

Indikator Kualitas Tanah pada Lahan Bekas Penambangan

Soil Quality Indicators of Reclaimed Mine Soils

Achmad Rachman, Sutono, Irawan, I Wayan Suastika

Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16114. Email: arbb1@yahoo.com

Diterima 25 April 2017; Direview 25 April 2017; Disetujui dimuat 13 Juni 2017

Abstrak. Lahan dalam kawasan tambang-tambang mineral mengalami perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta lansekap yang sangat signifikan sebagai akibat dari berbagai aktifitas penambangan seperti *land clearing*, pembangunan fasilitas pendukung kegiatan penambangan, lalu lintas kendaraan berat, penggalian, penimbunan bahan galian, pengolahan hasil tambang atau bahan mineral, dan lainnya. Sangat penting untuk mengembalikan kualitas tanah seperti kondisi sebelum kegiatan penambangan sehingga lahan dapat difungsikan kembali untuk pertanian. Makalah ini membahas metode penilaian indeks kualitas tanah sehingga dapat dievaluasi dampak berbagai perlakuan reklamasi. Sejumlah hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan indeks kualitas tanah untuk tujuan tersebut memberikan hasil yang baik, mudah dilaksanakan dan mudah dipahami oleh pengguna. Pemilihan indikator kunci (*minimum data set*) dan nilai ambang batasnya, pada batas mana tanah dapat berfungsi optimal, sangat menentukan akurasi penetapan indeks kualitas tanah. Penskoran dan pembobotan dilakukan terhadap setiap individu indikator kunci yang kemudian diintegrasikan untuk mendapatkan satu nilai indeks kualitas tanah. Indikator kunci untuk mengevaluasi kualitas tanah pada lahan bekas tambang disarankan sebagai berikut: kandungan bahan organik tanah (SOM), reaksi tanah (pH), berat isi tanah (BD), kapasitas air tersedia (AWC), agregasi (WSA), dan respirasi tanah, namun dapat ditambahkan indikator lain sesuai tujuan evaluasi dan kondisi geografis lahan yang akan dievaluasi. Penilaian kualitas tanah dapat juga dilakukan menggunakan metode *Scorecard*. Evaluasi kualitas tanah pasca penambangan sebaiknya dilakukan sebelum pelaksanaan reklamasi untuk menentukan prioritas sifat-sifat tanah yang perlu perhatian lebih sehingga perlakuan reklamasi lebih terarah dan terukur dan selama pelaksanaan reklamasi untuk mengetahui arah perubahan yang terjadi.

Kata kunci: Kualitas Tanah / Indeks Kualitas Tanah / Indikator Kunci / Lahan Bekas Tambang / Reklamasi

Abstract. Land in the mining areas undergo changes in soil physical, chemical, and biological properties as well as landscape as a result of various mining activities namely land clearing, construction of facilities to support the operations, movement of vehicles, excavation, storage of overburden dump materials backfilling of excavated material, and mineral mined processing. It is essential to restore soil quality similar to the condition before mining operation so that it can be utilized for agriculture purposes. This paper discusses method for assessing soil quality index to allow evaluation of the impact of different reclamation treatments. Studies indicated that the use of soil quality index gave good result, easy to perform, and easy to understand by the end user. Selection of key indicators (minimum data set) and its threshold values, in which soil is functioning optimally, is essential for the accuracy of soil quality index determination. Scoring and weighing of the individual soil indicator was performed before integrating all key indicators to obtain a soil quality index. Key indicators for evaluating soil quality of reclaimed mine soils is recommended to include soil organic matter (SOM), soil reaction (pH), bulk density (BD), available water capacity (AWC), water stable aggregate (WSA), and soil respiration, however, other indicators could be added depending upon the goal of assessment and geographical condition of land that is subject to evaluation. Qualitative assessment of soil quality can also be conducted using scorecard method. Evaluation of post-mining soil quality should be conducted before any reclamation activities to priorities soil properties that need more attention, so that reclamation treatments will be more focus and measurable and on on-going reclamation to monitor the trend of change.

Keywords: Soil Quality / Soil Quality Index / Key Indicator / Post-Mining Land / Reclamation

PENDAHULUAN

Tanah yang sehat dan subur sangat menentukan dalam keberhasilan usahatani untuk mendapatkan produktivitas yang tinggi (Gardner *et al.* 1999) dengan input usahatani yang relatif rendah. Peran penting tanah sebagai faktor produksi diantaranya sebagai media tumbuh perakaran

dan penyedia unsur hara bagi tanaman. Selain berfungsi sebagai faktor produksi, tanah juga berperan penting dalam meningkatkan dan menjaga kualitas lingkungan baik di tingkat lokal maupun di tingkat global melalui kemampuan tanah menyaring bahan-bahan pencemar sehingga sumber air tidak tercemar, mengontrol pelepasan air ke badan-badan air seperti sungai atau danau, dan menyimpan karbon untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca (Adhikari dan Hartemink 2016). Dengan fungsinya yang sangat kompleks dan multi dimensi tersebut, maka berbagai bentuk kerusakan tanah/lahan sebagai akibat dari pengelolaan yang kurang bijaksana akan berdampak pada merosotnya kualitas tanah dan hilangnya sebagian besar fungsi tersebut.

