

	JURNAL CHEMURGY E-ISSN 2620-7435 Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK	 SINTA Accreditation No. 200/M/KPT/2020
---	--	--

STUDI REMEDIASI TANAH TERCEMAR OLEH AKTIVITAS INDUSTRI

STUDY OF REMEDIATION OF CONTAMINATED SOIL CAUSED BY INDUSTRIAL ACTIVITIES

Rifadillah Ar Rasyid¹, Natasya Anindhita Cools¹, Mardiah^{1*}

¹Program Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda
 Jl. Sambaliung No. 09 Kampus Gunung Kelua, Samarinda Kalimantan Timur

*Email : mardiah@ft.unmul.ac.id

(Received: 13 February 2021; Reviewed: 24 February 2021; Accepted: 2 May 2021)

Abstrak

Pembangunan suatu daerah menuju era industri selain memberikan kesejahteraan pada manusia, juga dapat berdampak negatif pada lingkungan. Salah satunya menghasilkan limbah yang berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah. Penanganan pencemaran tanah dapat dilakukan berbagai macam cara, salah satunya yaitu dengan remediasi tanah. Artikel ini adalah hasil studi literatur yang bertujuan untuk mengetahui berbagai cara dalam melakukan remediasi tanah yang tercemar oleh suatu aktivitas industri, baik karena tercemar logam berat, limbah minyak bumi, batu bara, bahan kimia dan sebagainya. Penggunaan cara untuk mengatasi tanah tercemar oleh aktivitas industri dapat dilakukan dengan metode yang berwawasan lingkungan seperti bioremediasi yang menggunakan mikroorganisme dan fitoremediasi yang menggunakan tanaman sebagai penyerap kontaminan. Pembelajaran yang dapat dilakukan yakni dengan mempelajari cara remediasi tanah yang bersifat ilmiah dari berbagai metode dan penelitian terdahulu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui metode -metode yang dapat digunakan dalam perbaikan unsur hara pada jenis tanah, selain itu juga dapat memberikan konsep yang nyata, bermakna dan bermanfaat yang bisa dilakukan dalam memperbaiki kualitas tanah.

Kata Kunci: tanah tercemar, remediasi, bioremediasi, fitoremediasi

Abstract

In a development of an area towards the industrial era, besides getting prosperity for humans, it can also have a negative effect on the environment. One of them produces waste that has the potential to cause soil pollution. Handling soil pollution can be done in various ways, one of which is by soil remediation. This article is the result of a literature study that aims to find out various ways to remediate soil contaminated by an industrial activity, either because it is contaminated with heavy metals, waste oil, coal, chemicals and so on. The use of methods to deal with soil polluted by industrial activities can be done with environmentally sound methods such as bioremediation that uses microorganisms and phytoremediation that uses plants as contaminant absorbers. Learning that can be done is by studying scientific methods of soil remediation from various methods and previous research. It aims to find out the methods that can be used in improving nutrient elements in soil types, and also provide real, meaningful and useful concepts that can be done in improving soil quality.

Keywords: contaminated soil, remediation, bioremediation, phytoremediation

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan tempat tumbuh-tumbuhan tumbuh dan pemberi nutrisi. Tanah dapat menyediakan air dan berbagai unsur hara, baik makroskopis maupun mikroskopis. Kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara tergantung pada kandungan bahan organik tanah (BOT) dan kelembaban tanah. Menurut kandungan organiknya biasanya terdapat dua jenis tanah yaitu tanah mineral dan tanah organik/gambut (Mustafa dkk, 2012).

