

Polusi Tanah dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia

Soil Pollution and Its Impact on Human Health

Mirawanty Amin

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Utara

Jl. Kampus Pertanian Kalasey, Kecamatan Mandolang, Kabupaten Minahasa Utara

Email: mirawantyamin@gmail.com

Diterima 28 November 2020, Direview 30 Desember 2020, Disetujui dimuat 21 Mei 2021, Direview oleh Helena Susilawati dan Wawan

Abstrak. Polusi tanah merupakan masalah lingkungan yang sering dihadapi. Polusi tanah mengacu pada keberadaan bahan kimia atau zat yang hadir dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari batas normal serta memiliki dampak negatif pada makhluk hidup dan lingkungan. Sumber polusi tanah diantaranya berasal dari kegiatan pertambangan, limbah rumah tangga, kegiatan pertanian dan masih banyak lagi. Apabila tidak dilakukan tindakan pencegahan atau remediasi dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama bagi kesehatan manusia. Berbagai macam metode remediasi dapat dilakukan dengan metode berbasis sains, seperti peningkatan aktivitas mikroba (*bioremediasi*) dan penggunaan vegetasi untuk menghilangkan kontaminan (*fitoremediasi*). Metode ini dianggap dapat menjadi teknik pengendalian tanah tercemar karena mudah dan ekonomis untuk dilakukan. Tindakan pencegahan lain yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan pestisida nabati. Arang aktif dapat juga digunakan untuk mengatasi masalah polusi tanah akibat residu pestisida. Arang aktif diketahui memiliki daya serap yang tinggi terhadap pencemar residu pestisida. Diharapkan tulisan ini dapat memberikan informasi tentang polusi tanah dan dampaknya terhadap kesehatan manusia serta tindakan pencegahannya.

Kata kunci: *Bioremediasi, fitoremediasi, kesehatan manusia, polusi tanah, polutan*

Abstract. *Soil pollution is a common environmental problem. It refers to the presence of exceeding concentration of chemicals or substances than the normal limit that harm living things and environment. Sources of soil pollution are mining activities, household waste, agricultural activities, and many more. Preventive or remediation activities are important to avoid the negative impacts on environment, especially on human health. Various scientific-based remediation methods can be applied such as increasing microbial activity (bioremediation) and the use of vegetation to remove contaminants (phytoremediation). These are more preferred methods for controlling soil pollutant because easier and economically applicable. Another preventive method is pesticides application. Activated charcoal can also be used to solve soil pollution caused by pesticide residues. Activated charcoal has high ability to absorb pesticide residue. Hopefully, this paper could provide information about soil pollution and its impact on human health as well as the preventive methods.*

Keywords: *bioremediation, fitoremediation, human health, pollutant, soil pollution*

PENDAHULUAN

Tanah merupakan bagian penting dari lingkungan dan sangat menunjang untuk kehidupan makhluk hidup. Tanah juga mengontrol air dan zat kimia antara atmosfer dan bumi serta bertindak sebagai sumber penyimpan gas seperti oksigen dan karbon dioksida di atmosfer. Tanah tidak hanya mencerminkan proses

alam, tetapi juga merekam aktivitas manusia baik saat ini maupun masa lalu (Mishra *et al.* 2016).

Akan tetapi, menyimpang dari kewajiban kita sebagai manusia untuk menjaga kelestarian alam, yang terjadi adalah aktivitas manusia sering menyebabkan kerusakan alam. Kerusakan alam yang ditimbulkan dari kegiatan manusia diantaranya polusi tanah. Polusi tanah merupakan masalah pencemaran lingkungan yang sering dihadapi. Polusi tanah adalah penurunan produktivitas tanah karena adanya polutan tanah

(Ranieri *et al.* 2016). Polusi tanah dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang atau jangka pendek dengan menurunnya pertumbuhan tanaman atau hewan, dapat mengganggu kesehatan lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia (Jurewicz *et al.* 2010; Havugimana *et al.* 2017).

Aktivitas manusia seperti proses industri, pertambangan, limbah rumah tangga, obat-obatan manusia dan hewan merupakan penyumbang kontaminan terbanyak di tanah. Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai logam berat dan bahan kimia organik sintetis sebagai kontaminan utama. Tanah juga mengandung sejumlah besar kontaminan biologis seperti patogen, parasit yang berdampak terhadap kesehatan manusia (Burgess 2013).

Kegiatan yang menyebabkan polusi tanah jika dilakukan terus-menerus tanpa adanya tindakan pencegahan atau remediasi akan berdampak terhadap lingkungan ataupun kesehatan tanah itu sendiri. Kesehatan tanah merupakan kunci fungsi ekosistem untuk mempertahankan aktivitas biologis, meningkatkan kualitas udara dan lingkungan air serta menjaga kesehatan tanaman, hewan dan manusia (Karlen *et al.* 2003; Doran dan Zeiss 2000).

Untuk menjaga kesuburan dan produktivitas tanah dalam menunjang kehidupan makhluk hidup, diperlukan tindakan pencegahan. Dengan demikian dapat meminimalisir pencemaran lingkungan dan dapat meningkatkan kesehatan manusia.

POLUSI TANAH

Polutan dan Polusi

Agen atau pembawa yang menyebabkan polusi lingkungan disebut polutan. Polutan dapat didefinisikan sebagai zat fisik, kimia atau biologi yang secara tidak sengaja dilepaskan ke lingkungan dan secara langsung ataupun tidak langsung berbahaya bagi manusia dan organisme hidup lainnya (Havugimana *et al.* 2017), serta dianggap sebagai kontaminan ketika kadar polutan sudah melebihi ambang batas. Beberapa polutan dapat terurai dan jika tidak dapat terurai akan bertahan lama di lingkungan udara, air dan tanah akan tercemar secara berbeda tergantung pada kadar pencemaran yang ditimbulkan oleh polutan. Tanah sebagai “sumber kehidupan” menanggung beban terbesar pencemaran lingkungan. Polutan adalah zat atau energi yang masuk ke lingkungan dan memiliki dampak yang buruk baik dalam jangka panjang ataupun pendek (Doran dan Zess 2000; Boyd 2010; Su *et al.* 2014).

