambangan akan membatasi infiltrasi air sehingga akan mengurangi produksi asam dan erosi. Lugo (1997) menyatakan bahwa tanah yang ada pada permukaan tanah yang tidak sempurna sangat tidak stabil.

Akibat pemadatan tanah menyebabkan pada musim kering tanah menjadi padat dan keras. Pada tanah yang bertekstur padat ini, penyerapan air ke dalam tanah berlangsung lambat karena pori-pori tanah sangat kecil, sehingga akan dapat meningkatkan laju aliran air permukaan yang berdampak pada peningkatan laju erosi. Kondisi tanah yang keras dan padat sangat berat untuk diolah yang secara tidak langsung berdampak pada peningkatan kebutuhan tenaga kerja.

Kondisi Kimia Lahan

Kondisi kimia lahan bekas pertambangan menunjukkan bahwa kesuburan tanah, pH dan keberadaan nutrisi dalam tanah rendah, sedangkan keberadaan metal logam berat tinggi, karena larutan dari metal sulfida. Keadaan unsur hara seperti

unsur N dan P yang rendah, reaksi tanah asam atau alkali merupakan masalah utama. pH tanah yang rendah mengakibatkan menurunnya persediaan zat makanan seperti : P, K, Mg dan Ca yang berakibat cukup berbahaya pada tingginya suhu tanah. Akibat keasaman tanah yang tinggi dapat menyebabkan :

1. Rusaknya sistem penyerapan unsur P, Ca, Mg dan K oleh tanaman. Kekurangan unsur P menjadi masalah, karena rendahnya unsur P dalam sisa-sisa penambangan.
2. Meningkat tersedianya Al, Mn dan Fe, Cu, Zn dan Ni.
3. Terciptanya kondisi biotik yang tidak menguntungkan, seperti rusaknya fiksasi atau penyerapan unsur N, khususnya pH dibawah 6, memperkuat aktifitas Mycorrhiza, mengakibatkan kurangnya penyerapan unsur P dan K serta meningkatkan toksisitas tanah (Jordan, 1985).

Sedangkan akibat kebebasan tanah yang tinggi adalah :

1. Merusak pelepasan unsur Fe, Mn, Bo, P, Cu dan Zn dari tanah
2. Meningkat tersedianya unsur Mg, Ca, S dan K
3. Meningkatkan toksisitas tanah.

Akibat keasaman sisa penambangan selalu menyebabkan bertambahnya unsur Fe atau senyawa sejenis Fe, senyawa yang berasal dari rusaknya tanah akibat hujan yang menghasilkan asam sulfur. Di beberapa lahan pasca tambang emas dan tembaga kandungan logam berat seperti: Cu, Al, Zn dan Fe dapat juga menjadi toksik dan membahayakan pertumbuhan tanaman.

Kondisi Biologi Lahan

Terkikisnya lapisan topsoil dan serasah sebagai sumber karbon untuk menyokong kelangsungan hidup mikroba tanah potensial, merupakan salah satu penyebab utama menurunnya populasi dan aktifitas mikroba tanah yang berfungsi penting dalam penyediaan unsur-unsur hara dan secara tidak langsung mempengaruhi kehidupan tanaman. Rendahnya aktifitas mikroba tanah karena pengaruh berbagai faktor lingkungan mikroba tersebut, seperti penurunan pH tanah, kelembaban tanah, kandungan bahan organik, daya pegang tanah terhadap air dan struktur tanah

(Kartasapoetra, 1988). Adanya mikroba tanah sangat potensial dalam perkembangan dan kelangsungan hidup tanaman.

Aktifitas mikroba tidak hanya terbatas pada penyediaan unsur hara, tetapi juga berperan dalam mendekomposisi serasah dan secara bertahap dapat memperbaiki sifat struktur tanah.