Kedua jenis tanah tersebut memiliki sifat kimiawi tanah yang berbeda. Karakteristik tanah gambut sangat ditentukan oleh ketebalan dan jenis mineral di dasar gambut serta derajat dekomposisi gambut. Komposisi kimiawi gambut sangat dipengaruhi oleh derajat pembusukan dan sifat kimiawi lingkungan alaminya. Ketersediaan makronutrien NP serta banyak mikronutrien umumnya rendah (Utami dan Handayani, 2003). Tanah mineral juga dicirikan oleh kandungan bahan organik yang rendah dan kelarutan aluminium yang tinggi, yang dapat meracuni tanaman. Tanah mineral rendah nitrogen dan fosfor, sedangkan kalsium, magnesium, natrium dan kalium rendah logam alkali (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Dalam sifat tanah dapat dibedakan berdasarkan warnanya, strukturnya, tekstur dan derajat keasaman tanah. Warna tanah dapat menentukan kandungan bahan organik maupun kimia, kandungan mineral, kandungan air, drainase, dan perkembangan tanah yang biasanya berwarna gelap maka pertanda tanah itu subur. Bahan organik tanah merupakan bahan di dalam atau permukaan tanah yang berasal dari sisa tumbuhan hewan, dan manusia baik yang telah mengalami dekomposisi lanjut maupun yang sedang mengalami proses dekomposisi (Mustafa dkk., 2012).

Pencemaran lingkungan adalah masalah yang paling utama, dan harus segera diatasi seiring dengan peningkatan aktivitas industri untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah. Aktivitas ini dapat menghasilkan banyak limbah, dan jika dikelola secara tidak benar dan bertanggung jawab akan berdampak negatif terhadap lingkungan (Hidayat, 2015).

Pencemaran adalah biologi, material, energi dan/atau komponen lain yang masuk atau terkandung dalam lingkungan, dan/atau perubahan tatanan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau proses alam, sehingga mengurangi kualitas lingkungan sampai batas tertentu Akibatnya kualitas lingkungan menjadi semakin berkurang dan tidak dapat lagi berfungsi sesuai dengan tujuannya (Indonesia dan Nusantara, 1997).

Limbah dari pabrik mengandung banyak unsur yang berbahaya bagi tubuh manusia, salah satunya logam berat. Logam berat secara alami terdapat di dalam tanah dan tidak dapat terdegradasi, serta dapat berada di tanah dan badan air dalam waktu yang lama, sehingga akan terus meningkat dari waktu ke waktu (Govindasamy *et al.*, 2011). Logam berat adalah salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan. Salah satu logam berat tersebut adalah timbal yang merupakan logam berat yang sering ditemukan sebagai bahan pencemar. Di kota besar, timbal dianggap sebagai pencemar udara yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Secara alami, timbal berasal dari kerak bumi, tetapi terutama berasal dari aktivitas manusia seperti pertambangan, industri, dan penggunaan bahan bakar (Nadeak, Delvian dan Elfiati, 2015). Selain itu tanah juga dapat tercemar oleh aktivitas industri minyak bumi, batubara, bahan kimia dan sebagainya. Oleh karena itu, beberapa metode remediasi atau pemulihan tanah akibat pencemaran akan dipaparkan lebih lanjut.

2. BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR OLEH MINYAK BUMI

Kebocoran pipa minyak tidak hanya disebabkan oleh kondisi lingkungan sekitar pipa. Kondisi lingkungan yang asam dapat menyebabkan korosi pada jaringan pipa minyak, yang dapat merusak jaringan pipa dan menyebabkan kebocoran. Tumpahan minyak di tanah akan mencemari tanah di lingkungan tempat pipa berada. Banyak solusi digunakan untuk mengatasi masalah pencemaran minyak pada tanah. Teknologi remediasi tanah dapat dilakukan secara biologis maupun non-biologis. Teknologi remediasi biologis adalah bioremediasi dengan menggunakan proses biologis (Aziz, Permatasari dan Sari, 2015)

Tanah yang terkontaminasi minyak ditemukan di dekat sumur minyak dan lokasi pengumpulan minyak. Pencemaran ini terjadi karena tumpahan minyak selama ekstraksi dan transportasi minyak. Pencemaran tanah oleh minyak menyebabkan masalah lingkungan karena mengandung berbagai hidrokarbon yang bersifat racun bagi manusia dan organisme lain (Prayitno, 2017).

