

TECHNOSOL TANAH MASA DEPAN

TECHNOSOL THE FUTURE SOIL OF LIFE

(Review)

Dian Pratama Putra Suwarno

Institut Pertanian STIPER Yogyakarta,
Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman.
Email korespondensi: *dianswn93@gmail.com*

ABSTRACT

Land as a medium of all living things that live above or below, humans themselves are very dependent on the land because without the land there will be no plants and food products that are useful for human life. Environmental damage is increasingly occurring today, making the elimination of the use of land that had been for a living being to be disturbed. Technosol is a land where there is a very large human influence, former land of buildings, building debris, ex-mining and land that needs to be reclaimed can also be categorized as Technosol soil. The function of this land in the future is crucial because it can be useful not only as a means of reclamation, but also as a living place or even living as a profitable agricultural land.

Keywords: *Technosol, soil reclamation, environmental, microorganism.*

PENDAHULUAN

Pemahaman fungsi tanah sebagai media tumbuh dimulai sejak peradaban manusia mulai beralih dari manusia pengumpul pangan yang tidak menetap menjadi manusia pemukim yang mulai melakukan pemindahan bagian tanaman pangan/nonpangan ke areal dekat mereka tinggal. Pada tahapan berikutnya, mulai berkembang pemahaman fungsi tanah sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman tersebut, sehingga produksi yang dicapai tanaman tergantung pada kemampuan

tanah dalam penyediaan nutrisi ini (kesuburan tanah).

Dengan berkembangnya areal pemukiman/perkotaan, terjadi konflik kepentingan antara kebutuhan lahan untuk sarana transportasi dan pendirian bangunan dengan kebutuhan lahan pertanian yang seringkali menyebabkan tergesurnya lahan pertanian yang produktif semata – mata karena alasan finansial.

Dinamika dan evolusi dari alam terhimpun dalam definisi bahwa tanah adalah bahan mineral yang tidak padat terletak dipermukaan bumi, yang telah

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

dan akan tetap mengalami perlakuan dan dipengaruhi oleh faktor – faktor genetik dan lingkungan yang meliputi bahan induk, iklim (termasuk kelembaban dan suhu), organisme (makro dan mikro) dan topografi pada suatu periode waktu tertentu. Satu penciiri beda utama adalah tanah ini secara fisik, kimiawi dan biologis, serta ciri – ciri lainnya umumnya berbeda dibanding bahan induknya, yang variasinya tergantung pada faktor – faktor pembentuk tanah tersebut. (Hanafiah, 2005).

Pada bagian akhir abad ke-18, kita memasuki era geologis, yang disebut sebagai *Anthropocene*, dimana aktivitas manusia telah menjadi kekuatan pendorong utama yang mempengaruhi lingkungan (Crutzen, 2002). Faktor-faktor seperti pertumbuhan penduduk yang dramatis dan modifikasi penggunaan lahan berikutnya, urbanisasi besar-besaran, peningkatan penggunaan energi, intensifikasi pertanian, dan perubahan iklim telah menyebabkan perubahan lingkungan yang signifikan dan cepat secara umum dan lebih khusus dari tanah (Blum & Eswaran, 2004;

Bullock, 2005; Norra, 2009). *Anthropocene* juga ditandai dengan meningkatnya ekspektasi sosial terhadap tanah, seperti yang diungkapkan oleh munculnya konsep seperti layanan ekosistem, kualitas tanah, atau keamanan tanah. Technosol sangat erat kaitannya dengan pengaruh manusia yang berkembang pada lingkungan serta perkembangan reklamasi tanah dan aktivitas konstruksi tanah seperti atap hijau (*Green Roof*), dekontaminasi situs, atau rekayasa ekologi (Morel *et al.*, 2014; Séré *et al.*, 2008; Shein *et al.*, 2009). Technosol adalah tanah khas Daerah Perkotaan, Industri, Lalu Lintas, Pertambangan, dan Militer. Dengan demikian, Technosols adalah perwakilan tanah dari *Anthropocene* (Certini & Scalenghe, 2011) dan meningkatkan pengetahuan tentang evolusi mereka dan kemungkinan masa depan sangat diperlukan untuk lebih memahami isu-isu utama pada era ini.