Polusi tanah mengacu pada keberadaan suatu bahan kimia atau zat pada konsentrasi yang lebih tinggi

dari normal yang memiliki efek buruk pada organisme disekitarnya. Polusi tanah seringkali tidak dapat secara langsung dinilai atau dirasakan secara visual, sehingga dapat berbahaya jika tidak dilakukan tindakan pencegahan atau penanggulangan (Rodríguez-Eugenio *et al.* 2018). Polusi tanah merupakan salah satu masalah pencemaran lingkungan yang menjadi perhatian untuk segera dilakukan tindakan. Meningkatnya pabrik-pabrik yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan penduduk semakin hari semakin bertambah, dan tanpa disadari pabrik tersebut menghasilkan limbah yang cukup, dan bila tidak dikelola dengan baik akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan (Zhang *et al.* 2013; Hidayat 2015).

Tanah dan air merupakan dua komponen utama yang menjadi sasaran pencemaran, jika tanah dan air mengalami pencemaran dan masuk ke dalam rantai makanan dan pada akhirnya menuju kepada manusia sebagai konsumen dapat menyebabkan gangguan kesehatan atau penyakit pada manusia (Sudarmaji *et al.* 2006).

Sumber Polusi Tanah

Kegiatan antropogenik merupakan sumber utama pencemaran, seperti bekas lokasi pabrik, pembuangan limbah dan air limbah yang tidak dikelola dengan baik, tempat pembuangan akhir yang tidak terkontrol, aplikasi agrokimia yang berlebihan dan banyak lainnya. Kegiatan seperti penambangan dan peleburan yang dilakukan dengan menggunakan standar lingkungan yang buruk juga merupakan sumber kontaminasi dengan logam berat di banyak wilayah di dunia (Mackay *et al.* 2013; Podolský *et al.* 2015; Strzebońska *et al.* 2017). Penambangan memiliki dampak besar pada tanah, air dan biota sejak zaman kuno (FAO dan ITPS 2015). Banyak kasus yang telah ditemukan terkait tanah yang terkontaminasi akibat kegiatan penambangan di dunia (Alloway 2013). Di Indonesia, penambangan yang dilakukan di Kecamatan Kluet Tengah, Kabupaten Aceh Selatan juga membahayakan seperti terjadinya longsor dan banjir karena tidak adanya topangan air. Sedangkan pada kegiatan pengelolaan bijih emas dilakukan disekitaran rumah warga dimana air limbah tersebut dibuang ke tanah dan dapat berisiko tercemarnya air sumur dan berbahaya bagi kesehatan masyarakat sekitar (Rahmatillah dan Husen 2018).

Kegiatan penambangan dan peleburan melepaskan banyak logam berat dan elemen beracun lainnya ke lingkungan, dan akan bertahan dalam waktu yang lama (Ogundele *et al.* 2017). Limbah pertambangan beracun ditimbun dalam tailing, terutama dibentuk oleh partikel-partikel halus yang memiliki konsentrasi logam berat yang berbeda. Partikel-partikel yang tercemar ini

dapat terbawa oleh angin, air dan terkadang terbawa mencapai tanah pertanian (Mileusnić *et al.* 2014; Kumar dan Maiti 2015).

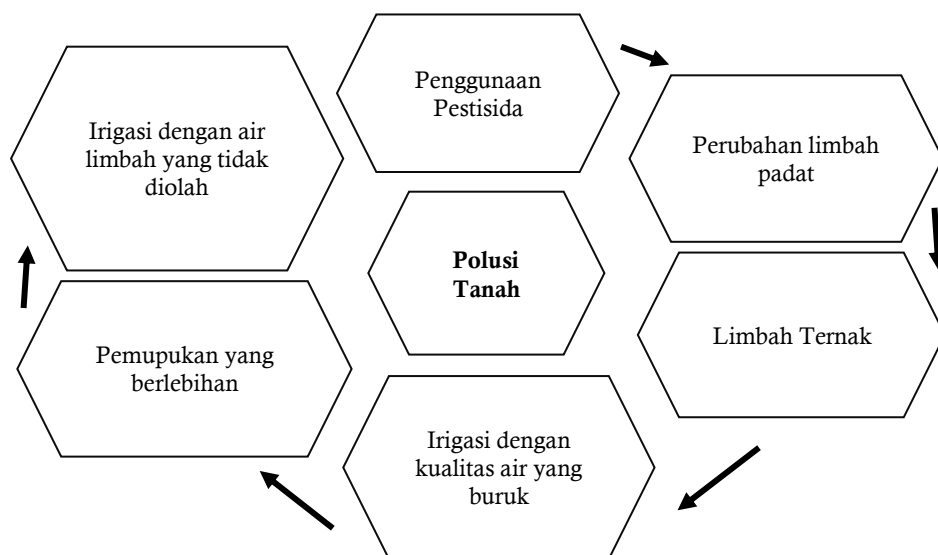
Hasil penelitian di lahan bekas tambang timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung mendapatkan adanya kandungan logam berat yaitu tembaga (*Cu*), timah hitam/timbal (*Pb*), Cadmium (*Cd*) dan Air raksa/Mercuri (*Hg*). Pada tanah pucuk (bagian atas) logam berat yang dijumpai adalah *Cu* dan *Pb*, tidak dijumpai adanya *Cd* dan *Hg*. Logam berat yang mengandung logam berat paling tinggi adalah pada bahan galian dari bagian bawah (Sukarman *et al.* 2020). Selanjutnya Sukarman dan Husnain (2016) dalam penelitiannya di pertambangan emas Gunung Botak, Kabupaten Buru, Provinsi Maluku, bahwa Sianida dan Mercuri (*Hg*) digunakan dalam proses pemisahan emas dari batuan. Sianida dan Mercuri sering dibuang ke saluran air terbuka ketika menambang emas. Sianida secara langsung dapat mematikan jika tertelan.

