BIOREMEDIASI LINGKUNGAN TERCEMAR Klorpirifos

Candra Dwi Anggreini

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan,
Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

Email korespondensi: candra08215015@std.trisakti.ac.id

ABSTRAK

Insektisida merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari sektor pertanian karena dapat membasmi serangga yang dapat menurunkan produktivitas hasil pertanian. Salah satu jenis insektisida yang sering digunakan adalah klorpirifos, yaitu insektisida organofosfat dengan rumus molekul $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$. Meluasnya penggunaan klorpirifos ini berbahaya bagi lingkungan karena dapat mencemari tanah pertanian, air tanah, bahkan badan air dan juga beracun bagi mamalia, oleh karena itu penting untuk menghilangkannya dari lingkungan. Beberapa metode untuk menanggulangi residu klorpirifos di lingkungan telah dilakukan, yaitu menggunakan metode fisika kimia. Namun, metode ini kurang efektif karena memerlukan biaya besar dan memungkinkan timbulnya pencemar sekunder. Karena metode fisika kimia kurang efektif, maka alternatif lain adalah dengan menggunakan pendekatan secara biologi, salah satunya adalah bioremediasi. Bioremediasi menjadi alternatif pilihan untuk menanggulangi residu klorpirifos di lingkungan karena memanfaatkan aktivitas enzimatik mikroba seperti bakteri, fungi, dan alga untuk mendegradasi klorpirifos, sehingga bersifat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan pencemaran sekunder. Dalam karya tulis ilmiah ini mencoba menyajikan informasi mengenai keunggulan bioremediasi dan potensi beberapa jenis mikroba dalam mendegradasi klorpirifos di lingkungan. Dengan demikian, tujuan dari karya tulis ilmiah ini adalah untuk memberikan informasi mengenai teknologi bioremediasi untuk menyisihkan klorpirifos dari lingkungan.

Kata Kunci: *klorpirifos; bioremediasi; biodegradasi*

PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida secara ekstensif melalui aplikasi di lapangan, penggilangan tanaman, penanganan, pembilasan kontainer, tumpahan tak disengaja, dll memiliki potensi untuk mencemari tanah dengan parah (Briceno G. *et al.*, 2012). Sebagian besar pestisida yang digunakan secara umum saat ini dikenal dapat merusak keragaman fungsional mikrobiota tanah yang menyebabkan hilangnya kesuburan tanah dan terhambatnya pertumbuhan tanaman, sehingga menyebabkan kelestarian tanah pertanian pada risiko serius. Hal ini terjadi karena adanya kandungan insektisida yang kuat (Fang *et al.*, 2009). Menurut Lu *et al* (2013), untuk menambah kompleksitas situasi, residu pestisida dan metabolitnya sering menyusup melalui permukaan tanah ke dalam air tanah dan menyebabkan kontaminasi luas pada ekosistem air. Selain itu, adanya pencemaran ini menyebabkan tanah pertanian kehilangan kesuburannya karena tidak stabilnya nilai pH yang merupakan parameter untuk memperkirakan mobilitas unsur-unsur kimia dalam tanah, sehingga pH dapat dipergunakan untuk mengukur ketersediaan nutrisi dan logam berat berkaitan dengan tingkat toksisitas dan pencemaran tanah. Hilangnya kesuburan tanah juga dapat diakibatkan karena miskinnya unsur hara, akumulasi unsur yang bersifat racun, dan aktivitas organisme yang rendah (Chalim, 2010; Widyatmoko 2011).

Klorpirifos adalah salah satu insektisida organofosfat dengan spektrum luas yang paling banyak digunakan pada sektor pertanian. Klorpirifos dengan rumus molekul $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ digunakan di seluruh dunia untuk mengendalikan berbagai hama pengunyah dan penghisap, tungau serangga pada berbagai tanaman penting seperti buah jeruk, pisang, sayuran, kentang, kopi, coklat, teh, kapas, gandum, beras, dan sebagainya (Chen *et al.*, 2012). Meskipun klorpirifos dianggap hanya beracun secara moderat, klorpirifos diketahui memiliki sifat neurotoksik dan imunotoksik, dan telah terbukti dapat menjadi berbahaya bagi hewan dan manusia. Klorpirifos juga telah dilaporkan menyebabkan berkurangnya populasi bakteri, jamur, dan diketahui menghambat mineralisasi nitrogen dalam tanah. Pendeteksian kontaminasi klorpirifos pada badan air permukaan dan sedimen yang terkait telah meningkatkan perhatian publik dan membutuhkan perhatian segera untuk masalah tersebut (Akbar *et al.*, 2016).