Menurut definisi, Technosols dihasilkan dari aktivitas manusia. Memang, mereka adalah objek yang sengaja dibuat atau dimodifikasi oleh

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

manusia untuk memenuhi kebutuhan khusus seperti pengelolaan dan penyimpanan limbah, transportasi, dukungan kegiatan industri, fondasi bangunan, atau pertumbuhan vegetasi. Sebagai tempat berkelangsungannya ekosistem yang lebih luas (termasuk penyediaan unsur hara, pengaturan ketetapan kesuburan, dan kebudayaan) sekarang banyak diharapkan dari Technosols (Lehmann, 2006; Morel *et al.*, 2014; Pouyat *et al.*, 2010). Mengintegrasikan hal tersebut dipasok oleh Technosols sangat penting untuk merancang teknik rehabilitasi berkelanjutan, perencanaan kota, dan manajemen penggunaan lahan (Morel *et al.*, 2014). Secara lebih umum, dalam lingkungan yang berubah cepat seperti *Anthropocene*, ada kebutuhan untuk mengevaluasi keberlanjutan tanah dan kemampuan mereka untuk menyediakan berbagai macam dan keanekaragaman jasa ekosistem untuk masa depan (Blum, 2005; Doré *et al.*, 2011 ; Kesavan & Swaminathan, 2008; Kibblewhite *et al.*, 2008; King, 2006; Richter & Markewitz, 2001).

Dalam beberapa dekade terakhir peran manusia dalam pembentukan

tanah telah menjadi keprihatinan besar di antara para ilmuwan tanah (Dudal *et al.*, 2002). Manusia sekarang dianggap sebagai faktor pembentuk tanah dan kolonisasi *Anthropocene* yang diakui sebagai proses pembentuk tanah (Bockheim dan Gennadiyev, 2000; Bryant dan Galbraith, 2003) yang terdiri dari kumpulan proses geomorfik dan pedologi yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Manusia ini kegiatan termasuk kerja dalam, pemupukan intensif, penambahan bahan asing, irigasi dan budidaya basah (sawah) (Kosse, 1990).

Peran, Manfaat dan Fungsi Technosol

Menurut Lehmann (2006) tanah Technosol merupakan tanah perkotaan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kualitas hidup di daerah perkotaan. Bahkan tidak ada tanah lain yang digunakan dengan intensitas seperti itu dalam hal jumlah pengguna per unit area sebagai tanah perkotaan. Tanah perkotaan juga merupakan objek yang sangat menarik karena di masa depan yang dapat diprediksi, diantisipasi bahwa ukuran

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

daerah perkotaan akan terus meningkat (PBB, 1995). Selanjutnya, tanah perkotaan melakukan sejumlah fungsi yang menguntungkan. Manfaat tanah perkotaan mirip dengan tanah alami, tetapi sejumlah besar manusia dipengaruhi oleh keuntungan ini. Ini berlaku dalam cara tertentu di lingkungan perkotaan yang rapuh daripada di daerah pedesaan yang lebih alami. Arti dari setiap fungsi yang menguntungkan dapat berbeda secara substansial antara kota-kota yang berbeda dan antara bagian-bagian yang berbeda di dunia. Fungsi menguntungkan tanah perkotaan dapat dibagi menjadi empat kelompok yaitu: pencegahan bahaya, penyediaan sumber air dan makanan terbarukan, kontribusi untuk infrastruktur perkotaan dan kualitas lingkungan dan warisan budaya.

Di ruang hijau masa depan, telah diputuskan untuk membuat tanah yang dibangun, yang disebut Technosols, menggunakan cakrawala tanah yang kurang atau bahkan tidak terkontaminasi yang terkait dengan limbah organik dan produk samping pembongkaran bekas bangunan.

Proses konstruksi tanah ini, yang memungkinkan daur ulang limbah dan remediasi tanah perkotaan, terdiri dari dalam campuran lumpur dan kompos limbah hijau asli yang diletakkan di atas lapisan timbunan sampah yang terbuat dari produk sampingan penghancuran (dekomposisi) (Burrow, 2017).