Pemaparan Sianida ini pada dosis rendah dalam jangka panjang menyebabkan pembengkakan kelenjar gondok di leher. Sementara keracunan oleh Mercuri non organik dapat menyakibatkan terganggunya fungsi ginjal dan hati. Pada lahan bekas tambang batubara di Kalimantan Selatan dijumpai adanya kandungan logam berat terutama *Pb* dan *Hg*. Meskipun secara kuantitas dijumpai dalam jumlah yang belum membahayakan kesehatan manusia, namun jika tidak cepat ditanggulangi dapat terakumulasi dan berbahaya bagi kesehatan manusia maupun terserap oleh tanaman yang dikonsumsi oleh manusia (Sukarman dan Gani 2020).

Pada tempat pembuangan sampah ilegal, sampah

tidak dikelola dengan baik (seperti baterai atau limbah radioaktif) juga dapat menjadi sumber polutan penting (Baderna *et al.* 2011; Swati *et al.* 2014). Polusi diffusi adalah polusi yang tersebar di area yang sangat luas, terakumulasi di tanah dan tidak memiliki sumber yang mudah teridentifikasi. Polusi diffusi terjadi ketika emisi, transformasi dan pengenceran kontaminan di media lain sebelum dipindahkan ke tanah (FAO dan ITPS 2015). Polusi diffusi sangat sulit untuk dianalisis dan melacak sampai sejauh mana polusi diffusi tersebut. Beberapa contoh yang merupakan polusi diffusi adalah tenaga nuklir, pembuangan limbah yang tidak terkendali dan terkontaminasi serta dilepaskan di dekat daerah tangkapan air, penggunaan pestisida dan pupuk pertanian yang juga menambahkan logam berat, polutan organik yang persisten, peristiwa banjir dan erosi tanah (Rodríguez-Eugenio *et al.* 2018). Akhirnya, polusi yang disebabkan oleh kegiatan industri dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia (Yang *et al.* 2014).

Kegiatan yang terkait dengan transportasi di dalam dan sekitar pusat-pusat kota merupakan salah satu sumber utama polusi tanah, seperti halnya emisi dari mesin pembakaran internal yang mencapai tanah pada jarak lebih dari 100 m oleh pengendapan atmosfer dan tumpahan bensin (Mirsal 2008). Percikan yang dihasilkan oleh lalu lintas selama peristiwa hujan dan limpasan, yang mungkin signifikan jika sistem drainase tidak dipelihara dengan baik, dapat mentranslokasikan partikel yang kaya akan logam berat dari korosi bagian kendaraan logam, ban dan abrasi trotoar (Venuti *et al.* 2016; Zhang *et al.* 2015b) dan polutan lain seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, karet dan senyawa yang diolah dengan bahan plastik (Kumar dan Kothiyal



Gambar 1. Sumber polusi tanah pertanian (Rodríguez-Eugenio *et al.* 2018)
Figure 1. Sources of pollution on agricultural soils (Rodríguez-Eugenio *et al.* 2018)

Tabel 1. Logam/metaloid yang diklasifikasikan dalam kelompok berdasarkan potensi rantai makanan melalui penyerapan tanaman (Chaney 1980)

Table 1. Metals/metalloids classified into groups based on their potential food chain through plant absorption (Chaney 1980)

Kelompok 1	Kelompok 2	Kelompok 3	Kelompok 4
Perak (<i>Ag</i>)	Air Raksa (<i>Hg</i>)	Boron (<i>B</i>)	Arsenic (<i>As</i>)
Chromium (<i>Cr</i>)	Timbal (<i>Pb</i>)	Tembaga (<i>Cu</i>)	Cadmium (<i>Cd</i>)
Tin (<i>Sn</i>)		Mangan (<i>Mn</i>)	Cobalt (<i>Co</i>)
Titanium (<i>Ti</i>)		Molibdenum (<i>Mo</i>)	Molibdenum (<i>Mo</i>)
Yttrium (<i>Y</i>)		Nikel (<i>Ni</i>)	Selenium (<i>Se</i>)
Zirconium (<i>Zr</i>)		Seng (<i>Zn</i>)	Thallium (<i>Tl</i>)

2016; Wawer *et al.* 2015). Banyak bahan kimia rumah tangga seperti penggunaan detergen dan produk perawatan pribadi juga berakhir sebagai limbah sanitasi dan berpotensi menjadi kontaminan ke lingkungan (Mansouri *et al.* 2017).

Berbagai sumber polusi tanah pertanian termasuk bersumber dari agrokimia seperti pupuk, pestisida dan kotoran hewan (Gambar 1). Kandungan logam dari sumber agrokimia seperti Tembaga/Copper (*Cu*), Cadmium (*Cd*), Timah hitam/Timbal (*Pb*) dan Air raksa/Mercury (*Hg*) juga dianggap sebagai polutan tanah karena dapat merusak metabolisme tanaman dan menurunkan produktivitas tanaman. Sumber air untuk irigasi juga dapat menyebabkan polusi tanah jika terdiri dari air limbah. Kelebihan N dan logam berat tidak hanya menjadi sumber pencemaran tanah, tetapi juga ancaman bagi ketahanan pangan, kualitas air dan kesehatan manusia, ketika mereka memasuki rantai makanan (FAO dan ITPS 2015).

Seperti dikatakan sebelumnya, limbah ternak dapat menjadi sumber polusi jika limbah tidak dikelola dengan baik, seperti kotoran dan air seni yang mengandung parasit dan zat yang dapat bertahan dan menumpuk di tanah (Zhang *et al.* 2015a). Penggunaan pupuk dan pupuk kandang yang berlebihan atau penggunaan nutrisi terutama pada N dan P yang tidak efisien adalah masalah utama pencemaran lingkungan (Kanter 2018). Kedua unsur tersebut merupakan sumber polusi yang mudah menyebar, sehingga kelebihan N dapat hilang ke atmosfer melalui emisi gas rumah kaca, dan kelebihan P berkontribusi pada eutrofikasi. Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan salinitas tanah, akumulasi logam berat, eutrofikasi air dan akumulasi nitrat yang dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan serta ancaman bagi kesehatan manusia. Industri pupuk juga dianggap sebagai sumber logam berat seperti *Hg*, *Cd*, *As*, *Pb*, *Cu*, *Ni* dan *Cu* serta radionuklida alami seperti ^{238}U , ^{232}Th dan ^{210}Po (Stewart 2005).