ALTERNATIF RESTORASI LAHAN KRITIS PASCA TAMBANG

Upaya yang dapat dilakukan untuk merestorasi suatu ekosistem yang telah rusak akibat kegiatan pertambangan tergantung pada tingkat kerusakan yang terjadi pada lahan dan ketersediaan sumberdaya untuk memperbaiki kerusakan tersebut. Pada lahan bekas tambang diperkirakan sangat sedikit mengandung bahan-bahan organik dan aktifitas mikroba tanah. Lahan tersebut dalam kondisi terbuka dan tidak ada vegetasi yang tumbuh di atasnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa intensitas gangguan yang terjadi tergolong berat dengan ukuran besar dan gangguan berjangka panjang.

Disinilah peran kaidah ekologi dalam rangka merestorasi ekosistem rusak pasca tambang. Dalam makalah ini dibahas upaya-upaya dalam rangka pemulihan secara fisik, kimia dan biologi lahan-lahan kritis pasca tambang.

REVEGETASI LAHAN KRITIS

Dengan memperhatikan berbagai kendala yang ada pada lahan-lahan kritis pasca tambang, maka perlu dirancang berbagai kegiatan sebagai berikut :

Seleksi Species

Seleksi species pohon yang tepat merupakan kunci utama dalam keberhasilan revegetasi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam seleksi species adalah sebagai berikut :

- **Mempunyai kemampuan adaptasi yang tinggi**

Pada tahap awal, jenis-jenis pohon yang akan ditanam perlu dipilih jenis yang dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat baik suhu, curah hujan, ketinggian, jenis dan kondisi setempat. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut : mengidentifikasi dan memilih jenis-jenis lokal yang potensial; mengevaluasi karakteristik silvika jenis dengan kondisi lingkungan setempat; mengevaluasi jenis-jenis lokal yang telah tumbuh di lokasi setempat serta melakukan species trial dan uji provenance.

Tanaman individu merespons tidak hanya pada temperatur udara tahunan atau pada presipitasi rata-rata, namun lebih cenderung pada kondisi lingkungan sekitarnya. Diantara areal bekas tambang terdapat defiasi luas dan mikroklimaks serta drainase pada berbagai lokasi. Dengan memilih species yang dapat beradaptasi pada iklim general dapat mengakibatkan keberhasilan tanaman jika kondisi mikroklimatik.

- **Species yang cepat tumbuh**

Hal ini dimaksudkan agar species yang cepat tumbuh menutupi tanah-tanah yang terbuka sehingga laju kontribusi zat-zat organik akan menarik organisme tanah serta dapat memperkecil aliran run off dan erosi air limpasan. Oleh karena itu diperlukan jenis-jenis pioner yang pertumbuhannya cepat, sistem tajuk yang melebar dan berlapis serta memiliki sistem perakaran yang intensif.

- **Ketersediaan bahan tanaman**

Dalam hal ini dimaksudkan agar bahan-bahan tanaman seperti bibit yang tersedia dapat dijangkau dengan mudah, tersedia dalam kuantitas yang cukup dan kualitas yang baik. Disamping itu kultivasi dan teknik pembibitan serta kebutuhan nutrisi perlu diketahui.

Pemilihan species membutuhkan input yang berkelanjutan seperti pupuk, kultivasi dan teknik agrikultur, sehingga diperlukan cara tertentu guna menambah bahan organik dalam persiapan untuk vegetasi yang lebih permanen. Pemilihan jenis species dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pembibitan langsung dan penanaman bibit. Pilihannya ditentukan oleh species yang digunakan dan kondisi lingkungan setempat. Jika kedua cara ini dilakukan bersamaan, maka harus dapat

mengurangi kompetisi, pembibitan secara umum membutuhkan penanaman dengan tangan khususnya pada kondisi tanah yang lapangannya kasar (Bradshaw, 1983).