Kegiatan penambangan, terutama penambangan terbuka (*open pit mining*), mengupas tubuh tanah sampai pada kedalaman puluhan meter untuk mendapatkan bahan mineral yang diinginkan. Kegiatan pengupasan ini menyebabkan tercampurnya bahan batuan *overburden* dengan tanah pucuk (*top soil*) menghasilkan hamparan tanah yang mempunyai kandungan bahan organik sangat rendah, retensi air dan unsur hara sangat rendah, kandungan unsur-unsur yang bersifat toksik tinggi, dan tidak berstruktur (Mulyanto 2008). Widiatmaka *et al.* (2010) melaporkan bahwa pada wilayah bekas penambangan nikel, horizon permukaan didominasi oleh *overburden* yang bukan tanah melainkan batuan induk yang tidak berstruktur dan kandungan debu dan liat yang tinggi (>40%), basa-basa didominasi oleh Mg, sedangkan Ca, Na, dan K tergolong rendah. Sedangkan pada wilayah bekas penambangan batubara umumnya dijumpai tanah yang sangat heterogen, porositas tanah rendah, peka erosi dan kesuburan tanah rendah jika dibandingkan dengan tanah disekitarnya yang belum ditambang (Munawar 1999). Dampak lanjutan dari kegiatan penambangan, jika tidak dilakukan upaya reklamasi, adalah erosi tanah, polusi air dan udara, keracunan, kehilangan potensi sumberdaya hayati, dan kehilangan potensi ekonomi (Wong 2003, Sheoran *et al.* 2008).

Kegiatan reklamasi diperlukan untuk mengembalikan kondisi lahan/tanah mendekati kondisi seperti sebelum kegiatan penambangan. Secara umum, kegiatan reklamasi meliputi penutupan lubang bekas galian, pengembalian horizon A dan B, perataan, dan penanaman. Lahan bekas penambangan yang sudah direklamasi umumnya dicirikan oleh kesuburan tanah dan kandungan bahan organik yang rendah, masalah pemadatan tanah, struktur tanah yang masif, perakaran dangkal, retensi air rendah dan kemasaman tanah yang tinggi (Akala dan Lal 2001, Haridjaja 1995, Mc Sweeney dan Jansen 1984). Dengan demikian meskipun sudah dilakukan upaya reklamasi, kualitas tanah pada daerah bekas penambangan masih tergolong rendah untuk pertumbuhan tanaman dibanding sebelum penambangan. Intensitas dampak penambangan terhadap kualitas tanah dan lingkungan

sekitar bervariasi tergantung jenis mineral yang ditambang, kemampuan lingkungan sekitar dalam mengabsorpsi perubahan tersebut, bentuk lahan dan skala penambangan.

Evaluasi terhadap kualitas tanah sebagai akibat kegiatan penambangan di suatu daerah dilakukan untuk mengetahui intensitas perubahan sifat-sifat tanah yang secara langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Hasil evaluasi kualitas tanah pasca penambangan tidak hanya berguna untuk mengetahui kondisi eksisting sifat-sifat tanah yang dievaluasi, tapi dapat juga dimanfaatkan sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan yang berkaitan dengan rencana pengguna lahan.

MULTIFUNGSI TANAH

Tanah merupakan sumberdaya alam utama, tidak hanya untuk keperluan pertanian tetapi juga untuk berbagai aspek kebutuhan makhluk hidup lainnya (Cihacek *et al.* 1996, Scott 2000). Peran multifungsi tanah digambarkan sebagai (1) media berjangkarnya akar tanaman, (2) penyedia kebutuhan esensial bagi keberlanjutan produksi tanaman seperti air, hara, dan oksigen, (3) media berkembang biaknya organisme tanah, (4) pegatur siklus hidrologi dan mineral/hara yang juga berdampak pada perubahan iklim global, (5) detoksifikasi zat-zat organik dan an-organik sehingga terjadi pemurnian air tanah, dan (6) pengendalian erosi tanah (Contanza *et al.* 1992, Bastida *et al.* 2006, Rachman *et al.* 2008). Agus dan Husen (2005) mengelompokkan 6 fungsi pertanian yang berkaitan langsung dengan tanah itu sendiri yaitu (1) mitigasi banjir, (2) pengendali erosi dan siltasi, (3) penampung sampah organik, (4) penyejuk dan pembersih udara, (5) penambat karbon, dan (6) pemeliharaan sumberdaya hayati. Fungsi-fungsi tersebut dapat dinikmati oleh masyarakat umum secara cuma-cuma (*non-excludability*; Dariah dan Rachman 2006). Fungsi ekologis tanah dan indikatornya disajikan pada Tabel 1.

Peluang untuk mendapatkan keuntungan ekonomi atau sebaliknya kerusakan ekosistem tanah sehingga tanah tidak berfungsi optimal sangat tergantung pada bagaimana manusia mengelola sumberdaya tersebut. Pengelolaan yang sifatnya eksploitatif menyebabkan tidak berfungsinya seluruh atau sebagian fungsi tanah tersebut. Sebagai contoh, kebiasaan untuk membakar atau membuang sisa tanaman keluar dari lahan pertanian agar lahan dapat segera siap untuk ditanami kembali akan menurunkan

Tabel 1. Fungsi ekologis tanah dan indikatornya

Table 1. *Soil ecological functions and its indicators*

Fungsi ekologis tanah	Indikator berfungsinya tanah secara optimal
Fungsi produksi	Tingginya produktivitas tanaman dan pendapatan
Fungsi lingkungan biotik	Tingginya keragaman dan populasi mikro organisme tanah – Tingginya hasil tanaman dan kualitas makanan
Fungsi pengendalian iklim / fungsi penyimpanan	Tingginya penyimpanan karbon tanah dan lambatnya laju pelepasan emisi gas rumah kaca
Fungsi hidrologi	Ketersediaan sumberdaya air yang cukup/rendahnya resiko banjir
Fungsi pengendalian polutan	Tingginya produktivitas tanaman dan kualitas hasil panen
Fungsi kesejarahan	-
Fungsi penghubung satu tempat dengan tempat lainnya	-

Sumber: Laishram *et al.* (2012)

kandungan bahan organik tanah. Tanah dengan kandungan bahan organik rendah menyebabkan tanah menjadi kurus, keras, kapasitas menyimpan air rendah dan mudah tererosi. Kegiatan yang sifatnya eksploitatif ini banyak terjadi di negara-negara berkembang yang berpenduduk miskin dengan kepadatan penduduk tinggi (Sumarno 2012).