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk memulihkan lingkungan tercemar klorpirifos adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme untuk membersihkan polusi kimia dengan mengurangi konsentrasi dan/atau toksisitas senyawa kimia dan memulihkan kondisi alam yang bersifat ramah lingkungan karena menggunakan aktivitas enzimatik mikroorganisme dengan memanfaatkan pencemar sebagai sumber nutrisinya (Hardiani *et al.*, 2011). Mikroorganisme yang biasa digunakan dalam bioremediasi tanah tercemar adalah bakteri, fungi, dan alga.

Dari penjabaran di atas, maka di dalam karya tulis menyajikan informasi mengenai keunggulan bioremediasi dalam menyisihkan klorpirifos dan beberapa potensi mikroba dalam melakukan biodegradasi klorpirifos di lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik/anorganik polutan dari sampah organik dengan menggunakan organisme (bakteri, fungi, tanaman atau enzimnya) dalam mengendalikan pencemaran pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang dengan tujuan mengontrol atau mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Vidali *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2011).

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Selain biayanya murah, dapat juga dilakukan secara *in-situ* langsung di tempat dan prosesnya alamiah (Hardiani *et al.* 2011). Teknologi bioremediasi ada dua jenis, yaitu *ex-situ* dan *in-situ*. *Ex-situ* adalah pengelolaan yang meliputi pemindahan secara fisik bahan-bahan yang terkontaminasi ke suatu lokasi untuk penanganan lebih lanjut. Penggunaan bioreaktor, pengolahan lahan (*landfarming*), pengomposan adalah contoh dari teknologi *ex-situ*, sedangkan teknologi *in-situ* adalah perlakuan yang langsung diterapkan pada bahan-bahan kontaminan di lokasi tercemar (Vidali *et al.*, 2011).

Biodegradasi

Penggunaan mikroba untuk detoksifikasi, degradasi, dan penghilangan senyawa beracun dari tanah dan air yang terkontaminasi telah muncul sebagai teknik yang efisien untuk membersihkan lingkungan yang tercemar. Degradasi mikroba dari senyawa kimia di lingkungan merupakan rute penting untuk menghilangkan senyawa ini. Biodegradasi senyawa-senyawa ini, misalnya insektisida seringkali berbentuk kompleks dan melibatkan serangkaian reaksi biokimiawi. Saat ini, di antara berbagai kelompok insektisida yang digunakan di seluruh dunia, insektisida organofosfat paling banyak digunakan yang menyumbang lebih dari 36% dari total pasar dunia. Akumulasi organofosfat ini memiliki bahaya kesehatan yang tinggi. Oleh karena itu, degradasi pestisida golongan ini sangat penting dilakukan (Thabit dan Naggari, 2013).

Biodegradasi adalah pendekatan yang andal untuk secara efisien menghilangkan polutan persisten seperti klorpirifos. Meskipun banyak bakteri atau jamur yang diisolasi dari lingkungan yang terkontaminasi dan mampu menurunkan klorpirifos, enzim yang bertanggung jawab atas degradasinya masih terbatas untuk diidentifikasi, apalagi mekanisme katalitik enzim (Fan *et al.*, 2017).

Degradasi klorpirifos abiotik, seperti perlakuan kimia, fotodekomposisi, volatilisasi, dan pembakaran, selalu tidak efisien, mahal, dan berbahaya bagi lingkungan, sehingga biodegradasi oleh enzim utama mikroorganisme dianggap sebagai pendekatan yang andal untuk menghilangkan klorpirifos secara efektif dan lengkap (Barman *et al.*, 2014).

Mikroba Pendegradasi Klorpirifos

Seperti yang diketahui bahwa pertanian intensif sangat tergantung pada penggunaan insektisida kimia untuk mengendalikan serangga. Namun, metode ini memakan waktu dan berbahaya bagi lingkungan. Sebagai bahan kimia yang menumpuk di tanah, mereka menjadi racun bagi mikroorganisme dan tanaman, oleh karena itu, pembersihan tanah menggunakan

remediasi adalah yang paling penting (Das *et al.*, 2014). Di antara berbagai teknologi remediasi, metode biologis sangat menjanjikan karena mudah dioperasikan, tidak menghasilkan polusi sekunder, dan menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dalam membersihkan tanah. Penggunaan mikroba untuk menghilangkan/degradasi insektisida seperti klorpirifos dari tanah pertanian dikenal luas, sebagian besar melalui degradasi enzimatik (Vladimir P. *et al.*, 2012).