- **Teknik silvikultur diketahui**

Untuk memudahkan dalam pelaksanaan penanaman dan pemeliharaan lanjutan, maka jenis-jenis yang terpilih perlu diketahui teknik silvikulturnya terutama yang berhubungan dengan perlakuan biji, teknik persemaian, waktu pemindahan ke lapangan, sensitifitas terhadap toksisitas logam berat dan pH rendah, jenis dan dosis pupuk yang diperlukan serta toleransi terhadap cahaya, air dan hama penyakit.

- **Mempunyai hubungan antara penggunaan tanah dengan sifat khas lingkungan**

Harus memperhatikan jarak rerumputan, tumbuhan legum dan pohon-pohon, semak tersedia secara komersial dan ada kemungkinan species yang lebih bertahan pada kondisi permukaan yang miskin (Ripley, E A, Redmann R E dan Crowder, A A, 1996). Species ini mungkin menjadi species yang toleran di masa kekeringan dan kekurangan nutrisi seperti : *Testica rubra*, *Pon parastensis*, *Pinus syvestris* dan *Betola renduk* diantara rerumputan dan pepohonan. Jenis species seperti : *Trifolium refens* dan *Lotus corniculatus* juga dibutuhkan karena layak dari segi kesuburan (Bradshaw, 1983).

- **Bersimbiose dengan mikroba**

Mengingat lahan-lahan kritis kondisinya marginal, maka jenis-jenis pohon yang ditanam agar pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya tidak selalu bergantung pada pemberian pupuk, maka perlu dipilih jenis yang dapat berasosiasi dengan bakteri penambat nitrogen atau bersimbiose dengan cendawan mikoriza, sehingga dapat mencukupi kebutuhan nitrogen. Kelompok pohon yang merupakan species tanaman tingkat tinggi dapat bersimbiose dengan akar. Inokulasi pada species penerima dengan fungsi yang tepat dapat meningkatkan pertumbuhan dan daya hidup tanaman (Jordan, 1985).

REKONSTRUKSI LAHAN

Pada tahap ini dilakukan perbaikan kondisi tanah dengan operasi mekanis. Permukaan tanah dikupas oleh kotak pengikis, kemudian lapisan berikutnya oleh kotak pengikis lainnya atau oleh ember ekskavator dan pengantar lain dengan conveyor belt (Bradshaw, 1983), kemudian memperbaiki alur-alur tanah yang rusak dengan cara menimbunnya dan menumbuhkan rumput-rumputan di atasnya. Selanjutnya dibuat lubang tanam sesuai dengan ukuran yang tepat tergantung kondisi tanah. Pada lubang tanam tersebut dilakukan pemberian bahan organik, pemberian pupuk dan pengapuran. Dilakukan pula pengaturan drainase untuk memperbaiki kondisi air tanah, sehingga dapat meningkatkan kelembaban tanah, menurunkan penguapan dan akan memperbaiki keadaan pertumbuhan tanaman. Bagi tanah-tanah yang kemiringannya agak besar pengolahan tanah harus pula mencakup pembuatan terrasering.

Dalam tahapan pengolahan tanah ada beberapa kegiatan yang perlu dilakukan dalam upaya memulihkan kembali kondisi lahan. Kegiatan-kegiatan tersebut adalah sebagai berikut :

Pembuatan Terrasering

Pada lahan-lahan kritis pasca tambang yang terdapat pada kelerengan tertentu, perlu dibuat terrasering dalam upaya pengelolaannya untuk revegetasi. Teras lapangan pada tanah-tanah berlereng adalah merupakan tanggul tanah yang dibuat sesuai dengan keadaan tanah dan kemiringannya untuk mengendalikan aliran air permukaan. Terutama sekali dirancang untuk pengendalian run off di daerah yang curah hujannya tinggi dan bagi pengawetan di daerah yang curah hujannya rendah, mengingat kondisi fisik lahan pasca tambang yang rusak.