KUALITAS TANAH

Kualitas tanah dapat didefinisikan sebagai “*the capacity of a specific kind of soil to function, within natural or managed ecosystem boundaries, to sustain plant and animal productivity, maintain or enhance water and air quality, and support human health and habitation*” (Doran dan Parkin 1994, Karlen *et al.* 1997, Arshad dan Martin 2002) yang diterjemahkan secara bebas sebagai kemampuan suatu tanah untuk berfungsi, dalam batas ekosistem alami atau diolah, dalam mempertahankan produktivitas tanaman dan hewan, memelihara dan meningkatkan kualitas air dan udara, dan menunjang kesehatan manusia dan lingkungannya. Dengan demikian kualitas tanah merupakan fungsi dari faktor-faktor produksi, lingkungan (kualitas air permukaan dan bawah tanah), dan kesehatan (kualitas produk hasil panen) yang dapat dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$SQ = f(FP, AP, AT, HP) \dots\dots\dots (1)$$

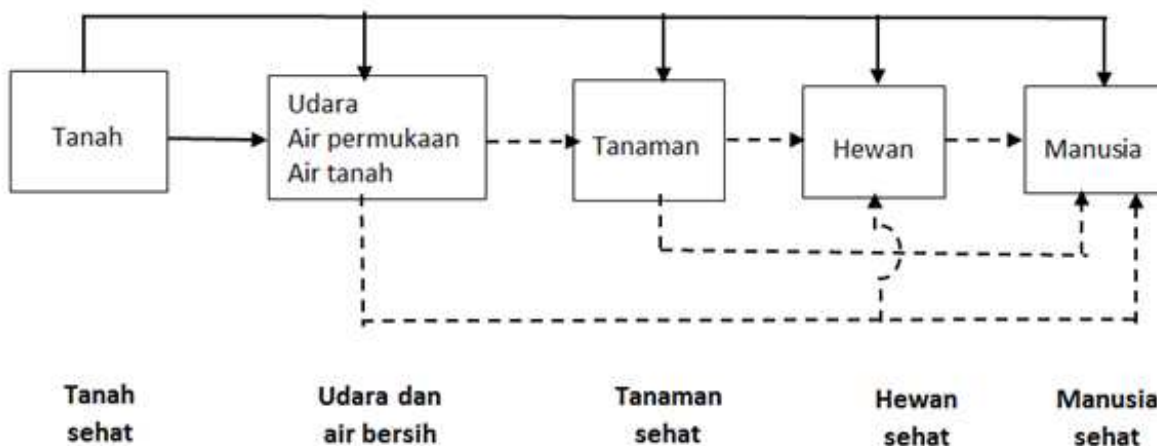
dimana:

- SQ = indeks kualitas tanah
- FP = faktor produksi
- AP = kualitas air permukaan
- AT = kualitas air tanah
- HP = kualitas hasil panen

Dari definisi tersebut terdapat 3 fungsi utama tanah yang dapat menjadi indikator kualitas tanah secara umum yaitu fungsi produksi, lingkungan dan kesehatan. Keterkaitan ketiga fungsi tersebut diilustrasikan pada Gambar 1 (Harris *et al.* 1996). Doran *et al.* (1996) menggambarkan tiga cara bagaimana tanah secara langsung mempengaruhi kualitas lingkungan, pertumbuhan tanaman dan kesehatan hewan dan manusia. Cara pertama adalah terdapatnya bahan beracun seperti logam-logam berat dengan konsentrasi tinggi dalam tanah yang dapat langsung mempengaruhi kualitas air, meracuni tanaman, hewan, dan/atau manusia. Konsentrasi bahan beracun ini melebihi kemampuan tanah dalam menyaring atau mengadsorpsi sehingga menjadi bebas atau tidak terikat oleh partikel tanah. Terdapatnya logam berat atau bahan beracun lainnya dalam konsentrasi tinggi dalam tanah dapat terjadi karena aktivitas manusia (*anthropomorphic event*) seperti kegiatan penambangan atau karena proses geologi.

Cara kedua adalah tanah berfungsi sebagai penyaring berbagai bahan polutan dari air yang melewati profil tanah, sehingga air yang dimanfaatkan oleh hewan dan manusia terbebas dari polutan yang berbahaya. Dalam proses penyaringan ini, tanah berfungsi sebagai agen pengikat yang mengadsorpsi bahan-bahan kimia, khususnya kation, dari air yang melewati profil tanah sebelum menjadi air tanah.

Cara ketiga adalah tanah menyediakan media tumbuh yang mengandung unsur hara bagi pertumbuhan tanaman. Tanah yang baik dan sehat adalah tanah yang menyediakan unsur hara esensial maupun non-esensial dalam jumlah yang optimum dan seimbang bagi tanaman sehingga hasil tanaman optimal dan sehat.



Sumber: Harris *et al.* (1996)

Gambar 1. Keterkaitan langsung (garis tidak putus) dan tidak langsung (garis putus-putus) antara kualitas tanah dengan kualitas air dan udara, tanaman, hewan dan manusia

Figure 1. Direct (solid lines) and indirect (broken lines) linkages between soil quality and water and air quality, plant, animal and human

Hasil dari evaluasi kualitas tanah disajikan dalam bentuk indeks kualitas tanah. Perhitungan indeks kualitas tanah dilakukan dalam tiga tahapan (Karlen *et al.* 2003). Tahap pertama adalah merumuskan indikator kunci (*minimum data set*) kualitas tanah agar dapat dimonitor secara efektif dan efisien faktor-faktor yang menghambat berfungsinya tanah. Tahapan kedua adalah menetapkan skor dari masing-masing indikator sehingga berbagai indikator tersebut dapat diperbandingkan. Terakhir adalah mengintegrasikan semua indikator ke dalam suatu indeks kualitas tanah.