Proses degradasi minyak di dalam tanah secara alami membutuhkan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, teknologi bioremediasi banyak digunakan untuk mempercepat proses pemulihan lahan tercemar minyak dengan cara menyesuaikan kondisi lingkungan, penambahan unsur hara (*biostimulasi*) dan penambahan mikroorganisme dari luar (*bio-enhancement*), serta pengujian mikroorganisme yang tercemar minyak dan pengujian kinerja jenis mikroorganisme yang diperoleh. Jenis mikroorganisme yang banyak digunakan dalam bioremediasi tanah tercemar minyak adalah *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Azotobacter* (Prayitno, 2017). Mengingat kompleksitas hidrokarbon penyusun minyak bumi, maka perlu dikembangkan formulasi konsorsium mikroba yang sesuai untuk mendegradasi polutan minyak bumi. Teknologi *bio-enhancement* dapat digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi bioremediasi *off-site*, seperti budidaya lahan. (Prayitno, 2017).

Proses bioremediasi dapat juga dilakukan dengan pengomposan, selain sebagai sumber inokulan dan sumber unsur hara dalam tanah juga dapat mempercepat degradasi pencemar hidrokarbon. Sumber mikroorganisme fungsional adalah konsorsium jamur pendegradasi minyak bumi (F) (*Aspergillus niger* dan *Trichoderma marinum*), dan beberapa konsorsium mikroorganisme non alam (B) adalah *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Larasati dan Mulyana, 2016). Dalam bioremediasi tanah jenis ini terdapat beberapa tahapan yaitu pembuatan inokulan, pengukuran jumlah mikroorganisme menggunakan metode *total plate count* (TPC), proses remediasi mikrobiologi pengomposan dan analisis senyawa dengan GC-MS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioremediasi selama 42 hari menggunakan campuran *bulking agent* dan kompos iradiasi yang diperkaya dengan mikroba mampu mendegradasi hidrokarbon rantai panjang (Larasati dan Mulyana, 2016).

Bioremediasi selanjutnya adalah dengan menggunakan jamur *Mikoriza Vesikular Arbuskular* (MVA) pada tanah tercemar minyak bumi. Jamur MVA dapat berperan langsung maupun tidak langsung dalam remediasi tanah. Berperan langsung karena kemampuannya menyerap unsur logam dari dalam tanah dan berperan tidak langsung karena menstimulasi pertumbuhan mikroorganisme bioremediasi lain seperti bakteri, jamur dan sebagainya. beberapa MVA yang dapat digunakan untuk meremediasi tanah-tanah bekas pertambangan, misalnya *Gigaspora rosea*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis*, dan *Acaulospora scrobiculata* dengan tanaman inang sengon. Jamur *Mikoriza Vesikular Arbuskular* (MVA) berperan dalam memperbaiki sifat fisik tanah, yaitu membuat tanah menjadi gembur. Isolasi jamur mikoriza dilakukan dengan teknik mengekstrak spora dengan cara tuangsaring berdasarkan metode Pacioni. Untuk mengetahui simbiosis MVA pada tanaman naungan dilakukan pewarnaan dengan menggunakan pewarna *Lactofenol trypan blue* 0,05% pada akar tanaman tersebut (Faiza, 2013).

Kepadatan spora yang diperoleh pada tanah tercemar minyak bumi serta tanaman yang bersimbiosis dengan spora tersebut dapat menunjukkan potensi *Mikoriza Vesikular Arbuskular* (MVA) untuk dapat digunakan sebagai bioremediator pada tanah tercemar minyak bumi. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa dengan adanya mikoriza pada tanah tercemar minyak bumi serta kepadatan yang cukup tinggi mengindikasikan bahwa tanah tercemar minyak bumi di daerah Bojonegoro dapat melakukan restorasi sendiri meskipun dalam jangka waktu yang cukup lama. yang ditumbuhi tanaman *Sida rhombifolia* (Faiza, 2013).