Apabila logam berat memasuki tanah pertanian dan hasilnya dikonsumsi oleh manusia, tentunya akan

memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Chaney (1980) mendefinisikan empat kelompok logam yang memasuki rantai makanan ketika lumpur limbah diaplikasikan ke tanah, sebagai fungsi dari bahaya terhadap kesehatan manusia (Tabel 1).

Kelompok 1 terdiri dari unsur-unsur yang berisiko rendah untuk masuk ke rantai makanan karena tidak diambil oleh tanaman, karena kelarutannya yang rendah di tanah, yang berarti serapan yang dapat diabaikan dan translokasi oleh tanaman. Peningkatan konsentrasi unsur-unsur ini dalam makanan biasanya menunjukkan kontaminasi langsung melalui akumulasi tanah atau debu. Kelompok 2 mencakup unsur-unsur yang ada di permukaan tanah, dan sementara mereka dapat diserap oleh akar tanaman, mereka tidak mudah ditranslokasi ke jaringan yang dapat dimakan dan karena itu menimbulkan risiko minimal bagi kesehatan manusia. Elemen-elemen ini, dapat menimbulkan risiko pada hewan herbivora atau manusia jika di konsumsi.

Kelompok 3 terdiri dari unsur-unsur yang siap diambil oleh tanaman, tetapi bersifat racun pada konsentrasi rendah sehingga menimbulkan risiko kecil bagi kesehatan manusia. Kelompok 4 terdiri dari unsur-unsur yang berisiko paling tinggi jika masuk ke rantai makanan karena mengandung risiko terhadap kesehatan manusia atau hewan pada konsentrasi jaringan tanaman yang pada umumnya tidak bersifat fitotoksik. Kontaminasi tanah oleh Arsenic (*As*) dan Cadmium (*Cd*) mungkin merupakan risiko yang paling luas terhadap rantai makanan secara global (Grant *et al.* 1999; McLaughlin *et al.* 1999), dengan sebagian besar wilayah Asia Tenggara memiliki tanah yang terkontaminasi oleh *As* (Meharg 2004) dan *Cd* (Hu *et al.* 2016).

DAMPAK TERHADAP KESEHATAN MANUSIA

Secara umum, manusia dapat terpapar kontaminan yang berasal dari tanah melalui konsumsi atau melalui konsumsi tanaman atau hewan yang telah

mengakumulasi sejumlah besar polutan tanah (Khan *et al.* 2015); melalui paparan kulit, aktivitas seperti di taman atau kebun (Chaparro *et al.* 2018); atau dengan menghirup kontaminan tanah yang terbawa oleh udara. Menurut Ardiwinata (2020) pestisida merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pertanian di Indonesia. Sekarang ini pestisida yang umum digunakan adalah jenis organo fosfat, karbamat dan piretroid. Dari jenis-jenis pestisida tersebut, yang paling toksik dan persisten adalah jenis organoklorin. Dampak negatif dari penggunaan pestisida yang terus menerus dan berlebihan akan berpotensi tertinggalnya pestisida di dalam tanah dan produk pertanian atau yang lebih dikenal dengan residu pestisida.

Tanah merupakan hal yang penting bagi kesehatan manusia karena sumber utama produksi makanan (Petrizzelli *et al.* 2010). Tanah yang tercemar dapat berakibat pada kesehatan manusia seperti adanya kanker, leukemia, gangguan reproduksi, kerusakan ginjal dan hati serta kegagalan sistem saraf pusat. Masalah kesehatan tersebut dapat diakibatkan oleh tanah yang tercemar seperti masyarakat yang bermain di tanah yang telah tercemar atau secara tidak langsung dengan mengonsumsi tanaman yang ditanam di tanah yang tercemar. Selain itu juga, dampak jangka panjangnya mempengaruhi susunan genetik tubuh dan mungkin penyakit bawaan hingga kronis, organofosfat juga menyebabkan penyumbatan neuromuskuler (Mishra *et al.* 2016). Lebih dari 200 penyakit mulai dari diare hingga kanker terkait dengan asupan makanan yang terkontaminasi (WHO 2017b) dan 24 persen dari populasi dunia menderita infeksi oleh cacing yang ditularkan melalui tanah, menyebabkan ketidakseimbangan gizi dan anemia kronis (WHO 2017a).

Tanah perkotaan perlu mendapat perhatian khusus karena kegiatan antropogenik terkonsentrasi pada tanah tersebut, dan pola paparannya lebih kompleks karena interaksi dengan faktor-faktor penentu kesehatan lainnya seperti nutrisi, kualitas udara, dan akses ke layanan kesehatan untuk pencegahan penyakit (WHO 2013). Namun, wilayah non-perkotaan juga menjadi sasaran berbagai sumber pencemaran, seringkali dari sumber yang tersebar, yang membuatnya sulit untuk dilacak dan memperkirakan luas juga risikonya. Upaya di masa depan terkait dengan pengendalian dan perbaikan polusi tanah harus mencakup area perkotaan maupun non-perkotaan (Rodríguez-Eugenio *et al.* 2018).