Secara umum, mikroorganisme mampu menekan hama dengan memproduksi racun, menyebabkan penyakit atau mencegah pembentukan organisme lain. Mikroba tanah seperti jamur, bakteri, aktinomisetes, dan protozoa merupakan komponen yang sangat penting dalam ekosistem tanah karena mikroba tersebut memiliki peran utama dalam siklus nutrisi, mempertahankan struktur tanah, dan juga mengatur pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme (Vladimir P. *et al.*, 2011).

Mikroba adalah agen biologis utama yang mampu menghilangkan limbah dan bahan-bahan yang merusak, termasuk pestisida, serta mempromosikan daur ulang mereka di lingkungan. Hingga saat ini, penelitian mengenai potensi mikroba sebagai bioremediasi telah banyak dilakukan, contohnya adalah eksplorasi potensi kemampuan beberapa jenis bakteri dalam mendegradasi pestisida, salah satunya klorpirifos seperti yang dikemukakan oleh Agustiyani (2011) yang menyatakan bahwa potensi bakteri denitrifikasi dapat dikembangkan sebagai agen dalam bioremediasi pestisida apabila bakteri tersebut mampu memanfaatkan senyawa kompleks pestisida sebagai sumber karbon bagi pertumbuhannya. Beberapa mikroba pendegradasi klorpirifos dapat dilihat pada Tabel 1 dan hasil penelitian terdahulu mengenai beberapa biodegradasi klorpirifos oleh jenis mikroba yang berbeda disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Mikroba Pendegradasi Klorpirifos

Mikroba	Jenis	Model Degradasi
Bakteri	<i>Eterobacter</i> sp.	<i>Catabolic</i> (C, P)
	<i>Flavobacterium</i> sp.	Co-metabolic
	<i>Pseudomonas diminuta</i>	Co-metabolic
	<i>Micrococcus</i> sp.	Co-metabolic
Fungi	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	<i>Catabolic</i> (C)
	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Catabolic</i> (P)
	<i>Trickoderma harzianum</i>	<i>Catabolic</i> (P)
	<i>Penicilum brevicompactum</i>	<i>Catabolic</i> (P)

(Singh *et al.*, 2011)

Tabel 2. Hasil Penelitian Terdahulu

Judul Paper, tahun	Penulis	Hasil Penelitian
Biodegradation of Chlorpyrifos and Its Hydrolysis Product 3,5,6-Trichloro-2-Pyridinol by a New Fungal Strain <i>Cladosporium cladosporioides</i> Hu-01, 2012	Shaohua Chen, Chenglan Liu, Chuyan Peng, Hongmei Liu, Meiying Hu, Guohua Zhong	<ul style="list-style-type: none"> Kultur fungi <i>Cladosporium cladosporioides</i> mampu mendegradasi 50 mg/l klorpirifos dalam waktu 5 hari. Kondisi degradasi klorpirifos optimum terjadi pada suhu 26,8°C dan pH 6,5.
Soil bacteria showing a potential of chlorpyrifos degradation and plant growth enhancement, 2016	Shamsa Akbar, Sikander Sultan	Bakteri <i>A. xylosoxidans</i> dan <i>Ochrobacterium</i> sp. masing-masing mampu menurunkan 84,4% dan 78,6% dari konsentrasi awal klorpirifos sebesar 100 mg/l dalam waktu 10 hari.
Degradation of Chlorpyrifos by an alkaline phosphatase from the cyanobacterium <i>Spirulina platensis</i> , 2010	Rutwik Ravindra Mandakini , Thengodkar, S. Sivakami	Mikroalga biru hijau dapat mendegradasi 80 ppm klorpirifos menggunakan alkali fosfatase sebagai sumber enzim.