Metode selanjutnya yaitu bioremediasi tanah yang terkontaminasi minyak bumi dengan aplikasi teknik *biopile*. *Biopile* merupakan salah satu teknologi bioremediasi untuk tanah tercemar minyak bumi yang memiliki biaya pengolahan yang relatif rendah dan ramah lingkungan. Keunggulan lain dari teknologi *biopile* adalah tidak membutuhkan lahan yang luas. Kondisi kelembaban dan laju pemanfaatan udara pada *biopile* juga dapat dikontrol, sehingga pertumbuhan dan aktivitas bakteri agen bioremediasi dapat terjaga. *Biopile* perlu menyuplai oksigen dari atmosfer atau blower. Bakteri menggunakan oksigen selama metabolisme hidrokarbon. Jika tekstur tanah bersih, maka distribusi oksigen dalam *biopile* akan terhambat. Dalam kondisi kelembaban yang tinggi seperti pada *biopile*, tanah yang bertekstur klei akan sulit bersirkulasi udara, sehingga sebaran unsur hara dalam tanah tidak merata, sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas bakteri pendegradasi. Penambahan pasir akan meningkatkan porositas dan permeabilitas udara pada tanah. Untuk meningkatkan kadar air dan kemampuan tanah menahan air, dapat ditambahkan kompos. Tekstur tanah merupakan salah satu penentu keberhasilan proses bioremediasi (Arifudin, Yani dan Murtillaksono, 2016).

3. REMEDIASI LOGAM BERAT PADA TANAH TERKONTAMINASI LIMBAH INDUSTRI

Logam berat ditemukan di dalam tanah akibat pelapukan batuan dan aktivitas manusia (misalnya, penambangan dan pengolahan menggunakan logam berat atau bahan yang mengandung logam berat). Logam berat di dalam tanah biasanya dihasilkan dari penambangan batu bara dan kromat, dan penambangan batu bara dan kromat dilakukan pada batuan ultrabasa yang mengandung logam berat.

Bioremediasi merupakan salah satu metode alternatif yang dapat dikembangkan pada lahan reklamasi. Teknologi bioremediasi membutuhkan biaya yang lebih rendah. Berbagai jenis mikroorganisme dan tumbuhan dapat digunakan untuk tujuan ini (Saidy, 2009).

Kadmium digunakan pada industri baterai, *coating*, pigmen, sintetik dan plastik. Pembuangan limbah industri tersebut ke sungai yang kemudian digunakan untuk pengairan lahan pertanian dapat menyebabkan pencemaran kadmium. Untuk menciptakan pangan yang aman dikonsumsi maka diperlukan remediasi pada lahan tercemar kadmium. Sebagai agen bioremediasi digunakan *Azotobacter* sp. dan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), sedangkan fitoremediasinya menggunakan tanaman rami (*Boehmeria nivea* Gaud) (Purbalisa, Mulyadi dan Purnariyanto, 2017).

Kombinasi remediasi tersebut mampu menurunkan kadar kadmium dari tanah tercemar kadmium hingga 80%. Kadar kadmium pada jaringan tanaman padi yang ditanam pada tanah remediasi masing-masing pada jaringan akar, jerami dan beras yaitu sebesar 4,59 mg/kg, 2,77 mg/kg dan 0,24 mg/kg. Hasil produksi padi yang ditanam pada tanah remediasi hampir sama dengan padi yang ditanam pada tanah kontrol, keunggulannya pada jumlah gabah hampa yang lebih sedikit (Purbalisa, Mulyadi dan Purnariyanto, 2017).