TEKNIK REMEDIASI UNTUK MENGATASI TANAH TERCEMAR

Beberapa alternatif yang dapat dilakukan dalam menanggulangi pencemaran tanah diantaranya *reduce* (mengurangi penggunaan), *reuse* (pemakaian kembali), *recycle* (daur ulang), fitoremediasi dan bioremediasi (pemanfaatan mikroorganisme) (Irwanto 2010). Teknik remediasi dapat dibagi dalam dua kelompok utama: remediasi *in situ* (di lokasi) dan *ex situ* (pemindahan tanah yang terkontaminasi untuk perawatan di luar lokasi). Opsi remediasi yang tersedia meliputi perawatan fisik, kimia, dan biologis, dan opsi ini menawarkan solusi teknis potensial untuk sebagian besar tanah yang tercemar (Scullion 2006). Pengelolaan lokasi yang tercemar adalah pendekatan spesifik lokasi yang mencakup karakterisasi, penilaian risiko, dan pemilihan teknologi remediasi, oleh karena itu difokuskan pada kontaminasi sumber lokal atau titik.

Bioremediasi adalah teknologi menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menekan atau mengurangi polutan yang ada di tanah. Bioremediasi bergantung pada pertumbuhan dan aktivitas mikroba, efektivitasnya sangat tergantung pada parameter lingkungan yang dimana dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba dan laju degradasi. Bioremediasi dianggap sebagai teknologi yang sangat menjanjikan dan telah diterapkan di berbagai negara yang terkontaminasi (Zouboulis *et al.* 2011).

Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif lain yang digunakan dengan memanfaatkan kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat (Muliadi *et al.* 2013). Keuntungan dari fitoremediasi adalah dapat dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*, mudah diterapkan, ekonomis, mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar dan mudah diterapkan (Zulkoni *et al.* 2017). Adapun ketentuan tanaman yang dapat dijadikan sebagai fitoremediator adalah mampu mengonsumsi air dalam waktu yang singkat, mampu meremediasi lebih dari satu polutan, cepat tumbuh dan toleransi tinggi terhadap polutan (Morel *et al.* 2006). Fitoremediasi terdiri dari lima proses utama yaitu:

1. *Phytostabilition* merupakan proses tumbuhan dalam menarik zat-zat kontaminan ke bagian akar tanaman sehingga tidak dapat diteruskan ke bagian tanaman lain.
2. *Pythovalatization* merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan merubahnya menjadi bersifat volatile agar tidak berbahaya untuk selanjutnya dapat dilepaskan ke atmosfer.

3. *Rhizodegradation* merupakan proses menguraikan zat-zat kontaminan dengan menggunakan mikroba disekitar perkaran tanaman.
4. *Rhizofiltration* merupakan proses akar tanaman dalam mengadsorpsi zat kontaminan untuk menempel pada akar.
5. *Phytodegradation* merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme tanaman. Proses ini dibantu oleh enzim yang dikeluarkan oleh tanaman itu sendiri dan berlangsung pada seluruh bagian tanaman.
6. *Phytoaccumulation* merupakan proses tanaman menarik zat kontaminan dan diakumulasikan di sekitar akar tumbuhan dan diteruskan ke seluruh bagian tanaman. Kontaminan dihilangkan dengan cara memanen tanaman tersebut (Irwanto 2010).

Penggunaan pestisida nabati merupakan salah satu teknik lainnya dalam mengurangi ketergantungan manusia terhadap pestisida kimiawi. Seperti yang telah diketahui bahwa aktivitas pertanian dengan penggunaan pestisida kimiawi dapat mengakibatkan tanah tercemar. Menurut Sutriadi *et al.* (2019), pestisida nabati merupakan salah satu komponen dalam konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang ramah lingkungan. Pestisida nabati memberikan prospek terhadap perbaikan kualitas produk pertanian, ramah lingkungan dan berkontribusi terhadap hasil tanaman budidaya. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan), Badan Litbang Pertanian telah mengembangkan pestisida nabati berdasarkan kearifan lokal di lahan sawah tadah hujan dengan memanfaatkan sumberdaya lokal. Bahan yang digunakan berasal dari daun/biji mimba, biji mahoni, gulma *Ageratum* diekstrak dan dicampur serta ditambahkan asap cair yang merupakan produk samping proses pirolisis arang hayati dari limbah pertanian, dan urin sapi. Pestisida tersebut diaplikasikan pada tanaman pangan sebagai upaya penegahan terhadap serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) untuk meminimalisasi kehilangan hasil. Hara nitrogen dalam urin sapi dapat berfungsi memperbaiki pertumbuhan dan perkembangan tanaman budidaya (Sutriadi *et al.* 2019).

Hasil penelitian penggunaan insektisida nabati pada dosis 10 ml/L dengan aplikasi sebanyak 10 kali setiap dua minggu sekali pada lahan sawah yang ditanami varietas Ciherang, Situ Bagendit, dan Mekongga menunjukkan bahwa pemberian insektisida nabati memberikan hasil gabah kering panen (GKP) lebih tinggi dibandingkan tanpa insektisida nabati. Peningkatan hasil yang dicapai pada varietas Mekongga, Situ Bagendit, Ciherang masing-masing 10,8%; 24,8% dan 48,7%. Selain itu, pemberian

pestisida nabati di lahan sawah di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah dengan dosis 10 ml/L dengan aplikasi 10 kali setiap dua minggu sekali, dapat menekan serangan penggerek batang pada fase pertumbuhan reproduktif (beluk). Hasil lain menunjukkan pemberian pestisida nabati yang diberikan bersama agen hayati pada formulasi pestisida nabati efektif menekan hama dan meningkatkan hasil tongkol jagung kering mencapai 21 ton ha⁻¹ dengan kadar air 19% (Sutriadi *et al.* 2019).

Penggunaan pestisida nabati masih terdapat kendala dalam implementasinya di masyarakat, yaitu pestisida nabati lebih mudah terurai di alam sehingga pengaplikasiannya secara berulang, pestisida nabati sangat sensitive oleh pengaruh parameter lingkungan seperti sinar matahari dan suhu, penggunaan pestisida nabati dengan jumlah yang banyak sehingga ketersediannya terbatas, dan kemampuan pestisida nabati dalam mengendalikan OPT tidak secara langsung mematikan atau mempunyai daya bunuh rendah (Sutriadi *et al.* 2019).