Daur ulang limbah perkotaan untuk menciptakan Technosols sekarang dianggap sebagai peluang ekonomi menarik bagi perusahaan-perusahaan pembongkaran di sektor bangunan. Untuk otoritas lokal, ini juga merupakan alternatif untuk menggunakan tanah alami yang diimpor dari daerah pedesaan untuk mengembangkan ruang hijau perkotaan.

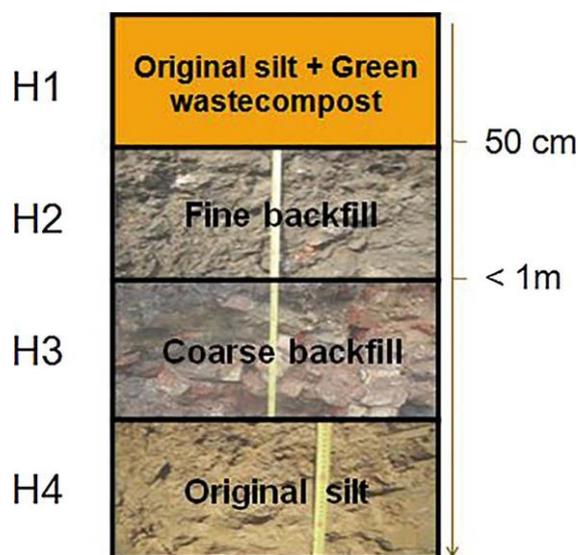
Memang, Technosols dapat diimplementasikan untuk reklamasi ekologi lahan terkontaminasi yang terdegradasi (Séré *et al.*, 2008). Karena Technosols dapat dianggap sebagai tanah buatan (Leguedois *et al.*, 2016), mereka menyediakan model eksperimental yang ideal untuk menilai peran bahan induk dan organisme pada pembentukan dan

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

fungsi tanah. Bahan mentah yang menyusun Technosols dapat dengan cepat berevolusi di tanah aktif secara biologi setelah kolonisasi mereka oleh fauna (Pouyat *et al.*, 2010; Frouz *et al.*, 2013; Vergnes *et al.*, 2017).

Dengan demikian, terjadinya tanah Technosol merupakan sebuah usaha dari manusia yang bertujuan untuk menumbuhkan dan

meningkatkan suatu kualitas hidup mereka. Technosol bukan hanya untuk reklamasi atau tanah yang akan direklamasi, akan tetapi tanah tersebut dapat menjadi sebuah ladang uang atau keuntungan karena dapat ditempatkan sebagai tanah yang dapat diusahakan yang memang membutuhkan waktu dan usaha lebih agar dapat lebih bermanfaat.



Gambar 1. Profil tanah Technosol bekas bahan bangunan (Burrow, 2017).

Technosol Sebagai Lingkungan Mahluk Hidup

Pada bagian pendahuluan, sudah dijelaskan bahwasannya, tanah Technosol adalah sebagai media yang ditujukan untuk berbagai keperluan, mulai dari tanah yang dipergunakan untuk Daerah Perkotaan, Industri, Lalu Lintas, Pertambangan, dan Militer.