Kemajuan terbaru dalam perawatan tanah yang tercemar logam berat adalah penggunaan biochar. Biochar merupakan salah satu jenis biomassa organik yang mengalami proses pirolisis, yang dapat dengan mudah diproduksi dan dapat mengatasi pencemaran hingga masalah lingkungan tingkat terendah, seperti Petani. Biochar memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki kemampuan yang kuat dalam menyerap logam berat sehingga berpotensi menurunkan ketersediaan hayati dan pencucian logam berat dan polutan organik di dalam tanah melalui adsorpsi dan reaksi fisik dan kimia lainnya. Tanah secara alami mengandung logam-logam berat yang beberapa diantaranya berperan dalam proses fisiologis tumbuhan, seperti besi, tembaga, seng dan nikel, namun kandungannya relatif kecil. Jika berlebihan maka akan menimbulkan efek toksik pada tumbuhan, sedangkan kadmium dan memimpin sangat (Hidayat, 2015).

Pemasok logam berat di tanah pertanian termasuk pestisida melalui pupuk sintetis dan pestisida. Biochar memiliki kemampuan untuk menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan cara mengurangi penyerapan logam berat oleh tumbuhan secara signifikan, dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Pada tanah yang tercemar reaksi asam, jenis karbon biologis dan kation penukar (Na, Mg, K, dan Ca) berperan dalam melepaskan kation tertentu dalam proses absorpsi logam berat, sehingga memperkaya proses stabilisasi (Hidayat, 2015).

Penggunaan biochar kotoran ayam dan biochar limbah daun secara signifikan mengurangi Cd, Cu, dan Pb. Penggunaan biochar jerami gandum pada tanah tercemar Cd pada dosis 0, 20, dan 40 ton/ha dapat menurunkan konsentrasi Cd pada jaringan dan biji-bijian tanaman yang signifikan pada dosis 40 ton/ha (Hidayat, 2015).

Biochar yang merupakan hasil samping berupa karbon hitam dapat digunakan untuk mengatasi kandungan bahan organik tanah pada tailing (limbah tambang emas), dan diharapkan dapat mendorong penyerapan logam berat. Hamzah dkk (2012) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang sapi dan biochar dengan penambahan *ferrous sulfate* (FeSO_4) mampu memperbaiki pH tanah dan meningkatkan kesuburan tanah tailing sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman remediasi (*Vetiveria Zizanoides* L). Total Hg yang terserap tertinggi adalah 33,20 mg/kg. Pb tertinggi adalah 92,00 mg/kg. Logam berat terserap di dalam akar tanaman karena tanaman ini memiliki ciri sistem perakaran, yaitu masih dapat menangkap logam berat yang lebih tinggi, yang kemudian disimpan di dalam akar dan sebagian lagi di daun. Daya serap Hg pada akar 88,91%, serapan daun 11,09%, serapan Pb pada akar 51,17%, dan serapan daun 43,83% (Hamzah *et al.*, 2012).