Beberapa macam terrasering yang dibuat disesuaikan dengan kemiringan dan panjang lereng tanah, adalah sebagai berikut :

- a. Bench terrace (teras bangku) untuk mengendalikan pengikisan tanah khususnya pada lapisan tanah topsoil.

- b. Graded terrace (teras berlereng) untuk menahan run off agar tidak erosi
- c. Level terrace (teras datar) untuk menahan dan mengawetkan air hujan pada daerah-daerah dengan curah hujan rendah.

Pembuatan Drainase

Saluran drainase yang alami seperti galur-galur, parit dan selokan juga berperan dalam pembuangan tanah-tanah yang diteras. Disamping itu berperan dalam mempertahankan kondisi tanah yang telah diperbaiki pada lahan-lahan pasca tambang.

Apabila tidak terdapat saluran air alami pada lokasi pasca tambang ini, maka perlu dibuat rorak (silt pit) yang berfungsi untuk menampung aliran air permukaan, sehingga menghambat laju aliran air. Infiltrasi air memungkinkan pula tersedianya air dalam tanah bagi kepentingan vegetasi, selain itu dapat pula memperbaiki tata udara tanah. Ukuran rorak yang baik yaitu panjang 3-5 m, lebar 20-50 cm dan ukuran dalamnya 50 cm. Rorak tersebut sebaiknya diisi dengan serasah tanaman agar serasah dapat berubah menjadi humus dan dapat mempertahankan kelembaban tanah (Kartasapoetra, 1988).

PEMUPUKAN, PENGAPURAN DAN PEMAKAIAN MULSA

Pemupukan

Pemupukan dengan bahan organik maupun bahan anorganik dapat meningkatkan usaha penanaman kembali pada rehabilitasi lahan-lahan kritis pasca tambang. Hal ini disebabkan karena kebanyakan sisa penambangan mengandung unsur nitrogen dan fosfor yang rendah dan proses penanaman kembali umumnya membutuhkan tambahan zat makanan sesering mungkin sampai terkumpulnya bahan organik yang cukup.

Pemupukan biasanya dilakukan pada awal penanaman bersamaan dengan pembuatan lubang tanam sebagai pemupukan dasar, maupun pada tahap pemeliharaan sebagai pupuk susulan. Pemberian pupuk dasar pada lahan-lahan kritis pasca

tambang mutlak diperlukan. Pemupukan dasar umumnya terdiri dari pupuk anorganik yang dikombinasi dengan pupuk organik dengan dosis yang tepat dan diberikan pada setiap lubang tanam. Guna mendapat hasil yang baik, maka pupuk perlu dicampur secara merata pada semua isi lubang tanam 1-2 minggu sebelum penanaman dilakukan.

Pengapuran

Jika tanah di sekitar lubang tanam masam ($\text{pH} < 5$) maka diperlukan pengapuran. Dengan dilakukan pengapuran senyawa-senyawa kalsium, maka kompleks adsorpsi tanah akan terisi dengan kation-kation Ca^{2+} sehingga pH tanah yang semula asam akan berubah menjadi lebih tinggi sampai akhirnya mendekati netral, karena kelebihan ion H^+ dalam larutan tanah dinetralkan dengan ion-ion OH^- menjadi air (H_2O).

Dosis bahan pengapur untuk menaikkan pH tanah tentunya bervariasi sesuai dengan sifat dan jenis tanah yang diberi pengapuran.