Ardiwinata (2020) menyatakan bahwa beberapa hasil penelitian mendapatkan untuk mengatasi masalah residu pestisida di tanah dapat juga memanfaatkan arang aktif yang berasal dari limbah pertanian seperti tempurung kelapa, bonggol jagung dan sekam padi. Arang aktif ini diketahui memiliki kemampuan daya serap yang tinggi terhadap pencemar residu pestisida dan disenangi oleh mikroba pendegradasi sebagai tempat tinggal dan berkembang biak. Pemanfaatan limbah pertanian atau peternakan tersebut memiliki dampak positif karena dapat mengurangi limbah pertanian atau perkebunan untuk pertanian berkelanjutan. Tempurung kelapa dan sekam padi merupakan limbah pertanian yang banyak dijumpai dan dapat dijadikan sebagai bahan baku arang aktif.

Ukuran pori arang aktif tempurung kelapa yang memiliki ukuran dibawah 50 μ m pada perbesaran 500 kali, sedangkan arang aktif sekam padi memiliki ukuran pori sebesar 82 μ m pada perbesaran 200 kali yang diukur melalui Scanning Electron Microscope (SEM) (Ardiwinata 2020). Potensi limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia seperti sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit cukup tinggi yaitu 17,5; 8,0; 12,0 dan 20,0 juta ton per tahun (Ardiwinata 2005). Nustini dan Allwar (2019) mengatakan bahwa arang aktif merupakan material berpori yang memiliki kemampuan untuk menyerap pengotor atau sebagai filter air. Arang aktif tempurung kelapa memiliki karakteristik pH, bahan organik, porositas, kerapatan, luas permukaan, karbon

terikat, kandungan air dan ukuran partikel lebih tinggi dibandingkan sekam padi (Ardiwinata 2020).

Pemanfaatan arang aktif dalam pengendalian residu pestisida dapat diaplikasikan langsung di tanah (ditaburkan), melalui alat FIO (filter inlet outlet) dan melalui pelapisan pupuk urea. Arang aktif yang berasal dari limbah pertanian dapat menyerap residu di dalam tanah. Residu tersebut akan mudah didegradasi menjadi metabolit oleh mikroba pendegradasi yang tinggal dalam pori-pori arang aktif (Ardiwinata 2020).

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) melalui Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) telah menghasilkan komponen teknologi dari hasil-hasil penelitian sebelumnya untuk diterapkan dalam budidaya tanaman pangan berbasis kelestarian lingkungan pertanian yang dikenal sebagai Panca Kelola Ramli. Kelima komponen tersebut adalah penggunaan biokompos bersamaan dengan pengolahan tanah, pemupukan berimbang dengan urea berkarbon, pengaturan air irigasi, penggunaan varietas rendah emisi GRK, dan penggunaan pestisida nabati dalam pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT). Penggunaan teknologi Panca Kelola Ramli mampu meningkatkan produksi padi sampai 8 ton GKP dibanding cara eksisting yang produksinya 7 ton GKP per ha, artinya teknologi Ramli mampu meningkatkan produksi 1 ton per ha (Mamat dan Sukarman 2020).

Selain beberapa teknik remediasi diatas, cara paling mudah yang dapat dilakukan adalah mengurangi volume sampah atau dengan cara mendaur ulang bahan-bahan seperti plastik, kertas atau bahan lainnya. Kemudian pentingnya edukasi masyarakat tentang bahaya membuang sampah atau limbah tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu, melakukan budidaya tanaman secara organik dan mengurangi penggunaan kertas. Mengurangi penggunaan kertas akan sedikit pohon yang harus ditebang dan deforestasi menjadi berkurang (Mishra *et al.* 2016).

KESIMPULAN

Polusi tanah merupakan masalah lingkungan yang sering dihadapi, karena keberadaan bahan kimia atau zat yang hadir pada konsentrasi yang lebih tinggi dari batas normal serta memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup lainnya serta lingkungan. Sumber polusi tanah diantaranya berasal dari kegiatan pertambangan, limbah rumah tangga, dan kegiatan pertanian.

Tanah tercemar akibat polusi tanah merupakan salah satu masalah lingkungan yang sering dihadapi dan dapat berdampak pada menurunnya produktivitas dari tanah. Polusi tanah jika dibiarkan akan berdampak

buruk terhadap lingkungan terutama kesehatan manusia sebagai makhluk hidup yang sangat bergantung pada tanah.

Perlunya tindakan pencegahan dan remediasi untuk mengatasi tanah tercemar. Salah satu tindakan pencegahan adalah dengan menggunakan pestisida nabati. Pestisida nabati merupakan salah satu komponen dalam konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang ramah lingkungan serta "*Panca Kelola Ramli*".

Salah satu upaya untuk mengatasi masalah polusi tanah karena residu pestisida di tanah dapat dilakukan dengan memanfaatkan arang aktif menggunakan bahan dasar dari tempurung kelapa, bonggol jagung dan sekam padi. Arang aktif ini diketahui memiliki kemampuan daya serap yang tinggi terhadap pencemar residu pestisida.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway BJ. 2013. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Third edition. Environmental Pollution. Springer Netherlands.
<http://www.springer.com/gp/book/9789400744691>.
- Ardiwinata AN. 2005. Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Sekam Padi di Tanah Terhadap Residu Karbofuran (2,3- dihidro-dimetil7-benzofuranil-N-metil karbamat) di Dalam Tanah, Air, dan Tanaman Padi. Disertasi Doktor, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Ardiwinata AN. 2020. Pemanfaatan arang aktif dalam pengendalian residu pestisida di tanah: prospek dan masalahnya. Jurnal Sumberdaya Lahan 14(1): 49-62. Doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v14n1.2020.49-62>.
- Baderna D, Maggioni S, Boriani E, Gemma S, Molteni M, Lombardo A, Colombo A, Bordonali S, Rotella G, Lodi M, Benfenati E. 2011. A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: chemical analyses, risk assessment and in vitro assays. Environmental Research 111(4): 603-613. Doi: 10.1016/j.envres.2011.01.015.
- Boyd RS. 2010. Heavy metal pollutants and chemical ecology: Exploring new frontiers. Journal of Chemical Ecology 36: 46-58. Doi: 10.1007/s10886-009-9730-5.
- Burgess LC. 2013. Organic pollutants in soil. In: Brevik EC, Burgess LC (Eds). Soil and Human Health. Boca Raton. CRC Press. pp. 83-102.
- Chaney RL. 1980. Health risks associated with toxic metals in municipal sludges. In Bitton G, Damron