Fitoremediasi adalah metode yang menggunakan tumbuhan untuk mengekstrak, menumpuk dan/atau mendetoksifikasi, dalam membersihkan lingkungan. Karena tanaman memiliki karakteristik genetik yang unik baik dalam biokimia maupun fisiologi, tanaman merupakan agen yang ideal untuk perbaikan kualitas tanah dan air. Fitoremediasi dianggap sebagai teknologi yang inovatif, ekonomis dan relatif aman bagi lingkungan, sehingga merupakan solusi untuk memperbaiki beberapa area yang terkontaminasi logam berat. (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Fitoremediasi adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan berbagai mekanisme di mana tumbuhan hidup dapat mengubah komposisi kimiawi matriks tanah yang terkontaminasi tempat mereka tumbuh. Dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya, keunggulan utama penerapan teknologi fitoremediasi ini terletak pada kemampuannya menghasilkan limbah sekunder yang memiliki toksisitas lebih rendah, lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis. Kerugian dari obat nabati adalah membutuhkan waktu yang lama, dan ada juga kemungkinan kontaminan masuk ke rantai makanan dengan memakan hewan pada tumbuhan tersebut. Berbagai tanaman yang tumbuh di area yang terkontaminasi menunjukkan bahwa tanaman ini toleran. Toleransi super terhadap logam berat adalah fitur utama yang menunjukkan akumulasi super tanaman (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Fitoremediasi terdiri dari lima proses utama, Phytostabilisasi, Phytoekstraksi, Phytofiltrasi atau rhizofiltrasi, Phytovolatilisasi, dan Phytotransformasi. Tanaman yang berpotensi untuk fitoremediasi tanah dan air yang tercemar limbah logam berat dalam penambangan emas menunjukkan bahwa tanaman tertentu berpotensi menyerap logam berat dan sianida. *Ipomoea* (*Ipomoea sp*) dapat menyerap sianida yang sangat tinggi, artinya dapat dikembangkan untuk fitoremediasi sianida. Pada saat yang sama, *Mikania cordata* (Burm.f.) dapat menyerap timbal (Pb). Tanaman telah mengembangkan tiga strategi dasar untuk tumbuh di tanah yang terkontaminasi logam, yaitu penghilangan logam (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Tanaman secara efektif mencegah logam berat memasuki bagian atas tanaman, tetapi konsentrasi logam di sekitar dan di dalam akar masih tinggi. Tanaman ini secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi demikian juga di akar, Tanaman ini mengakumulasi logam pada jaringan bagian atas tanaman dan kadar logam dalam jaringan tanaman ini umumnya mencerminkan kadar logam di dalam tanah (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Agen pengakumulasi, tanaman super-akumulasi dapat mengakumulasi logam konsentrasi tinggi di jaringan tanaman, bahkan melebihi konsentrasinya di tanah. Terlepas dari konsentrasi logam dalam tanah, tanaman yang mengandung lebih dari 0,1% unsur Ni, Co, Cu, Cr atau Pb atau 1% Zn dalam daun atau per berat kering biomassa disebut tumbuhan super akumulatif. Diketahui bahwa tumbuhan dari famili Brassicaceae memiliki banyak jenis tumbuhan superakumulasi, terutama tumbuhan dari genus *Brassica* yang dapat mengakumulasi logam kadmium atau logam beracun lainnya dalam konsentrasi tinggi (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Tanaman bunga matahari (*Tithonia diversifolia* dan *Helianthus annuus*) juga merupakan tanaman yang efektif untuk memperbaiki logam Pb dan Zn. Kadar logam berat dalam sampel diambil di Kawasan Industri Medan, daerah pengambilan sampel masih dalam radius 500 meter dari kawasan industri, sehingga kemungkinan terjadinya pencemaran tanah masih relatif tinggi. Selama tiga bulan pengamatan, tanaman hias menunjukkan kemampuannya sebagai pengumpul logam berat pada jaringan tanaman. Super aritmatika terbaik adalah *Codiatum sp.*, *Diffenbachia, sp* dan *chrysalidocarpus lutescens* (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Hal tersebut dikarenakan kemampuan beradaptasi dengan lingkungan yang tercemar lebih baik dibandingkan jenis tanaman hias lainnya. Di *Diffenbachia sp.* Diperoleh proporsi serapan logam berat tertinggi pada setiap biomassa tumbuhan. Diikuti oleh *Gazania*, *Chrysalidocarpus lutescens*, *Sansevieria trifasciata* dan *Dracaena fragrans*. Asupan logam berat terbesar adalah *Codiatum* (291 mg/kg), disusul *Diffenbachia sp.* (246 mg/kg), *Chrysalidocarpus lutescens* (185 mg/kg), *Sansevieria trifasciata* (162 mg/kg) dan *Dracaena fragrans* (102 mg/kg). *Diffenbachia sp.*, *Codiatum variegatum* dan *Chrysalidocarpus lutescens* merupakan tanaman hias yang potensial dan dapat digunakan sebagai superakumulator logam berat di kawasan industri (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

4. REMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI BATUBARA

Batubara merupakan salah satu sumber alami hidrokarbon polisiklik aromatik, sehingga potensi pencemaran pada lahan di wilayah penambangan sangat besar. *Co-composting* merupakan salah satu teknologi bioremediasi yang terbukti dapat menurunkan kandungan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) dalam tanah tanpa mengeluarkan biaya yang besar. Dengan mencampurkan sampah organik dan tanah yang tercemar PAH (Sari, dkk, 2016).

Batubara mengandung struktur aromatik yang melebihi bahan bakar lain, dan dapat menghasilkan PAHs hingga 100 kali lebih besar daripada minyak bumi. Dari sejumlah teknologi remediasi tanah terkontaminasi PAHs yang telah dikembangkan, bioremediasi dengan teknologi *composting* telah terbukti efektif, lebih ekonomis, dan lebih mudah diaplikasikan (Mizwar dan Trihadiningrum, 2014).

Selain itu, potensi sebaran pencemaran PAHs-batubara juga lebih luas daripada sebaran pencemaran PAHs pada tar dan kokas batubara mengemukakan bahwa potensi pencemaran PAHs-batubara terutama terjadi pada aktivitas penambangan terbuka, pengolahan batubara, pembuangan limbah pertambangan batubara, penimbunan batubara di *stockpile* serta tumpahan selama bongkar-muat batubara di pelabuhan dan kecelakaan transportasi pengangkutan batubara. Oleh karena itu, sudah selayaknya remediasi tanah terkontaminasi PAHs-batubara menjadi salah satu perhatian utama dalam upaya perbaikan kualitas lingkungan karena potensi risiko yang ditimbulkan oleh PAHs terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Mizwar dan Trihadiningrum, 2014). Proses pengomposan bersama selama 98 hari dilakukan dalam kondisi optimal. Rasio campuran tanah terkontaminasi PAH dengan sampah organik (rasio T/S) terdiri dari 5 komposisi yaitu 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, dan 0/100.

Hasil penelitian membuktikan bahwa penambahan penambahan sampah organik dalam proses *co-composting* mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme sehingga tingkat degradasinya lebih besar. Degradasi PAH paling besar ditemukan pada rasio T/S 50/50 dalam variasi pH tanah netral yaitu 59,89%. Hasil degradasi ini tidak jauh berbeda dengan variasi pH tanah asam yaitu 58,49%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pH tanah tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap proses biodegradasi PAH dalam proses *co-composting*.

5. KESIMPULAN

Dalam mengatasi permasalahan tanah tercemar dapat menggunakan metode remediasi tanah. Terdapat berbagai macam cara untuk remediasi tanah, yang disimpulkan antara lain dengan menggunakan bioremediasi yaitu dengan teknik pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme sebagai agen bioremediator dan fitoremediasi yang merupakan teknologi mengolah limbah dengan sistem menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan tercemar. Penelitian terdahulu membuktikan bahwa dengan menggunakan bioremediasi dan fitoremediasi mampu menurunkan kontaminan dan merupakan teknologi yang menjanjikan untuk dipelajari lebih lanjut untuk menjaga kelestarian tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, A., Yani, M. dan Murtalaksono, K. (2016) 'Bioremediasi Tanah Bertekstur Klei Terkontaminasi Minyak Bumi: Aplikasi Teknik Biopile dengan Penambahan Pasir', *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 6(1), p. 13.
- Aziz, T., Rizky, A. dan Devah, V. (2015) 'Removal Logam Berat dari Tanah Terkontaminasi dengan Menggunakan *Chelating Agent* (EDTA)', *Jurnal Teknik Kimia*, 21(2), pp. 41–49.
- Faiza, R. (2013) 'Identifikasi Spora Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) pada Tanah Tercemar Minyak Bumi di Bojonegoro', *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 2(1), pp. 7–11.
- Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban P., dan L.J Fransisca (2011) 'Concentration of Heavy Metals in Seagrasses Tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal', *International journal of environmental sciences*, 2(1), p. 145.
- Hakim, L. dan Sismanto, S. F. (2005) 'Remediasi Tanah Terkontaminasi Logam Berat Krom (Cr) dengan Teknik Remediasi Elektrokinetik', *Jurnal Logika*, 2(2).
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, W.H., dan Guritno, B. (2012) 'Penggunaan Tanaman *Vetiveria*

