

## PENGENDALIAN PENCEMARAN TANAH AKIBAT PESTISIDA MELALUI TEKNIK BIOREMEDIASI

Yully Ayuni Putri<sup>1\*</sup>, Imas Cintamulya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pendidikan Biologi, Universitas PGRI Ronggolawe

\*Email : ayuniyully@gmail.com

### ABSTRAK

Penggunaan pestisida selain bermanfaat untuk penghilang hama pada tanaman, juga intensitas pemakaian yang terlalu tinggi dan dilakukan secara terus-menerus akan menyebabkan beberapa dampak yang ditimbulkan antara lain pencemaran, penurunan produktivitas, keracunan hingga kematian pada makhluk hidup serta juga dapat merusak ekosistem. Penggunaan pupuk pestisida terus-menerus dapat menyebabkan tanah menjadi lebih asam. Selain itu, pemakaian pestisida secara nyata akan berakibat dampak buruk bagi tanah sekitar. Inilah, yang harus dicermati bahwa ternyata tidak semua penggunaan pestisida mengenai sasaran. Penggunaan pestisida hanya berkisar 20% yang tepat sasaran, sedangkan 80% sisanya justru jatuh ke tanah. Senyawa kimia yang terkandung pada pestisida tersebut akan diserap oleh partikel-partikel tanah yang akan merusak mikroorganisme yang berada pada tanah tersebut. Jika mikroorganisme rusak, kesuburan tanah akan terganggu. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu ada suatu cara untuk mendegradasi senyawa berbahaya di lingkungan yaitu dengan melakukan remediasi. Bioremediasi menjadi alternatif pilihan untuk menanggulangi residu pestisida pada lingkungan karena memanfaatkan aktivitas enzimatik mikroba seperti bakteri, fungi, dan alga untuk mendegradasi, sehingga bersifat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan pencemaran. Mikroorganisme yang digunakan dapat dari golongan jamur ataupun bakteri. Hasil akhir bioremediasi berupa karbondioksida, air dan sel biomassa. Berdasarkan hal tersebut tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang proses bioremediasi pada pencemaran tanah. Metode yang digunakan adalah menelaah beberapa artikel proses bioremediasi dari berbagai jurnal baik nasional maupun internasional.

**Kata Kunci** : Bioremediasi, Pestisida, Pencemaran Tanah

### PENDAHULUAN

Di Indonesia laju pertumbuhan penduduk tinggi dan membutuhkan peningkatan pada sektor pertanian yang cepat dan berkelanjutan. Peningkatan pada sektor pertanian tersebut memerlukan berbagai sarana yang mendukung yaitu dari alat-alat pertanian, pupuk, bahan-bahan kimia termasuk pestisida. Pestisida merupakan bahan kimia atau campuran dari beberapa bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan atau membasmi organisme pengganggu tanaman. Pestisida dapat diperoleh dari bahan alami ataupun pestisida buatan pabrik. Penggunaan pestisida dewasa ini sudah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pertanian. Pestisida digunakan sebagai upaya preventif untuk pengendalian hama/penyakit. Permintaan pasar yang menginginkan hasil produksi pertanian tanpa cacat menyebabkan penggunaan pestisida menjadi suatu keharusan yang tidak dapat terlepas dari pertanian untuk mencegah kerusakan tanaman akibat hama.

Manfaat pestisida yang tinggi sehingga menyebabkan petani memiliki ketergantungan yang tinggi pada pestisida, semakin banyak pestisida digunakan semakin baik karena produksi pertanian semakin meningkat. Sistem pertanian berbasis bahan *highinput* energi seperti penggunaan pestisida berbahan kimia dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan terutama lingkungan pertanian. Hal tersebut menjadikan pestisida menjadi agen pencemar ke lingkungan baik melalui udara, air maupun tanah dapat berakibat langsung terhadap makhluk hidup maupun lingkungan terserbut. Dampak berupa ketidakstabilan ekosistem, adanya residu pada hasil panen dan bahan olahannya, pencemaran lingkungan dan keracunan bahkan kematian pada manusia [1].

Gangguan pestisida akibat adanya residu pada tanah yaitu pada tingkat kejenuhan karena tingginya kandungan pestisida per satuan volume tanah. Sifat pestisida yang persisten sehingga mengalami pengendapan yang lama pada tanah menyebabkan terjadinya degradasi

tanah. Pestisida yang disemprotkan dapat juga bereaksi dengan senyawa lain menjadi senyawa yang lebih kompleks dan tidak mudah terdeteksi. Jika senyawa baru tersebut menjadi senyawa yang lebih toksik atau racun, maka akan menjadi potensi bahaya bagi lingkungan termasuk bagi manusia. Adanya residu pestisida pada bahan pertanian dapat berasal dari pengaplikasian langsung pestisida kepada tanaman.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh [2] dan [3] menyimpulkan masih ditemukan pestisida pada tanaman sayuran, buah-buahan dan organisme tanah. Kontaminasi tanaman dapat juga berasal karena tanaman ditanam pada tanah dimana residu pestisida telah mengalami akumulasi. Hasil penelitian [4] menunjukkan adanya interaksi antara cemaran pestisida pada pakan ternak dan hijauan konsentrat dengan tingkat residu pestisida dalam serum dan jaringan otak sapi. Pestisida tersebut berasal dari tanaman yang ditanam pada tanah yang telah terkontaminasi pestisida.