- BL, Edds GT, Davidson JM (Eds): Sludge-Health Risks of Land Application. Ann Arbor MI: Ann Arbor Science Publishers, pp. 59–83.
- Chaparro LLT, Guney M, Zagury GJ. 2018. In vitro dermal bioaccessibility of selected metals in contaminated soil and mine tailings and human health risk characterization. *Chemosphere* 197: 42–49. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.01.008.
- Doran JW, Zeiss MR. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3–11. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6).
- FAO, ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.
- Grant CA, Bailey LD, McLaughlin MJ, Singh BR. 1999. Management factors which influence cadmium concentrations in crops, in *Cadmium in Soils and Plants*. In: McLaughlin MJ, Singh BR (Eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 151–158.
- Havugimana E, Bhople B, Anil K, Byiringiro E, Mugabo JP, Kumar A. 2017. Soil pollution-major sources and types of soil pollutants. *Environmental Science and Engineering* 11(December): 53–86.
- Hidayat B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(7): 31-41. Doi: <https://doi.org/10.32734/jpt.v2i1.2878>.
- Hu Y, Cheng H, Tao S. 2016. The challenges and solutions for cadmium contaminated rice in China: a critical review. *Environment International* 92–93: 515–532. Doi: 10.1016/j.envint.2016.04.042.
- Irwanto R. 2010. Fitoremediasi lingkungan dalam taman Bali. *Local Wisdom-Jurnal Ilmiah Online*, Vol. II (4): 29-35.
- Jurewicz J, Hanke W, Radwan M, Bonde JPE. 2010. Environmental factors and semen quality. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 22(4):305-329. Doi: 10.2478/v10001-009-0036-1.
- Kanter DR. 2018. Nitrogen pollution: a key building block for addressing climate change. *Climatic Change*, 147(1–2): 11–21. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2126-6>.
- Karlen DL, Doran JW, Weinhold BJ, Andrew SS. 2003. Soil quality humankind's foundation for survival. *Journal of Soil and Water Conservation*: 58(4): 171-179.
- Khan A, Khan S, Khan MA, Qamar Z, Waqas M. 2015. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22(18): 13772–13799. Doi: 10.1007/s11356-015-4881-0.
- Kumar A, Maiti SK. 2015. Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro Hill, Chaibasa, India. *Environmental Earth Sciences* 74(3): 2617– 2633. Doi: 10.1007/s12665-015-4282-1.
- Kumar V, Kothiyal NC, Saruchi, Vikas P, Sharma R. 2016. Source, distribution and health effect of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)-current knowledge and future directions. *Journal of the Chinese Advanced Materials Society* 4 (4): 1-20. Doi: <https://doi.org/10.1080/22243682.2016.1230475>.
- Sukarman, Husnain. 2016. Karakteristik lahan bekas tambang dan permasalahannya di Bangka Belitung dan Pulau Buru. Hlm: 54-71. *Dalam* Pasandaran E, Heryawan R, Syakir M (Eds): *Sumberdaya Lahan dan Air, Prospek Pengembangan dan Pengelolaannya*. IAARD Press, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Sukarman, Gani RA. 2020. Ex-coal mine lands and their land suitability for agricultural commodities in South Kalimantan. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(3): 2171-2183. Doi: 10.15243/jdmlm.2020.073.2171.
- Sukarman, Gani RA, Asmarhansyah. 2020. Tin mining process and its effects on soils in Bangka Belitung Islands Province, Indonesia. *SAINS TANAH – Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2): 180-189. Doi: 10.20961/stjssa.v17i2.3.
- Mackay AK, Taylor MP, Munksgaard NC, Hudson-Edwards KA, Burn-Nunes L. 2013. Identification of environmental lead sources and pathways in a mining and smelting town: Mount Isa, Australia. *Environmental Pollution* 180: 304-311. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.007>.
- Mamat HS, Sukarman. 2020. Manfaat inovasi teknologi sumberdaya lahan pertanian dalam mendukung pembangunan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2): 116-133. Doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.115-132>.
- Mansouri A, Cregut M, Abbes C, Durand MJ, Landoulsi A, Thouand G. 2017. The environmental issues of DDT pollution and bioremediation: a multidisciplinary review. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 181(1): 309–339. Doi: 10.1007/s12010-016-2214-5.