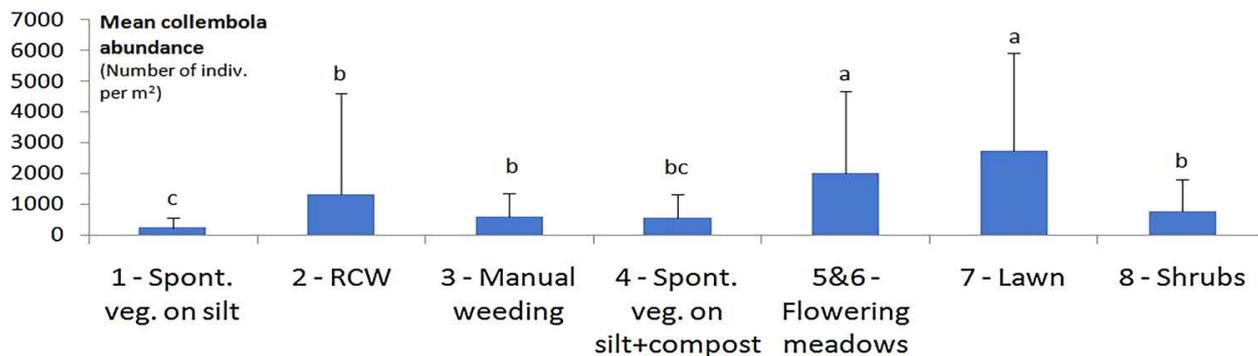
Lalu bagaimana Technosol yang sebagai tempat makhluk hidup tinggal? Sebetulnya ilmu untuk menjawab pertanyaan tersebut sudahlah sangat banyak, akan tetapi masih banyak yang menerapkannya dengan tidak tepat dan sembarangan karena kurangnya referensi yang dapat dikaitkan untuk bahan tersebut.

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

Reklamasi lahan tidaklah semudah yang dibayangkan, harus melihat “*time lapse*” atau penggunaan waktu yang tepat karena bukanlah waktu yang cepat untuk melakukan reklamasi lahan. Percobaan yang dilakukan oleh Burrow (2017) adalah membangun koloni makhluk hidup yang fungsinya untuk dapat menghidupkan lingkungan sekitar lahan yang dipengaruhi oleh manusia tersebut (tanah bekas tumpukan bangunan perkotaan). Percobaan pada lahan yang diperlakukan secara alami dengan macam makrofauna ternyata belum memiliki taksa makrofauna yang berkecukupan, selama waktu 20 bulan pertama kolonisasi Technosol hanya ada 5 spesies cacing tanah, 27 carabid dan 4 kutu kayu dengan demikian hal ini menunjukkan bahwasannya pada lingkungan daerah terdapatnya tanah tersebut masihlah sangat miskin akan fauna dasar yang sangat berperan penting untuk sebagai dekomposer alamiah yang terdapat di alam. Koloni yang meningkat cepat pada waktu 20 bulan berjalan adalah hexapoda dengan jenis *Collembola* dan cacing tanah yang juga

berkembang setelah 20 bulan awal kolonisasi memiliki sebaran yang baik, dengan demikian artinya cacing tanah dapat berkembang dengan baik pada lahan tempat tanah Technosol berada.

Pada penelitian Burrow (2017) juga menyatakan pada lingkungan hidup dari hasil-hasil awal menunjukkan bahwa Technosol yang dibangun dapat menjadi tuan rumah komunitas-komunitas pedofilia yang cukup terdiversifikasi mengingat konteks perkotaan. Komunitas-komunitas ini menunjukkan beberapa kesamaan dengan sampel-sampel di sekitar plot eksperimental tetapi juga menyajikan fitur-fitur khusus mengingat adanya filter lingkungan seperti dispersi, kendala biotik dan abiotik (Belyea dan Lancaster, 1999; Keddy, 1992). Meningkatnya koloni makhluk hidup yang terdapat pada percobaan tersebut juga mempengaruhi peningkatan hasil meso ataupun mikro fauna yang ada dipermukaan horizon atas tanah Technosol yang diteliti terutama *Collembola* yang meningkat signifikan dan meningkatkan dekomposisi sersah.



Gambar 2. Status komunitas *Collembola* yang dapat hidup pada berbagai praktik manajemen yang saling berbeda setiap m²

Dengan demikian, hasil percobaan yang dilakukan oleh Burrow (2017) menunjukkan bahwa Technosol dapat menjadi tuan rumah bagi komunitas pedofilia yang cukup beragam. Namun demikian, rekolonisasi tanah yang dibangun seperti itu adalah proses jangka panjang yang membutuhkan manajemen yang tepat dan refleksi pada integrasi mereka (makhluk hidup) dalam infrastruktur perkotaan sehingga dapat memberikan hasil yang maksimal serta lahan yang dilakukan reklamasi dapat dimanfaatkan untuk menjadi tempat budidaya tanaman.