PENUTUP

Dari hasil penelitian Chen *et al.*, Akbar dan Sultan, serta Thegodkar dan Sivakami, dapat diketahui bahwa beberapa jenis mikroba fungi, bakteri, dan alga mampu menyisihkan klorpirifos mencapai 50-100 mg/l. Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa bioremediasi menjadi alternatif yang tepat untuk menyisihkan klorpirifos di lingkungan karena memanfaatkan aktivitas enzimatik mikroba dengan melakukan degradasi pada klorpirifos dan dapat menjadikan klorpirifos sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhannya. Oleh karena itu, penelitian mengenai bioremediasi lingkungan tercemar klorpirifos dapat terus dieksplorasi dengan menggunakan mikroba dari jenis yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyan, Dewi. 2011. Potensi Bakteri Denitrifikasi dalam Biodegradasi Carbaryl pada Kondisi Anaerobik. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 12 (3): 233-348.
DOI: <http://dx.doi.org/10.29122/jtl.v12i3>
- Akbar, Shamsa, Sikander Sultan. 2016. Soil bacteria showing a potential of chlorpyrifos degradation and plant growth enhancement. *Brazilian journal of microbiology*. 47 (3): 563–570.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.009>
- Chalim, Abdul. 2010. Pengaruh Aplikasi Rhizobium dan Cendawan Mikoriza Arbuskula (Cma) terhadap Pertumbuhan Semai *Acacia crassicarpa*. A. cunn. Ex Benth. pada Medium Tanah Terdegradasi. *Indonesian Jurnal of Urban and Environmental Technology*. 5 (4): 139-144.
DOI: <http://dx.doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i4.685>
- Chen, Shaohua, Chenglan Liu, Chuyan Peng, *et al.* 2012. Biodegradation of Chlorpyrifos and Its Hydrolysis Product 3,5,6-Trichloro-2-Pyridinol by a New Fungal Strain *Cladosporium cladosporioides* Hu-01. *PLoS ONE* 7 (10): e47205.
DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0047205>
- Barman, D.N., Md. Azizul Haque, Shah Md. Asraful Islam, *et al.* 2014. Cloning and expression of *ophB* gene encoding organophosphorus hydrolase from endophytic *Pseudomonas* sp. BF1–3 degrades organophosphorus pesticide chlorpyrifos. *Ecotoxicol Environ Saf.* 108: 135–41.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.06.023>
- Briceno G., M.S. Fuentes, G. Palma, *et al.* 2012. Chlorpyrifos biodegradation and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol production by actinobacteria isolated from soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 73: 1-7.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.06.002>
- Das, Ratul K., Saurabh Jyoti Sarma, Satinder Kaur Brar. 2014. Nanoformulation of Insecticides- Novel Products. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides*. 5: 1.
DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-6202.1000e120>
- Fan, Shuanghua, Kang Li, Yanchun Yan, *et al.* 2017. A novel chlorpyrifos hydrolase CPD from *Paracoccus* sp. TRP: Molecular cloning, characterization and catalytic mechanism. *Electronic Journal of Biotechnology*. 31: 10–16.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.10.009>
- Fang, Hua, Yunglong Yu, Xiaoqiang Chu, *et al.* 2009. Degradation of chlorpyrifos in laboratory soil and its impact on soil microbial functional diversity. *Journal of Environmental Sciences*. 21 (3): 380-386.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62280-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62280-9)
- Hardiani, Henggar, Teddy Kardiansyah, Susi Sugesty. 2011. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah *Sludge* Industri Kertas Proses Deinking. *Jurnal Selulosa*. 1 (1): 31-41.
DOI: <http://dx.doi.org/10.25269/jsel.v1i01.18>
- Jabeen, Hina, Samina Iqbal, Samina Anwar. 2014. Biodegradation of chlorpyrifos and 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol by a novel rhizobial strain *Mesorhizobium* sp. HN3. *Water and Environment Journal*. 29 (1): 151-160.
DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12081>
- Lu, Peng, Qinfen Li, Hongming Liu, *et al.* 2013. Biodegradation of chlorpyrifos and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol by *Cupriavidus* sp. DT-1. *Bioresource Technology*. 127: 337-342.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.116>
- Singh, D.P., J.I.S. Khattar, J. Nadda, *et al.* 2011. Chlorpyrifos degradation by the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PUPCCC 64. *Environ Sci Pollut Res*. 18:1351–1359.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0472-x>

- Thabit, Tamer M.A., Medhat A.H. El-Naggar. 2013. Malathion degradation by soil isolated bacteria and detection of degradation products by GC-MS. *International Journal Of Environmental Sciences*. 3 (5): 1467-1476.
DOI: <https://doi.org/10.6088/ijes.2013030500017>
- Thengodkar, Rutwik R.M., S. Sivakami. 2010. Degradation of Chlorpyrifos by an alkaline phosphatase from the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biodegradation*. 21 (4): 637-644.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9331-6>
- Vidali, M. 2011. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*. 73 (7): 1163–1172.
DOI: <https://doi.org/10.1351/pac200173071163>
- Vladimir P., Beskoski, Gojgic-Cvijovic G.D., Milic Jelena S., *et al.* 2011. Bioremediation of soil polluted with crude oil and its derivatives: microorganisms, degradation pathways, technologies. *Hemijska industrija*. 66 (2): 275-289.
DOI: <https://doi.org/10.2298/HEMIND110824084B>
- Widyatmoko, H. 2011. Akurasi pH sebagai Parameter Tingkat Pencemaran Logam Berat dalam Tanah. *Indonesian Jurnal of Urban and Environmental Technology*. 5 (5): 173-178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i5.689>