Tabel 1. Jumlah Bahan Pengapur Yang Diperlukan Untuk Menaikkan pH Tanah (Martin et al, 1976)

Tipe Tanah	Kebutuhan bahan pengapur (ton/acre) ¹			
	Daerah dingin dan sedang ²		Daerah panas dan tropis ³	
	pH 4,5 – 5,5	pH 5,5 – 6,5	pH 4,5 – 5,5	pH 5,5 – 6,5
Pasir, pasir berlempung	0,5	0,6	0,3	0,4
Lempung berpasir	0,8	1,3	0,5	0,7
Lempung	1,2	1,7	0,8	1,0
Lempung berdebu	1,5	2,0	1,2	1,4
Liat Berlempung	1,9	2,3	1,5	2,0

Keterangan : 1). 1 acre = 0,4046 ha

2). Jenis tanah podsol kelabu atau coklat

3). Laterit merah atau kuning

Berdasarkan tabel di atas, tiap-tiap tipe tanah memerlukan jumlah bahan pengapur yang berbeda untuk menaikkan nilai pH. Ketahanan bahan pengapur dalam memperbaiki pH tanah tergantung pada intensif tidaknya proses pencucian yang terjadi.

Pemakaian Mulsa

Pemakaian mulsa dianjurkan untuk menjaga stabilitas tanah sementara pada saat sebelum penanaman vegetasi. Hal ini disebabkan karena kandungan bahan organik tanah pada lahan pasca tambang yang sangat kurang akan mempengaruhi produktivitas lahan tersebut, khususnya pada lahan-lahan yang miring. Oleh karena itu pemakaian mulsa sangat dianjurkan selain pemakaian pupuk dan pengapuran, karena memberikan beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. Melindungi agregat tanah
2. Mengurangi kecepatan dan volume aliran permukaan
3. Meningkatkan agregasi dan porositas tanah
4. Meningkatkan kandungan bahan organik tanah
5. Memelihara temperatur dan kelembaban tanah.

Dalam pemilihan pemakaian mulsa disesuaikan dengan kondisi tanah yang ada. Suwardjo dan Arsjad (1981) telah berhasil membuktikan bahwa pemakaian mulsa yang agak sukar lapuk (C/N ratio $>$) seperti jerami padi dan batang jagung akan memberikan perlindungan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pemakaian mulsa yang mudah lapuk (C/N ratio $<$).

Cara penempatan bahan mulsa dengan disebar merata dimaksudkan untuk memperoleh efektivitas penutupan paling tinggi, sehingga dapat melindungi permukaan tanah dan mengurangi aliran permukaan. Penempatan mulsa dapat dilakukan pula dalam jalur untuk mengendalikan kelembaban tanah. Cara ini dimaksud untuk mensuplai air dalam tanah.

INOKULASI DENGAN CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULA (CMA)

Salah satu cendawan pembentuk mikoriza yang sekarang sangat populer adalah cendawan Mikoriza arbuskula yang dapat digunakan sebagai pupuk biologis. Arbuskula merupakan struktur yang menyerupai houstaria yang membentuk percabangan dalam sel tanaman inang.

Cendawan Mikoriza arbuskula memiliki struktur khusus yang disebut arbuskula dan vesikula. Arbuskula merupakan hifa bercabang halus yang dibentuk oleh percabangan dikotomi yang berulang-ulang sehingga menyerupai pohon di dalam sel inang. Vesikula merupakan struktur cendawan yang berasal dari pembengkakan hifa internal secara terminal dan interkalar, kebanyakan berbentuk bulat telur, berisi banyak seyawa lemak sehingga merupakan organ penyimpan cadangan makanan dan pada kondisi tertentu dapat berperan sebagai spora atau alat untuk mempertahankan kehidupan cendawan. Simbiosis mikoriza arbuskula dicirikan oleh lebih pendeknya umur arbuskula dibandingkan dengan vesikulanya, kolonisasi cepat pada akar-akar yang baru tumbuh berkembang dan munculnya vesikula hanya pada unit-unit kolonisasi yang sudah tua (Smith dan Read, 1997). Karena vesikula tidak selalu ditemukan sehingga asosiasi cendawan ditaksirkan hanya berdasarkan keberadaan arbuskulanya (Brundrett, 1996).