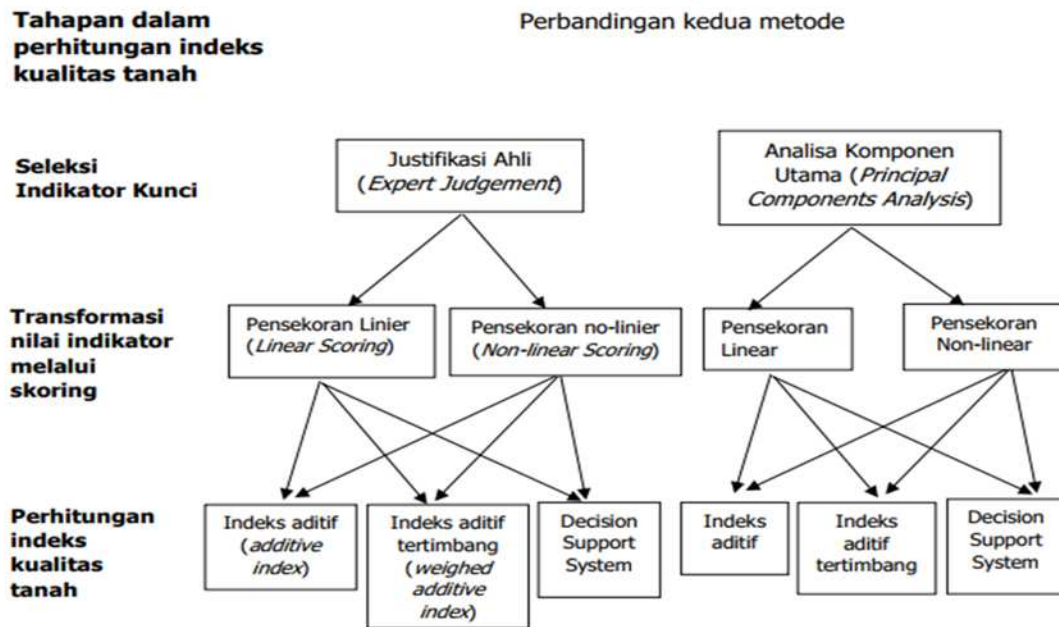
INDEKS KUALITAS TANAH

Keberlanjutan (*sustainability*) sistem pertanian merupakan masalah utama di negara-negara berkembang berpenduduk padat (Sumarno 2012). Berbagai masalah yang berkaitan dengan keberlanjutan ini berkaitan erat dengan kualitas tanah. Sistem pengelolaan yang berakibat pada degradasi kualitas tanah secara langsung akan mengancam keberlanjutan sistem yang ada untuk berfungsi, diantaranya adalah untuk pertanian. Oleh karena itu diperlukan metode yang secara cepat dan akurat mengukur perubahan kondisi tanah dari waktu ke waktu sehingga sustainabilitas sistem dapat dipertahankan. Perubahan kondisi tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik yang bersumber dari proses-proses yang terjadi

dalam tanah itu sendiri maupun dari luar sebagai akibat penggunaan lahan. Indeks kualitas tanah yang merupakan integrasi dari sifat fisik, kimia dan biologi tanah dapat menggambarkan tingkatan kualitas dari tanah yang dievaluasi dalam mendukung tiga fungsi tanah yaitu produksi, lingkungan dan kesehatan. Indeks yang dihasilkan tidak hanya menggambarkan kualitas tanah tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pengelolaan lahan.

Terdapat dua metode perhitungan indeks kualitas tanah yaitu metode *Expert Judgement* dan *Principal Components Analysis*. Perbandingan antara kedua metode tersebut pada tiap tahapan dapat dilihat pada Gambar 2 (Laishram *et al.* 2012). Metode pertama memanfaatkan pengalaman tenaga ahli dan studi literature untuk menentukan indikator kunci, skor dan bobot masing-masing parameter tanah, sementara metode kedua melalui serangkaian uji statistik memanfaatkan data yang ada. Namun demikian, hasil penelitian Mukherjee dan Lal (2014) di Ohio, AS yang membandingkan dua metode tersebut menunjukkan hasil perhitungan indeks kualitas tanah yang tidak berbeda nyata secara statistik.

Loveland *et al.* (2002) mengidentifikasi terdapat 67 parameter tanah yang potensial sebagai indikator kualitas tanah. Nilai dari masing-masing parameter tanah tersebut bervariasi baik secara spasial maupun temporal dan dapat berubah sebagai akibat dari



Gambar 2. Diagram yang menunjukkan tiga tahapan dalam perhitungan indeks kualitas tanah dan perbandingan metode alternatif pada setiap tahapan

Figure 2. Diagram showing three steps in calculating soil quality index and comparison of alternative methods in each step

berbagai aktivitas penggunaan lahan seperti untuk pertanian, pertambangan, transportasi dan lain-lain. Kepekaan terhadap perubahan dari setiap parameter juga bervariasi dari sangat sensitif sampai tidak sensitif (stabil). Oleh karena itu, untuk menyederhanakan perhitungan indeks kualitas tanah maka perlu diidentifikasi indikator kunci yang paling menentukan berubahnya kualitas tanah.

INDIKATOR KUNCI (*MINIMUM DATA SET*)

Perumusan indikator kunci ditekankan pada fungsi tanah yang menjadi obyek evaluasi dan dampak pengelolaan terhadap sistem yang lebih luas (Andrews *et al.* 2002). Ini berarti evaluasi kualitas tanah tidak hanya dalam kaitannya dengan produktivitas tanaman tetapi juga opsi pengelolaan, sehingga mencakup aspek yang lebih luas termasuk kualitas lingkungan yang mendukung keberlanjutan usahatani. Menurut Andrews *et al.* (2002), jika aspek pengelolaan turut dipertimbangkan dalam evaluasi kualitas tanah, maka indeks kualitas tanah yang dihasilkan akan menjadi salah satu komponen penting dalam menjaga keberlanjutan agroekosistem.