Percobaan selanjutnya yang dilakukan oleh Deeb *et al.*, (2017) selama 5 bulan membuahkan hasil yang cukup signifikan. Penelitian tersebut bertujuan untuk membangun fisik tanah agar dapat menjadi lebih

baik dalam proses penetrasi akar tanaman ataupun lingkungan tempat makhluk hidup. Percobaan ini menggunakan cacing tanah dengan jenis *Aporrectodea caliginosa* yang mampu mendekomposisikan bahan organik dan mineral secara optimal (Curry and Schmidt, 2007) sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam percobaan tersebut karena cacing dapat mendekomposisi bahan – bahan organik yang kemudian bahan organik tersebut berguna untuk tanaman yang berjenis rerumputan *Lolium*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan adanya kedua makhluk hidup tersebut, keduanya dapat saling merugikan dan menguntungkan, akan tetapi sangat menguntungkan pada sisi kesuburan tanah dan kemungkinan perbaikan agregat tanah.

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

Cacing tanah yang sebarannya disekitar lahan tersebut terganggu pergerakannya karena adanya tanaman *Lolium* yang tumbuh ditambah dengan sebaran agregat tanah dengan ukuran 3,15 dan 5 mm sangat mengganggu pergerakan cacing tanah, namun dalam hal fisik tanah cacing tanah dapat memecah agregat hingga meningkatkan stabilitas agregat tanah yang lebih baik. Dengan demikian, cacing tanah sangat berperan aktif untuk memperbaiki hal tersebut yang kemudian dapat juga meningkatkan status keharaan tanah sehingga tanaman dapat hidup secara optimal (Deeb *et al.*, 2017).

Tanah membentuk fondasi bagi banyak proses dan interaksi ekologis, seperti siklus nutrisi, distribusi tumbuhan dan hewan dan akhirnya lokasi tempat tinggal manusia (Brady dan Weil, 1999). Meskipun tanah di lanskap perkotaan dan urbanisasi sebagian besar diubah oleh aktivitas manusia, mereka menyediakan banyak layanan ekosistem yang sama dengan tanah yang tidak berubah (Effland and Pouyat, 1997). Oleh karena itu, tampak bahwa tanah lanskap

perkotaan dapat mendukung lebih banyak spesies tanaman daripada tanah asli yang mereka gantikan, meskipun dengan beberapa spesies membutuhkan suplemen air dan nutrisi. Bahkan tanpa suplemen, tanah perkotaan tampaknya memiliki sumber daya yang cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Misalnya, pengamatan permukaan tanah di kota Baltimore, Amerika Serikat telah menunjukkan bahwa karakteristik kimia dan fisik menurun dalam berbagai persyaratan untuk sebagian besar tanaman (Pouyat *et al.*, 2007). Secara khusus, hanya 10% dari lokasi sampel memiliki pengukuran kerapatan curah lebih besar dari $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$. Selain itu, konsentrasi kalium, magnesium, dan fosfor dalam banyak kasus cukup untuk pertumbuhan tanaman, sementara konsentrasi kalsium melebihi kisaran yang direkomendasikan untuk tanaman hortikultura di wilayah tersebut. Para penulis menyimpulkan bahwa akumulasi Ca di tanah-tanah ini terjadi karena penggunaan luas beton dan gipsum sebagai bahan konstruksi, yang akhirnya terdegradasi dan terdistribusi

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

ulang dalam lanskap (Lovett *et al.*, 2000; Juknys *et al.*, 2007).