Cendawan Mikoriza arbuskula (CMA) adalah salah satu alternatif teknologi untuk membantu pertumbuhan, meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman terutama yang ditanam pada lahan-lahan yang kurang subur. Kolonisasi sistem perakaran oleh CMA menghasilkan manfaat langsung bagi tanaman inang yaitu meningkatkan serapan hara khususnya fosfat (Smith et al., 1997), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik misalnya cekaman lengas (Stahl et al., 1998), cekaman logam berat (Ricken dan Hofner, 1996) dan cekaman biotik misalnya serangan patogen akar (Newsham et al., 1995; Sylvia dan Chellemi, 2001). Disamping itu CMA dapat memperbaiki struktur tanah (Bearden dan Peterson, 2000) dan mampu menghasilkan zat pengatur tumbuh misalnya auksin, sitokinin, dan giberelin. Zat pengatur tumbuh ini sangat diperlukan dalam proses pembelahan sel,

memacu pertumbuhan serta mencegah atau memperlambat proses penuaan sehingga menambah fungsi akar sebagai penyerap unsur hara dan air (Auge, 2001).

Beberapa penelitian telah banyak membuktikan bahwa CMA memiliki kemampuan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara makro terutama fosfat dan beberapa unsur mikro seperti : Cu, Zn dan Bo. Oleh karena itu dalam penggunaannya dapat dijadikan sebagai alat biologis untuk mengefisiensikan penggunaan pupuk buatan terutama fosfat. Untuk membantu pertumbuhan tanaman vegetasi pada lahan-lahan kritis, penggunaan tipe cendawan ini merupakan suatu cara yang paling efisien karena kemampuannya meningkatkan resistensi tanaman terhadap kekeringan. Beberapa penelitian lainnya juga membuktikan bahwa cendawan ini mampu membantu pertumbuhan tanaman pada tanah-tanah yang tercemar logam berat, sehingga penggunaannya dapat berfungsi sebagai bioproteksi.

Keberadaan CMA mutlak diperlukan karena berperan penting dalam mengefektifkan daur ulang unsur hara sehingga dianggap sebagai alat yang paling efektif untuk mempertahankan stabilitas ekosistem dan mempertahankan keanekaragaman hayati. Tipe cendawan ini memiliki fungsi yang paling menonjol dari tipe cendawan mikoriza lainnya. Hal ini dimungkinkan karena kemampuannya dalam berasosiasi dengan hampir 90 % jenis tanaman, sehingga dapat digunakan secara luas untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Meningkatnya serapan hara akibat kolonisasi CMA disebabkan oleh tiga hal, yaitu i) CMA mampu mengurangi jarak yang harus ditempuh unsur hara untuk mencapai permukaan akar tanaman, ii) Meningkatkan rerata serapan unsur hara dan konsentrasi pada permukaan penyerapan, iii) Mengubah secara kimia sifat-sifat unsur hara kimia sehingga memudahkan penyerapan unsur hara tersebut ke dalam akar tanaman (Suhardi dan Sumardi, 1999). Akar tanaman yang bermikoriza akan terlindung dari serangan patogen akar karena secara fisik dilindungi oleh hifa dan secara kimiawi akar tanaman yang bermikoriza akan menghasilkan senyawa yang bersifat anti patogen dan dapat memproduksi hormon dan zat pengatur tumbuh bagi tanaman (Hahn, et al., 1999).

CMA merupakan sumberdaya alam hayati potensial yang terdapat di alam dan dapat diisolasi, dimurnikan dan dikembangkan dalam biakan monosenic. Melalui serangkaian penelitian di laboratorium dan pengujian di lapangan efektivitas isolat-isolat CMA untuk memacu pertumbuhan dan meningkatkan kualitas tanaman dapat dimanipulasi dan ditingkatkan. Dengan cara tersebut, maka dapat dihasilkan dan diseleksi isolat-isolat CMA unggul yang teruji efektif. Isolat-isolat unggul tersebut dapat diproduksi dan dikemas dalam berbagai bentuk inokulan dan berfungsi sebagai pupuk biologis.