Dalam merumuskan indikator kunci (*minimum data set*) kualitas tanah, Doran dan Parkin (1996) mengusulkan lima kriteria yaitu:

1. Mudah diukur oleh siapa saja, tidak hanya oleh seorang yang ahli di bidang tersebut.
2. Mempunyai korelasi yang baik dengan proses yang terjadi dalam ekosistem.
3. Dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter tanah lainnya yang sulit diukur.
4. Mudah berubah sebagai respon terhadap berbagai bentuk penggunaan lahan.
5. Salah satu parameter dalam sistem database tanah.

Berdasarkan pada kelima kriteria tersebut, Doran dan Perkin (1996) dan Arshad dan Martin (2002) merumuskan 12 indikator kunci menggunakan metode Justifikasi Ahli seperti disajikan pada Tabel 2. Sementara itu, Sparling dan Schipper (2002) dengan menggunakan metode Analisa Komponen Utama merumuskan tujuh indikator kunci kualitas tanah dari 20 parameter tanah yang diuji untuk memonitor pengaruh aktivitas manusia terhadap lingkungan di Selandia Baru. Ketujuh indikator tersebut adalah reaksi

Tabel 2. Indikator kunci untuk penilaian kualitas tanah berdasarkan metode justifikasi ahli

Table 2. Key indicators for soil quality assessment based on expert judgement

No.	Indikator kunci	Kaitan dengan fungsi tanah
1.	Bahan organik	Kesuburan tanah, struktur tanah, retensi air dan pestisida, dan permodelan
2.	Kedalaman lapisan tanah pucuk (<i>top soil</i>)	Perhitungan volume akar dan erosi tanah
3.	Agregasi tanah	Struktur tanah, kepekaan erosi tanah, dan perkecambahan benih
4.	Tekstur	Retensi dan transport air dan bahan kimia, permodelan
5.	Berat isi tanah	Penetrasi akar, porositas, konversi unit ke volumetrik
6.	Laju infiltrasi	Aliran permukaan, pencucian, dan erosi potensial
7.	Ph	Ketersediaan hara, absorpsi dan mobilitas pestisida dan permodelan
8.	Hantaran listrik (EC)	Struktur tanah, laju infiltrasi, dan pertumbuhan tanaman
9.	Polutan	Kualitas hasil panen, kesehatan manusia dan hewan
10.	Respirasi tanah	Aktivitas biologi, estimasi aktivitas biologi, dan permodelan
11.	Bentuk N	Ketersediaan untuk tanaman, potensi pencucian, laju mineralisasi/imobilisasi, dan permodelan
12.	N, P, K terekstrak	Kemampuan untuk mendukung pertumbuhan tanaman

Sumber: Arshad dan Martin (2002)

tanah (pH), total C, total N, N yang dapat termineralisasi, P Olsen, berat isi tanah, dan total pori makro. Beberapa parameter tanah yang tidak dimasukkan diantaranya adalah konduktivitas hidraulik tak jenuh karena variabilitasnya yang sangat tinggi, distribusi ukuran pori dan KTK karena tidak begitu respon terhadap perubahan penggunaan lahan, biomassa mikroba dan respirasi tanah karena relatif sulit untuk menginterpretasi hasilnya dan berkorelasi cukup tinggi dengan parameter N yang dapat termineralisasi, kejenuhan basa karena sudah diwakili oleh nilai pH, sedangkan total pori tidak dimasukkan karena tidak cukup sensitif merespon terhadap perubahan penggunaan lahan dibanding total pori makro.

Dalam rangka mengevaluasi kualitas tanah pada lahan bekas tambang batubara yang sudah direklamasi di negara bagian Indiana, AS, Seybold *et al.* (2004) menggunakan enam parameter tanah yaitu kandungan organik C, kapasitas tukar kation (KTK), kapasitas air tersedia (AWC), berat isi tanah (BD), dan indeks morfologi (struktur dan *rupture resistance*) tanah. Mereka menyimpulkan bahwa terdapat tiga sifat tanah yang sangat menentukan rendahnya kualitas tanah pada lahan penambangan batubara yaitu struktur tanah yang masif, kapasitas air tersedia yang rendah, dan peningkatan berat isi tanah. Sifat tanah lainnya seperti kandungan bahan organik, KTK, dan pH tanah umumnya hampir sama dengan kondisi sebelum penambangan.

Dari beberapa literatur tersebut, terlihat bahwa penetapan indikator kunci kualitas tanah berbeda tergantung dari karakteristik lokasi dan tujuan dari evaluasi yang akan dilakukan. Indikator kunci kualitas tanah untuk masing-masing jenis penambangan akan berbeda-beda, namun disarankan enam indikator yaitu kandungan bahan organik tanah (SOM), reaksi tanah (pH), berat isi tanah (BD), kapasitas air tersedia (AWC), agregasi (WSA), dan respirasi tanah.

MODEL KUALITAS TANAH

Setelah indikator kunci dirumuskan, maka langkah selanjutnya adalah mentransformasikan nilai dari masing-masing parameter tanah melalui penskoran (*scoring*) dan pembobotan (*weighing*). Penskoran dan pembobotan dilakukan karena unit yang digunakan oleh masing-masing parameter tanah berbeda-beda dan intensitas pengaruhnya terhadap kualitas tanah juga berbeda. Karlen dan Stott (1994) mengelompokkan parameter tanah tersebut ke dalam empat kelompok fungsi tanah yaitu: (1) penyerapan air permukaan, (2) pergerakan dan absorbs air, (3) kontrol degradasi permukaan tanah, dan (4) penyediaan hara untuk tanaman. Pengelompokan lainnya dilakukan oleh Farnandes *et al.* (2011) yang mengelompokkan indikator kunci menjadi 3 kelompok yang berkaitan dengan (1) perkembangan perakaran tanaman (RDC) yaitu berat isi tanah, resistensi penetrasi tanah, kestabilan agregat, dan diameter partikel tanah, (2)

kemampuan menyimpan air (WSC) yaitu kapasitas menyediakan air, dan (3) kemampuan menyimpan hara (NSC) yaitu reaksi tanah, hantaran listrik, C-stock, dan N-stock. Setelah dilakukan scoring dan pembobotan terhadap masing-masing kelompok dan individu parameter tanah dalam masing-masing kelompok, kemudian nilainya dijumlahkan mengikuti model perhitungan indeks kualitas tanah berikut:

$$SQI = \{(bobot\ 1) * RDC\} + \{(bobot\ 2) * WSC\} + \{(bobot\ 3) * NSC\} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- SQI = indeks kualitas tanah
- RDC = kapasitas perkembangan perakaran
- WSC = kapasitas penyimpanan air
- NSC = kapasitas penyimpanan hara