Biota tanah merupakan komponen penting dari ekosistem tanah, secara aktif berkontribusi terhadap pembentukan tanah dengan mengubah sifat fisikokimia. Semua taksa invertebrata utama terwakili di tanah, dan di sebagian besar ekosistem terestrial, keragaman spesies tertinggi ditemukan di tanah. Banyak taksa tanah yang kurang dikenal, namun spesies baru sebenarnya telah ditemukan dan dijelaskan dalam lanskap perkotaan (Csuzdi dan Szlavecz, 2002; Foddai *et al.*, 2003; Kim dan Byrne, 2006). Keberhasilan adaptasi fauna tanah ke kondisi lingkungan perkotaan melibatkan banyak sifat fisiologis dan perilaku. Organisme individu dapat mengatasi tekanan lingkungan melalui perilaku (misalnya, migrasi, pergeseran preferensi makanan, mencari microhabitats yang lebih menguntungkan) atau fisiologis (misalnya, mengatur penyerapan dan penyimpanan logam berat) mekanisme (Ireland, 1976; Alikhan, 2003; Lev *et al.*, 2008).

Technosol Sang “Urban and Man Made Soil”

Bahasan sebelumnya telah dikatakan bahwa tanah Technosol merupakan “Urban Soil” atau tanah perkotaan yang dimanfaatkan sebagai daerah tempat makhluk hidup saling bersimbiosis, tanah inipun sangat berpengaruh dari tangan manusia, tanpa usaha tanah ini tidak akan dapat bermanfaat dan menguntungkan. Tanah ini sangat bermanfaat sebagai media tanam bagi tetanaman yang ada dikota contohnya tanah taman, seperti yang sudah disebutkan diatas yang mengatakan bahwa tanah ini dapat mendukung banyak spesies hidup yang bermanfaat juga bagi sekitar dan kesuburan tanah.

Sangat jelas terlihat pada Gambar 3. Tanah Technosol sangat berperan dalam pembangunan daerah perkotaan karena dapat meningkatkan kualitas hidup daerah tersebut serta membentuk sebuah keindahan yang alamiah, selain itu ada beberapa contoh modeling untuk reklamasi lahan yang ada pada pertambangan batu kapur yang terdapat di Itali pada proposal penelitian Buondonno *et al.*,

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

(2018) menyatakan bahwa daerah pertambangan tersebut dapat direklamasi dengan pengaruh dari manusia atau Man Made Soil yang artinya tanah tersebut juga termasuk kedalam kategori tanah Spolic Technosol yaitu tanah dengan ketebalan horizon lebih dari 20 cm dengan kedalaman lapisan setiap horizon dipastikan dibawah 100 cm

dengan komposisi diatas 20% adalah bahan campuran yang dipengaruhi oleh manusia dan 35% komposisi dari campuran puing bangunan, bekas pertambangan dan pengerukan. Lahan yang direklamasi bertujuan untuk dapat me-revegetasi daerah sekitar perbukitan kapur tersebut.



Gambar 3. Tetanaman yang hidup pada daerah perkotaan (animasi).

Sumber: <http://www.gardenmatrial.com/2016/09/ruang-terbuka-hijau-masa-depan.html>

Legum merupakan tanaman awal yang dapat digunakan dalam strategi reklamasi lahan, legum tumbuh sangat cepat sehingga proses reklamasi yang benar dapat terlaksana. Tujuan awal proposal penelitian yang dilakukan oleh Buodonno *et al.*, (2018) adalah selain untuk membentuk lingkungan baru yang berkualitas, juga dapat digunakan sebagai tempat gembala

domba untuk masyarakat sekitar, setelah penggunaan lahan sebagai tambang kapur, lahan tersebut yang akan direklamasi akan dimanfaatkan kembali sebagai tempat pertanian.

Tanah tersebut haruslah bermanfaat bagi lingkungan, karena semakin sempitnya lahan pertanian yang dikorbankan untuk keperluan manusia, perbaikan lingkungan juga

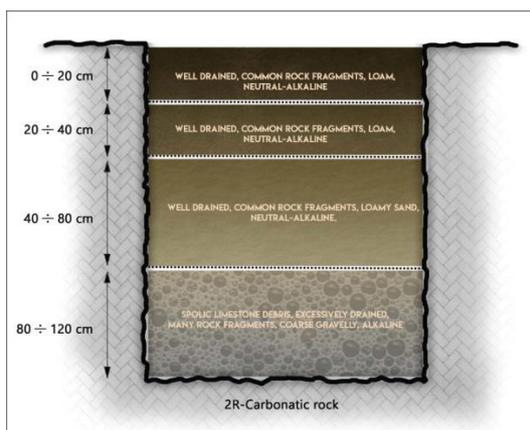
Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

harus sejalan dengan hal tersebut sehingga tidak ada “jonjing” antar penggunaan lahan dan lingkungan yang harus dipelihara, Technosol merupakan tanah yang sangat berpengaruh apabila diterapkan pada

tempat dan lokasi yang tepat sehingga sangat berguna dan ketika ditambahkan dengan nutrisi yang sesuai tanah ini akan sangat berpotensi bagi kehidupan manusia.