Pemakaian CMA pada lahan-lahan kritis pasca tambang sangat bermanfaat, karena dapat mempercepat laju pertumbuhan dan menjaga kesehatan tanaman baik di persemaian maupun di lapangan. Inokulasi mikoriza dilakukan pada saat bibit masih di persemaian sebelum dipindahkan ke lapangan.

Produk ini digunakan untuk membantu reklamasi lahan bekas tambang dalam hal ini meningkatkan pertumbuhan dan lahan-lahan pasca tambang. Aplikasi CMA ini sebenarnya merupakan keutuhan ekologi karena pada prinsipnya pemanfaatan sumberdaya alam hayati potensial untuk meningkatkan produktivitas tanaman dengan teknologi yang sederhana, murah dan ramah lingkungan. Untuk aplikasi skala luas, diharapkan tidak saja dapat membantu produktivitas lahan-lahan marginal, tetapi dapat juga memperbaiki keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem.

TEKNIK PENANAMAN

Penanaman kembali pohon-pohon akan menguntungkan restorasi lahan kritis pasca tambang, karena akan memungkinkan terjadinya suksesi “jump star” (permulaan yang sangat cepat), memberikan naungan, modifikasi iklim mikro yang bertindak sebagai penghalang bagi species-species pohon lain terhadap kondisi iklim dari kerusakan lahan (Lugo, 1997). Teknik penanaman pohon yang tepat dapat menjadi alat yang efektif untuk merehabilitasi lahan-lahan kritis.

Pada tahapan ini sebelum dilakukan penanaman vegetasi, dilakukan penanaman tanaman penutup tanah.

Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah yang protektif adalah sangat penting artinya dalam melindungi dan menyelamatkan tanah. Tanaman penutup tanah tersebut dapat menambah bahan organik tanah, dan dengan cara demikian dapat membantu absorpsi nutrisi-nutrisi tanaman yang sudah berkurang karena kegiatan penambangan. Disamping itu pula dapat memulihkan produktivitas tanah dengan menambah nitrogen, khususnya dengan penambahan leguminose.

Tanaman penutup tanah dapat ditanam menutupi seluruh areal tanah yang telah mencapai titik kritis. Sehubungan dengan itu maka tanaman tersebut harus memenuhi kondisi sebagai berikut :

- a. Tidak melakukan persaingan dengan tanaman pokok, dalam hal pengambilan air, sinar matahari dan zat-zat hara tanaman dari dalam tanah
- b. Harus cepat, rapat dan rimbun pertumbuhannya
- c. Mampu bersaing dengan tanaman pengganggu lainnya
- d. Mempunyai kandungan C/N rasionya rendah
- e. Dapat menyesuaikan diri dengan iklim setempat

Berdasarkan habitus pertumbuhannya tanaman penutup tanah dapat dikelompokkan menjadi 5 golongan :

- a. Tanaman penutup tanah rendah seperti : *Calopogonium muconoides*, *Centrosema pubescens*, *Eupatorium triplinerve*, *Ageratum mexicanum*, *Erechhites valerianifolia*.
- b. Tanaman penutup tanah sedang seperti : *Eupatorium pallesens*, *Crotolaria anagyroides*, *Tephrosia candida*.
- c. Tanaman penutup tanah tinggi seperti : *Albizia falcataria*, *Leucania glauca*.
- d. Belukar alami
- e. Tumbuhan yang tidak disukai seperti : *Imperata cylindrica*, *Leersia hexandra*, *Anastropus cimpessus*.

Tanaman-tanaman penutup tanah tersebut dapat berfungsi untuk :

- a. Melindungi permukaan tanah dari tumbukan butir-butir hujan yang mempunyai kemampuan pemecahan dan penghancuran terhadap agregat-agregat tanah

- b. Memperlambat kecepatan lajunya aliran run-off, sehingga daya kikisnya dapat dikurangi
- c. Memer kaya kandungan bahan organik tanah serta menambah besarnya porositas tanah.