Pensekoran dilakukan untuk setiap nilai indikator kunci dengan menggunakan metode *nonlinear scoring function* dimana sumbu Y adalah nilai skor yang bernilai 0 sampai 1, sedangkan sumbu X adalah kisaran nilai parameter tanah (Andrews *et al.* 2002). Nilai skor 1 diberikan pada nilai indikator yang mempunyai fungsi tertinggi. Kisaraan nilai untuk masing-masing parameter tanah (sumbu X) dan bentuk dari grafik fungsi ditetapkan berdasarkan hasil penelitian yang sudah terpublikasikan atau sumber literatur lainnya. Beberapa parameter tanah seperti kandungan bahan organik dan kestabilan agregat tanah menggunakan prinsip “*more is better*” yang berarti makin besar nilainya makin baik, dengan demikian nilai pengamatan tertinggi diberi skor 1, sebaliknya untuk parameter berat isi tanah menggunakan prinsip “*less is better*” dimana nilai parameter yang terendah/terkecil mendapat skor 1. Prinsip lainnya adalah menggunakan prinsip “*higher is better*” sampai ambang batas tertentu, kemudian berlaku prinsip “*lower is better*” setelah ambang batas tersebut. Parameter tanah yang masuk dalam kategori ini adalah pH dan EC tanah.

PENILAIAN KUALITATIF KUALITAS TANAH

Berbagai parameter kuantitatif telah banyak digunakan oleh para ilmuwan untuk menilai kualitas tanah, seperti kemasaman tanah melalui pH, kesuburan tanah melalui kandungan unsur-unsur hara makro dan lainnya. Di pihak lain para petani menilai kualitas tanah dari parameter yang bersifat kualitatif, misalnya warna tanah, kepadatan tanah, populasi cacing tanah,

pertumbuhan tanaman, dan lainnya. Keberadaan sumberdaya hayati dalam tanah berperan penting dalam mengendalikan dan menyediakan hara bagi tanaman (Subowo 2012). penilaian kualitas tanah untuk tujuan penelitian dan pengembangan pertanian seharusnya memadukan kedua pendekatan tersebut, yakni kuantitatif dan kualitatif (Romig *et al.* 1996).

Universitas Wisconsin, USA sudah mengembangkan suatu pendekatan penilaian kualitas dan kesehatan tanah berdasarkan pengetahuan dan pengalaman petani, dikenal dengan nama “*Wisconsin Soil Health Scorecard*” atau disingkat dengan “*Scorecard*” (Romig *et al.* 1996). Pendekatan ini menggunakan skala nilai 0-4 dengan tiga kelompok hasil penilaian, yakni kualitas tanah sehat (3 sampai 4), kualitas tanah tidak sehat (0 sampai 1), dan kualitas tanah rata-rata (1,5 sampai 2,5). Cara pengumpulan datanya melalui wawancara dengan para petani secara perorangan (*face to face interview*) dalam dua tahap. Tahap I menggunakan pertanyaan “bebas” (*open-ended questions*) untuk memperoleh gambaran sejauh mana petani mengenal dan mengetahui kualitas dan kesehatan tanah usaha taninya. Kemudian pada Tahap II digunakan pertanyaan tertutup, yakni terstruktur dengan pilihan jawaban yang sudah disediakan.

Pendekatan *Scorecard* menggunakan 43 buah parameter yang terbagi ke dalam empat aspek, yakni Tanah, Tanaman, Ternak dan Air (Tabel 3). Aspek Tanah mencakup sifat-sifat tanah deskriptif (*descriptive soil properties*) dengan 20 buah parameter, dan sifat-sifat tanah analitis (*analytical soil properties*) dengan empat buah parameter. Beberapa parameter yang termasuk sifat-sifat tanah deskriptif adalah populasi cacing, erosi, kemudahan pengolahan, warna, kepadatan, laju infiltrasi, drainase, retensi air, dekomposisi bahan organik, kesuburan, plastisitas, lapisan kerak di permukaan (*surface crust*), tingkat penutupan permukaan, kekerasan, bau, tekstur, aerasi, aktivitas biologi, dan kedalaman lapisan atas tanah (*top soil*). Parameter tanah berdasarkan hasil analisa laboratorium antara lain kandungan bahan organik tanah, kemasaman tanah (pH), hasil uji tanah cepat untuk N, P, dan K (*test kit results of N, P, K*), dan ketersediaan unsur mikro. Aspek Tanaman terdiri atas 14 buah parameter yang terbagi ke dalam sifat deskriptif (10 buah parameter) dan sifat analitis (empat buah parameter). Sifat-sifat tanaman deskriptif antara lain berupa keragaan tanaman, gejala kekurangan hara, laju pertumbuhan tanaman, perakaran tanaman, warna daun tanaman, dan dampak serangan OPT. Kemudian

Tabel 3. Beberapa parameter lingkungan yang ditanyakan ke petani untuk penilaian kualitas tanah berdasarkan metode scorecard

Table 3. Selected environmental parameters questioned to farmers to assess soil quality based on scorecard method