Gambar 4. *Status quo* dari lokasi tempat reklamasi (Buodonno *et al.*, 2018)



Gambar 5. Lapisan horizon perencanaan untuk reklamasi lahan tambang kapur (Buodonno *et al.*, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Alikhan, M. 2003. *The physiological consequences of metals and other environmental contaminants to terrestrial isopod species*. p. 263–285. In A. Sfenthourakis et al. (ed.) *The biology of terrestrial isopods*. Crustaceana Monogr. 2. Brill, Leiden, the Netherlands.
- Belyea, L.R., Lancaster, J., 1999. *Assembly rules within a contingent ecology*. *Oikos* 86 (3), 402–416.
- Blum, W., Eswaran, H., 2004. Editorial: soils and sediments in the Anthropocene. *J. Soils Sediments* 4, 71.
- Blum, W., 2005. Functions of soil for society and the environment. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 4, 75–79.
- Bullock, P., 2005. *Climate change impacts*. In: Hillel, D. (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, Oxford, pp. 254–262.
- Bockheim, J.G., Gennadiyev, A.N., 2000. *The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base*. *Geoderma* 95, 53–72.
- Bryant, R.B., Galbraith, J.M., 2003. *Incorporating anthropogenic processes in soil classification*. In: Eswaran, et al. (Ed.), *Soil Classification. A Global Desk Reference*. CRC Press, Boca Raton, FL-USA, pp. 57–66.
- Boundonno, A. Capra, G.F. Di Palma, D. Grilli, E. Vigliotti, R.C. 2018. Pedotechnologies for the Environmental Reclamation of limestone quarries. A protocol proposal. *Land Use Policy* 71 (2018) 230–244.
- Burrow, C. 2017. Influence of connectivity & topsoil management practices of a constructed technosol on pedofauna colonization: A field study. *Applied Soil Ecology Journal*.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Certini, G., Scalenghe, R., 2011. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene* 21, 1269–1274.
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature* 415, 23.
- Csuzdi, C., and K. Szlavecz. 2002. *Diplocardia patuxentis*, a new earthworm species from Maryland, North America (Oligochaeta: Acanthodrilidae). *Ann. Hist. Nat. Musei Natl. Hungarici* 94:193–208.
- Curry, J.P., Schmidt, O., 2007. The feeding ecology of earthworms – a review. *Pedobiologia* 50, 463–477.

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

- Deeb, M., Desjardins, T., Podwojewski, P., Pando, A., Blouin, M., Lerch T.Z. 2017. Interactive effects of compost, plants and earthworms on the aggregations of constructed Technosols. *Geoderma* 305 (2017). 305 – 313.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tiftonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *Eur. J. Agron.* 34, 197–210.
- Dudal, R., Nachtergaele, F.O., Purnell, M.F., 2002. The human factor of soil formation. *Proc.17th World Congress of Soil Science, Symposium 18, vol.11. paper 93, Bangkok, Thailand.*
- Effland, W.R., and R.V. Pouyat. 1997. The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. *Urban Ecosyst.* 1:217–228.
- Foddai, D., L. Bonato, L. Pereira, and A. Minelli. 2003. Phylogeny and systematics of the Arrupinae (Chilopoda: Geophilomorpha: Mecistocephalidae) with the description of a new dwarfed species. *J. Nat. Hist.* 37:1247–1267.
- Hanafiah, K. A.2005. *Dasar – Dasar Ilmu Tanah.* Rajawali Pers. Jakarta.
- Ireland, M. 1976. Excretion of lead, zinc and cadmium in *Dendrobaena rubida* (Oligochaeta) living in heavy metal polluted sites. *Soil Biol. Biochem.* 8:347–350.
- Juknys, R., J. Zaltauskaite, and V. Stakenas. 2007. Ion fluxes with bulk and throughfall deposition along an urban–suburban–rural gradient. *Water Air Soil Pollut.* 178:363–372.
- Keddy, P.A., 1992. Assembly and response rules - 2 goals for predictive community ecology. *J. Veg. Sci.* 3, 157–164.
- Kesavan, P.C., Swaminathan, M.S., 2008. Strategies and models for agricultural sustainability in developing Asian countries. *Philos. Trans. R. Soc. B* 363, 877–891.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philos. Trans. R. Soc. B* 363, 685–701.
- King, D., 2006. Research for sustainable soil management. In: Hartemink, A.E. (Ed.), *The Future of Soil Science.* IUSS, pp. 68–70 (<http://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/home/PDFs/Future%20of%20Soil%20Science.pdf>.) diakses pada 11 Juni 2018.