- zizanoides L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Tambang Emas', *Buana Sains*, 12(1), pp. 53–60.
- Hidayat, B. (2015) 'Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar', *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), pp. 51–61.
- Indonesia, P. R. dan Nusantara, W. (1997) 'Undang Undang No. 23 Tahun 1997 Tentang: Pengelolaan Lingkungan Hidup', *Jakarta: Menteri Negara Sekretaris Negara Republik Indonesia*.
- Irsyad, M., Sikanna, R. dan Musafira, M. (2014) 'Translokasi Merkuri (Hg) pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus Spinosa* L) Dari Tanah Tercemar', *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 3(1).
- Larasati, T. R. D. dan Mulyana, N. (2016) 'Bioremediasi lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi', *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 9(2).
- Mizwar, A. dan Trihadiningrum, Y. (2014) 'Potensi Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbons dari Batubara dengan Composting', in *Seminar Nasional Waste Management II*.
- Mustafa, M., Asmita, A., M. Ansar, dan Masyhur, S. (2012) 'Modul Pembelajaran Dasar-Dasar Ilmu Tanah', *Universitas Hasanuddin Makassar*, 169.
- Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, D. A. (2006) 'Karakteristik, Potensi, dan teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia', *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), pp. 39–46.
- Prayitno, J. (2017) 'Ujicoba Konsorsium Mikroba Dalam Upaya Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Menggunakan Teknik Landfarming Skala Bangku', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), pp. 208–215.
- Purbalisa, W., Mulyadi, M. dan Purnariyanto, F. (2017) 'Kadar Kadmium dan Hasil Produksi Padi Pada Tanah Tercemar Kadmium Yang Telah Diremediasi'.
- Saidy, A. R. (2009) 'Hubungan antara Konsentrasi Cr (VI) dan Sifat Kimia Tanah: Informasi Awal untuk Remediasi Lahan Bekas Tambang di Kalimantan Selatan', *Jurnal Tanah Tropika*.
- Sari, G. L., Mizwar, A. dan Trihadiningrum, Y. (2016) 'Pengaruh pH Tanah Terhadap Proses Biodegradasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) pada Tanah Terkontaminasi Batubara', *Jurnal Teknologi*, 8(1), pp. 31–38.
- Septiningrum, K. dan Hardiani, H. (2016) 'Aplikasi Konsorsium Mikroba untuk Meremediasi Tanah Terkontaminasi Timbal dari Limbah Proses Deinking Industri Kertas', *Jurnal Selulosa*, 1(02).
- Sidauruk, L. dan Sipayung, P. (2015) 'Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias', *Pertanian Tropik*, 2(2).
- Sopiah, N., Avi, O., Susi, S., Fuji, S., dan Dwindrata, A. (2011) 'Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon yang Berasal dari Tanah Tercemar Minyak Bumi', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(3), pp. 291–298.
- Sopyan, S., Sikanna, R. dan Sumarni, N. K. (2014) 'Fitoakumulasi Merkuri Oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus Spinosa* Linn) Pada Tanah Tercemar', *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 3(1).
- Utami, S. N. H. dan Handayani, S. (2003) 'Sifat Kimia Entisol pada Sistem Pertanian Organik Chemical Properties in Organic and Conventional Farming System', *Ilmu Pertanian*, 10(2), pp. 63–69.