Aspek	Parameter yang ditanyakan
Tanah	Populasi cacing, erosi, kemudahan pengolahan, warna, kepadatan, laju infiltrasi, drainase, retensi air, dekomposisi bahan organik, kesuburan, plastisitas, lapisan kerak di permukaan (<i>surface crust</i>), tingkat penutupan permukaan, kekerasan, bau, tekstur, aerasi, aktivitas biologi, kedalaman lapisan atas tanah (<i>top soil</i>). Kandungan bahan organik, kemasaman tanah (pH), hasil uji tanah cepat untuk N, P, dan K (<i>test kit results of N, P, K</i>), dan ketersediaan unsur mikro
Tanaman	Keragaan, gejala kekurangan hara, perkecambahan benih, laju pertumbuhan, perakaran, pertumbuhan batang, warna daun, daya tahan terhadap kekeringan, daya tahan terhadap hama dan penyakit, gejala kematangan buah. Parameter lainnya adalah produktivitas, nilai pakan, bobot hasil panen (misalnya bernas untuk padi), perbandingan biaya produksi dan penerimaan.
Ternak	Kesehatan penduduk, kesehatan ternak, keberadaan hewan liar.
Air	Kandungan bahan kimia air tanah dan tingkat kekeruhan air permukaan.

sifat-sifat tanaman analitis antara lain tingkat hasil, nilai pakan, bobot hasil panen (misalnya bernas untuk padi), perbandingan biaya produksi dan penerimaan. Aspek ternak terdiri atas tiga parameter, yakni kesehatan ternak, keberadaan hewan liar, dan kesehatan manusia (anggota keluarga petani). Selanjutnya aspek Air hanya terdiri atas dua parameter, yakni kandungan bahan kimia atau derajat pencemaran air, dan tingkat kekeruhan air permukaan.

Berdasarkan penjelasan di atas maka Scorecard adalah alat lapangan untuk menilai dan memantau kualitas dan kesehatan tanah, berbasis pengetahuan dan pengalaman petani yang diwawancarai. Scorecard menggunakan sifat indikator sensorik yang dirasakan, diketahui, dan/atau dialami oleh petani, bukan hasil analisis laboratorium. Sebagai alat, Scorecard dapat digunakan oleh petani, penyuluh pertanian, konsultan tanaman, dan ilmuwan, untuk beragam sistem pertanian yang akan dinilai atau dievaluasi. Khusus bagi petani alat tersebut merupakan cara penilaian integratif mengenai dampak manajemen usahatani terhadap kualitas dan kesehatan tanahnya.

Pendekatan Scorecard memiliki keterbatasan yang terkait dengan sifat dan karakteristik data hasil wawancara dengan responden. Data persepsi umumnya sulit dibantah dan bersifat spesifik lokasi dan personal. Bias data persepsi akan semakin besar manakala jumlah responden terbatas, sedangkan sistem pertanian beragam dengan cakupan parameter kesehatan dan kualitas tanah yang cukup banyak. Salah satu pemecahan atas kelemahan tersebut adalah penentuan jumlah responden sedemikian rupa sehingga mewakili suatu sistem pertanian tertentu. Interaksi dan

komunikasi antar peneliti dan petani perlu terus dilakukan untuk meningkatkan pemahaman secara kolektif tentang parameter yang dinilai dan mungkin sekali terjadi modifikasi struktur Scorecard, khususnya dalam aspek-aspek tanaman, ternak, dan air sebagai parameter kualitas dan kesehatan tanah.

Pendekatan *Scorecard* dapat diaplikasikan di Indonesia dengan modifikasi pada jumlah dan jenis parameter kualitatif yang dievaluasi. Hal tersebut karena Scorecard dikembangkan pada usahatani berbasis jagung dan ternak sapi, dengan luas lahan garapan petani yang relatif luas.

PENUTUP

Kecenderungan perbaikan kualitas tanah pada lahan bekas tambang menjadi indikator penting keberhasilan upaya reklamasi yang dilakukan. Kuantifikasi dampak reklamasi pasca penambangan terhadap kualitas tanah dapat dilakukan dengan menghitung indeks kualitas tanah. Dengan diketahuinya indeks tersebut, maka perubahan kualitas tanah (positif atau negatif) akibat tindakan reklamasi dari suatu lokasi bekas penambangan dapat dengan mudah diukur dan dapat diperbandingkan kemajuannya antara satu lokasi dengan lokasi lainnya.

Indikator kunci dalam penetapan indeks kualitas tanah lahan bekas tambang seperti kandungan bahan organik tanah (SOM), reaksi tanah (pH), berat isi tanah (BD), kapasitas air tersedia (AWC), agregasi (WSA), dan respirasi tanah disarankan perlu ada pada setiap evaluasi kualitas tanah. Indikator lainnya dapat ditambahkan sesuai dengan tujuan evaluasi dan kondisi

geografis lahan, namun disarankan konsisten agar dapat diperbandingkan.