- Kosse, A.D., 1990. Diagnostic horizons in Anthrosols. In: Rozanov, B.G. (Ed.), *Soil Classification, Reports on the International Conference on Soil Classification*, Centre for International Projects. USSR State Committee for Environmental Protection, Moscow, pp. 264–273.
- Leguedois, S., Séré, G., Auclerc, A., Cortet, J., Huot, H., Ouyard, S., Watteau, F., Schwartz, C., Morel, J.-L., 2016. Modelling pedogenesis of technosols. *Geoderma* 262, 199–212.
- Lehmann, A., 2006. Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World Reference Base for Soil Resources). *Int. Agrophys.* 20, 129–134.
- Lev, S., E. Landa, K. Szlavecz, R. Casey, and J. Snodgrass. 2008. Application of synchrotron methods to assess the uptake of roadway derived Zn by earthworms in an urban soil. *Mineral. Mag.* 72:33–37.
- Lovett, G.M., M.M. Traynor, R.V. Pouyat, M.M. Carreiro, W.X. Zhu, and J.W. Baxter. 2000. Atmospheric deposition to oak forests along an urban-rural gradient. *Environ. Sci. Technol.* 34:4294–4300.
- Morel, J., Chenu, C., Lorenz, K., 2014. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *J. Soils Sediments* 1–8.
- Norra, S., 2009. The astysphere and urban geochemistry — a new approach to integrate urban systems into the geoscientific concept of spheres and a challenging concept of modern geochemistry supporting the sustainable development of planet earth. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 16, 539–545.
- PBB: Perserikatan Bangsa – Bangsa, 1995. Report of the International Conference on Population and Development in Cairo, September 5-13, 1994, 1-197, New York, United Nations Publications Sales, No. 95.XIII.18, 197.
- Pouyat, R.V., K. Belt, D. Pataki, P.M. Groffman, J. Hom, and L. Band. 2007. Effects of urban land-use change on iogeochemical cycles. p. 45–58. In P. Canadell et al. (ed.) *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer, New York.
- Pouyat, R.V., Szlavecz, K., Yesilonis, I.D., Groffman, P.M., Schwarz, K., 2010. Chemical, physical, and biological characteristics of urban soils. *Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am. Agronomy Monograph* vol. 55, pp. 119–152 (Chap. 5).
- Richter, D.d., Markewitz, D., 2001. *Understanding Soil Change. Soil Sustainability Over Millenia*. Cambridge University Press.

Dian Pratama Putra Suwarno: *Technosol The Future Soil of Life*

Séré, G., Schwartz, C., Ouvrard, S., Sauvage, C., Renat, J.C., Morel, J.L., 2008. Soil construction: a step for ecological reclamation of derelict lands. *J. Soils Sediments* 8, 130–136.

Shein, E., Shcheglov, D., Umarova, A., Sokolova, I., Milanovskii, E., 2009. Structural status of technogenic soils and the development of preferential water flows. *Eurasian Soil Sci.* 42, 636–644.