Penanaman Vegetasi

Penanaman vegetasi yang sudah diseleksi langsung dilakukan, apabila sudah ditanam rumput-rumputan atau leguminose sebagai tanaman penutup tanah. Umumnya jenis tanaman yang sudah dipilih dengan tepat merupakan tanaman asli yang terdiri dari propagul yang sudah membaaur dengan tanaman penutup tanah.

Kegiatan penanaman vegetasi sangat penting peranannya di dalam kegiatan reklamasi dan rehabilitasi lahan kritis pasca tambang, karena pada tahapan ini diharapkan terciptanya keseimbangan antara intervensi manusia dengan ekosistem yang merancang sendiri (ecosystem self design). Jika keseluruhan proses penanaman dilakukan dengan tepat, maka tahapan-tahapan kegiatan ini akan memulihkan kembali kondisi lahan kritis tersebut.

KESIMPULAN

Adanya penerapan kaidah ekologi melalui revegetasi lahan dengan seleksi species, rekonstruksi lahan pra tanam, pemupukan dengan pupuk organik, anorganik, maupun pupuk biologis dengan inokulasi CMA serta teknik penanaman yang tepat diharapkan dapat memulihkan kembali kondisi lahan-lahan kritis pasca tambang, sehingga berkelanjutan dalam pemanfaatannya untuk kesejahteraan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Auge, R. M. 2001. Water Relations, Drought and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis.
- Anonimous. 1990. Food and Fertilizer Technology Centre Production of Compost From Organic Waste. Extension Bulletin no. 311. Kanondai-Tsukuta. Japan.

- Bearden, B.N. and Petersen, L. 2000. Influence Arbuskular Mycorrhizal Fungi on Soil Structure Agregate stability of a Vertisol.
- Bradshaw, A.D. 1983. Conservation in Perspective. John Wiley and Sons Ltd. New York.
- Brundrett, M. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR.
- Hahn, A.C. 1999. Immunochemical Properties of Mycorrhizas. Mycorrhiza : Structure Function, Molecular Biology and biotechnology. 1st ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Jordan, C.F. 1985. Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystem; Principle and Their Application in Management Conservation. John Willey and Sons. New York.
- Kartasapoetra. A.G. 1988. Konservasi Tanah dan Air. PT. Bina Aksara. Jakarta.
- Lugo. A.E. 1997. Forest Ecology and Management.
- Newsham, K.K, Fitter. A.H and Waterson. R. 1995. Arbuscular Mycorrhiza Protect an Annual Grass from Root Ppathogenic Fungi in the Field. Journal of Ecology.
- Ricken, B. Hofner. 1996. effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Heavy metal Tolerance of alfalfa Medicago sativa L and Oat Avena sativaL. On Sewage Sludge Treated Soil.
- Ripley, E.A, Redmann. R, Crowder, A.A. 1996. Environmental Effects Mining. St. Lucia Press. Florida.
- Setiyadi, Y. 1996. Penerapan Teknik Silvikultur Pada Lahan Pasca Tambang. Bahan Kursus Inhouse Training PT. Inco.
- Smith, S. E and D.J.Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. New York : Academic press.
- Stahl, P.D., et al. 1998. Arbuscula Mycorrhizae and Water Stress Tolerance of Wyoming Big Sagebrush Seedlings.
- Suhardi dan Sumardi. 1999. Peranan Mikoriza dalam Pengelolaan Hutan yang Berkelanjutan. Makalah pada Simposium dan Seminar Ilmiah Perhimpunan Fitologi Indonesia. Purwokerto, September 1999.
- Sylvia, D.M and D.O. Chelemi. 2001. Interaction among Root –inhabiting Fungi and their Implications for Biological Control of Root Pathogens.