Indikator kunci yang terpilih memiliki sifat-sifat sebagai berikut (1) mudah diukur oleh siapa saja, tidak hanya oleh seorang yang ahli di bidang tersebut, (2) mempunyai korelasi yang baik dengan proses yang terjadi dalam ekosistem, (3) dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter tanah lainnya yang sulit diukur, (4) mudah berubah sebagai respon terhadap berbagai bentuk penggunaan lahan, dan (5) salah satu parameter dalam sistim database tanah. Keterbatasan informasi mengenai dinamika perubahan sifat fisik, kimia dan biologi tanah pada lahan bekas tambang dalam kaitannya dengan budidaya tanaman semusim menjadi tantangan tersendiri. Pemahaman ini sangat penting dalam rangka upaya reklamasi lahan bekas tambang untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian tanaman semusim yang produktif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, K. dan A.E. Hartemink. 2016. Linking soils to ecosystems services. *Geoderma* 262: 101-111.
- Agus, F. dan E. Husen. 2005. Tinjauan umum multifungsi pertanian. Seminar Nasional Multifungsi Pertanian dan Ketahanan Pangan. Bogor. 12 Oktober 2004. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- Akala, V.A. dan R. Lal. 2001. Soil organic carbon pools and sequestration rates in reclaimed minesoils in Ohio. *J. Environ. Qual.* 30 (6): 2098-2104.
- Andrews, S.S., J.P. Mitchell, R. Mancinelli, D.L. Karlen, T.K. Hartz, W.R. Horwath, G.S. Pttigrove, K.M. Scow, dan D.S. Munk. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agron. J.* 94:112-23.
- Arshad, M.A. dan S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153 – 160.
- Bastida, F., J.L. Moreno, T. Hernandez, dan C. Garcia. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biologi and Biochemistry* 38:3463-3473.
- Cihacek, L.J., W.L. Anderson, P. W. Barak. 1996. Linkages between soil quality and plant, animal, and human health. *p.* 9 – 23. *In* J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Constanza, R., B.G. Norton, dan B.D. Haskell. 1992. *Ecosystem Health: New Goals or Environmental Management*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Dariah, A. dan A. Rachman. 2006. Optimalisasi multifungsi pertanian dalam penanggulangan pencemaran di daerah aliran sungai. *J. Sumberdaya Lahan Pertanian* Vol 1 (2): 13-24.
- Doran, J.W., M. Sarrantonio, dan M.A. Leibig. 1996. Soil health and sustainability. Pp. 1-54. *In* D.L. Sparks (ed.) *Advances in agronomy*. Vol. 56. Academic Press, New York.
- Doran, J.W. dan T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. P. 3-21 *In* J.W. Doran et al. (ed.) *Defining soil quality for sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI.
- Fernandes, J.C., C.A. Gamero, J.G.L. Rodrigues, dan J.M. Miras-Avalos. 2011. Determination of the quality of index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. *Soil and Tillage Res.* 112:167-174.
- Gardner, C. M.K., K.B. Laryea, dan P. W. Unger. 1999. *Soil physical constraints to plant growth and crop production*. Land and Water Management Division, FAO. Rome.
- Haridjaja, O. 1995. Degradasi tanah pada bekas penambangan timah. Makalah pada Seminar Kongres HITI ke-VI, Serpong 12-15 Desember 1995.
- Harris, R.F., D.L. Karlen, dan D.J. Mulla. 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. *p.* 61-82. *In* J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Karlen, D.L. dan D.E. Stott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *In* J.W. Doran et al. (ed.) *Defining soil quality for sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI.
- Karlen, D.L., C.A. Ditzler, dan S.S. Andrews. 2003. Soil quality: why and how?. *Geoderma* 114:145-156.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, dan G.E. Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10.
- Laishram, J., K.G. Saxena, R.K. Maikhuri, dan K.S. Rao. 2012. Soil quality and soil health: A Review. *International J. of Ecology and Environmental Science* 38(1) 19-37
- Loveland, P.J., T.R.E. Thompson, J. Webb, B. Chambers, C. Jordan, J. Stevens, F. Kennedy, A. Moffat, K.W.T. Goulding, S.P. McGrath, E. Paterson, H. Black, dan M. Hornung. 2002. Identification and development of a set of national indicators for soil quality. R&D Technical report P5-053/2/TR, Environment Agency, Swindon.
- McSweeney, K. dan I.J. Jansen. 1984. Soil structure and associated rooting behavior in minesoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:607-612
- Mulyanto, Budi. 2008. Kelembagaan Pengelolaan Kawasan Pasca Tambang. Makalah Seminar dan Workshop Reklamasi dan Pengelolaan Kawasan Pascapenutupan Tambang. Pusdi Reklamatam, Bogor. 22 Mei 2008
- Mukherjee, A. dan R. Lal. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS One* 9(8): e105981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>.
- Munawar. 1999. Coal-mine Soil Reclamation and Its Possible Agricultural Uses in Bengkulu. *Pros. Sem. Toward*

- Sustainable Agriculture in Humid Tropics Facing 21st Century 107-124.
- Rachman, A., S.H. Anderson, E.E. Alberts, A.L. Thompson, dan C.J. Gantzer. 2008. Predicting runoff and sediment yield from a stiff-stemmed grass hedge system for a small watershed. *Trans. ASABE* Vol. 51(2):425-432.
- Romig, D.E., M.J. Garlynd, dan R.F. Harris. 1999. Farmer-based assessment of soil quality: A soil health scorecard. p. 26-39. *In* J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Scott, H. Don. 2000. *Soil Physics: Agricultural and environmental applications*. Iowa State University Press.
- Seybold, C.A., R.B. Grossman, H.R. Sinclair, K.M. McWilliams, G.R. Struben, dan S.L. Wade. 2004. Evaluating soil quality on reclaimed coal mine soils in Indiana. Paper was presented at the 2004 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation and the 25th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force. April 18-24, 2004. Lexington, KY.
- Sparling, G.P. dan L.A. Schipper. 2002. Soil quality at a national scale in New Zealand. *J. Environ. Qual.* 31:1848-1856.
- Subowo, G. 2012. Pemberdayaan sumberdaya hayati tanah untuk rehabilitasi tanah Ultisols terdegradasi. *J. Sumberdaya Lahan* Vol 6 (2) 79 – 88.
- Sumarno. 2012. Konsep pelestarian sumber daya lahan pertanian dan kebutuhan teknologi. *IPTEK Tanaman Pangan* 7(2): 130-141.
- Widiatmaka, Suwarno, dan Nandi, K. 2010. Karakteristik pedologi dan pengelolaan revegetasi lahan bekas tambang nikel: Studi kasus lahan bekas tambang nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *J. Tanah dan Lingkungan*. 12 (2) 1-10.
- Wong, M.H. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50,775–780.