- McLaughlin MJ, Parker DR, Clarke JM. 1999. Metals and micronutrients – food safety issues. *Field Crops Research*, 60 (1–2): 143-163. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00137-3).
- Meharg AA. 2004. Arsenic in rice-understanding a new disaster for South-East Asia. *Trends Plant Sci*, 9(9): 415-417. Doi: 10.1016/j.tplants.2004.07.002
- Mileusnić M, Mapani BS, Kamona AF, Ružičić S, Mapaure I, Chimwamurombe PM. 2014. Assessment of agricultural soil contamination by potentially toxic metals dispersed from improperly disposed tailings, Kombat Mine, Namibia. *Journal of Geochemical Exploration*, 144: 409–420. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.009>.
- Mirsal I. 2008. *Soil Pollution: Origin, Monitoring & Remediation*. Springer Science & Business Media. 310 pp.
- Mishra RK, Muhammad N, Roychoudhury N. 2016. Soil pollution: causes, effects and control. Tropical Forest Research Institute, Jabalpur, MP, India, 3 (January), Vol. 3(1): 1–14.
- Morel JL, Echevarria G, Goncharova N. 2006. *Phytoremediation of Metal Contaminated Soils*. Springer, Amsterdam.
- Muliadi, Liestianty D, Yanny, Sumarna S. 2013. Fitoremediasi: akumulasi dan distribusi logam berat nikel, cadmium dan chromium dalam tanaman ipomea reptana. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, HKI Sumatera Barat, 7 Desember 2013, Hlm 1-5.
- Nustini Y, Allwar A. 2019. Pemanfaatan limbah tempurung kelapa menjadi arang tempurung kelapa dan granular karbon aktif guna meningkatkan kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 04 (03): 217-226.
- Ogundele LT, Owoade OK, Hopke PK, Olise FS. 2017. Heavy metals in industrially emitted particulate matter in Ile-Ife, Nigeria. *Environmental Research* 156: 320–325. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.051>.
- Petrizzelli G, Gorini F, Fezzarossa B, Pedron F. 2010. The fate of pollutants in soil. pp: 1-31, *In* Bianchi F, Cori L, Moretti PF (Eds): *CNR Environment and Health Inter-Departmental Project*.
- Podolský F, Ettler V, Šebek O, Ježek J, Mihaljevič M, Kříbek B, Sracek O, Vaněk A, Penížek V, Majer V, Mapani B, Kamona F, Nyambe I. 2015. Mercury in soil profiles from metal mining and smelting areas in Namibia and Zambia: distribution and potential sources. *Journal of Soils and Sediments* 15(3): 648–658. Doi: 10.1007/s11368-014-1035-9.
- Rahmatillah S, Husen T. 2018. Penyalahgunaan pengelolaan pertambangan terhadap kerusakan lingkungan hidup di Kecamatan Kluet Tengah. *LEGITIMASI, Jurnal Hukum Pidana dan Politik Hukum*, 3 (1): 149-171. Doi: <http://dx.doi.org/10.22373/legitimasi.v7i1.3969>
- Ranieri E, Bombardelli F, Gikas P, Chiaia B. 2016. Soil pollution prevention and remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, Vol. 2016: 2–4. Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9415175>.
- Rodríguez-Eugenio N, McLaughlin M, Pennock D. 2018. *Soil Pollution: a Hidden Reality*. Rome, FAO. 142 pp
- Scullion J. 2006. Remediating polluted soils. *Naturwissenschaften*, Februari 93(2): 51–65. Doi: 0.1007/s00114-005-0079-5.
- Stewart WM, Dibb DW, Johnston AE, Smyth TJ. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal* 97(1): 1-6. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0001>.
- Strzebońska M, Jarosz-Krzemińska, Adamiec E. 2017. Assessing historical mining and smelting effects on heavy metal pollution of river systems over span of two decades. *Water, Air, & Soil Pollution* 228(4): 141. Doi: 10.1007/s11270-017-3327-3.
- Su C, Jiang L, Zhang WJ. 2014. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide situation, impact and remediation technique. *Environmental Skeptics and Critics* 3(2): 24-38. IAEES Science Publishing. <http://www.iaees.org/publications/journals/journals.asp>
- Sudarmaji, Mukono J, Corie IP. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(2): 129-142.
- Sutriadi MT, Harsanti ES, Wahyuni S, Wihardjaka A. 2019. Pestisida nabati: prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 13(2): 89-101. Doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v13n2.2019.89-101>.
- Swati, Ghosh P, Das MT, Thakur IS. 2014. In vitro toxicity evaluation of organic extract of landfill soil and its detoxification by indigenous pyrene-degrading *Bacillus* sp. *ISTPY1. International Biodeterioration & Biodegradation* 90: 145–151. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.001>.
- Venuti A, Alfonsi L, Cavallo A. 2016. Anthropogenic pollutants on top soils along a section of the Salaria state road, central Italy. *Annals of Geophysics* 59 (5) : 1-11. Doi: 10.4401/ag-7021

- WHO. 2013. Contaminated sites and health. Copenhagen, Denmark. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0003/186240/e96843e.pdf.
- WHO. 2017a. Soil-transmitted helminth infections. *In*: WHO [online], <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs366/en/>. Diakses pada tanggal 1 Mei 2020.
- WHO. 2017b. Food safety. *In*: WHO [online]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/en/>. Diakses pada tanggal 1 Mei 2020.
- Wawer M, Magiera T, Ojha G, Appel E, Kusza G, Hu S, Basavaiah N. 2015. Traffic related pollutants in roadside soils of different countries in Europe and Asia. *Water, Air, & Soil Pollution* 226 (7): 1-14. Doi: 10.1007/s11270-015-2483-6.
- Yang H, Huang X, Thompson JR, Flower J. 2014. Soil pollution: urban brownfields. *Science* 344 (6185): 691–692. Doi: 10.1126/science.344.6185.691-b.
- Zhang P, Sun H, Yu L, Sun T. 2013. Adsorption and catalytic hydrolysis of carbaryl and atrazine on pig manure derived biochars: impact of structural properties of biochars. *J Hazard Mater* 244-245: 217-224.
- Zhang H, Luo Y, Wu L, Huang Y, Christie P. 2015a. Residues and potential ecological risks of veterinary antibiotics in manures and composts associated with protected vegetable farming. *Environmental Science and Pollution Research* 22(8): 5908–5918. Doi: 10.1007/s11356-014-3731-9.
- Zhang H, Wang Z, Zhang Y, Ding M, Li L. 2015b. Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway. *Science of The Total Environment* 521-522: 160-172. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.054.
- Zouboulis AI, Moussas PA, Nriagu ECJO. 2011. Groundwater and Soil Pollution: Bioremediation. *Encyclopedia of Environmental Health* pp. 1037–1044. Doi: 10.1016/B978-0-444-52272-6.00035-0.
- Zulkoni A, Rahyuni D, Nasirudin. 2017. Pengaruh pemangkasan akar jati dan inokulasi jamur mikoriza arbuskula terhadap fitoremediasi tanah tercemar merkuri di Kokap Kulonprogo Yogyakarta. *J. Manusia & Lingkungan* 24(1): 17-22. Doi: 10.22146/jml.23071.