Bahaya yang ditimbulkan akibat penggunaan pestisida kimia terutama pada tanah jika tidak segera ditangani dapat mengancam lingkungan dan ekosistem lainnya. Bahan pencemar dapat larut karena air hujan dan dapat mencemari daerah-daerah resapan air disekitarnya sehingga perlu upaya untuk menurunkan atau menghilangkan residu pestisida di lingkungan. Salah satu upaya adalah dengan melakukan remediasi.

Artikel ini membahas mengenai bioremediasi pada tanah yang tercemar pestisida mencakup pengertian bioremediasi, degradasi tanah karena penggunaan pestisida, mikroorganisme dalam proses bioremediasi, kelebihan dan kekurangan bioremediasi sehingga dapat memberi masukan untuk pertimbangan dalam memulihkan kondisi lingkungan yang tercemar dengan bahan yang ramah lingkungan. Metoda yang digunakan adalah menelaah beberapa artikel proses bioremediasi dari berbagai jurnal baik nasional maupun internasional.

## PEMBAHASAN

### Pengertian Bioremediasi

Remediasi merupakan proses dekontaminasi air dan tanah dari senyawa yang berbahaya, seperti hidrokarbon, poliaromatik hidrokarbon (PAH), persistant organic pollutant (POP), logam berat, pestisida dan lain-lain. Proses remediasi yang menggunakan mikroorganisme dikenal sebagai 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 [5] dan [6].

Kelebihan teknologi ini ditinjau dari aspek komersil adalah relatif lebih ramah lingkungan, biaya penanganan yang relatif lebih murah dan bersifat fleksibel. Bioremediasi pada akhirnya menghasilkan air dan gas tidak berbahaya seperti CO<sub>2</sub>.

### Faktor-faktor yang mempengaruhi bioremediasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses bioremediasi adalah ; mikroba, Nutrisi dan Lingkungan. Mikroba memiliki kemampuan untuk mendegradasi, mentransformasi dan menyerap senyawa pencemar. Mikroba yang digunakan dapat berasal dari golongan fungi, bakteri ataupun mikroalga, nutrisi dan lingkungan. Jenis nutrisi yang dibutuhkan bagi mikroba, diantaranya unsur karbon (C), Nitrogen (N), Posfor (P) dan lain lain. ; Lingkungan yang berpengaruh antara lain oksigen, suhu. DO, dan pH.

### Kecepatan Biodegradasi Di Tanah

Kecepatan Biodegradasi di tanah tergantung terdapat empat variabel menurut [6] yaitu:

1. Ketersediaan pestisida atau metabolit terhadap mikroorganisme.
2. Status fisiologis dari mikroorganisme
3. Perkembangbiakan mikroorganisme pendegradasi pestisida pada lokasi terkontaminasi
4. Keberlanjutan populasi mikroorganisme.

### **Teknik Bioremediasi**

Empat teknik yang dapat digunakan dalam bioremediasi adalah

1. Melakukan stimulasi aktivitas mikroorganisme asli pada lokasi tercemar dengan penambahan nutrient, pengaturan kondisi redoks, optimalisasi pH.
2. Inokulasi mikroorganisme di lokasi tercemar
3. Penerapan immobilized enzyme
4. Penggunaan tanaman (*phytoremediasi*).

### **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*), pengkomposan dan beberapa bentuk perlakuan fase padat lainnya adalah contoh dari teknologi exsitu, sedangkan teknologi in situ adalah perlakuan yang langsung diterapkan pada bahan-bahan kontaminan di lokasi tercemar [5].

### **Degradasi Tanah Karena Penggunaan Pestisida**

Tanah sangat penting artinya utamanya bagi usaha pertanian karena kehidupan dan perkembangan tanaman sangat bergantung pada keadaan tanah. Penggunaan tanah untuk usaha-usaha pertanian tanpa diimbangi dengan upaya perbaikan akan menyebabkan degradasi atau kerusakan tanah. Degradasi atau kerusakan tanah adalah hilang atau menurunnya fungsi tanah sehingga tanah mengalami penurunan kemampuan untuk produktif seperti semula [7].

Beberapa faktor penyebab tanah terdegradasi dan rendahnya produktivitas, antara lain : deforestasi, mekanisme dalam usaha tani, kebakaran, penggunaan bahan kimia pertanian, dan penanaman secara monokultur [8]

Pestisida merupakan bahan kimia pertanian yang digunakan untuk membasmi Organisme pengganggu tanaman. Setelah aplikasi, residu pestisida akan terdapat pada tanaman, tanah, dan organisme tanah. Menurut [9], hal ini disebabkan lapisan atas tanah memiliki kandungan organik paling banyak sehingga pestisida mudah

terabsorpsi, terikat kuat sehingga akan menghambat terjadinya penguapan pestisida. Pestisida yang masuk ke lokasi pertanian juga akan memasuki perairan melalui irigasi, dan dapat berpindah ke tanah di lokasi lain karena aliran air permukaan (*runoff*). Pestisida akan mengalami proses alam di dalam tanah. Reaksi-reaksi ini dipengaruhi oleh jenis tanah, kelembaban tanah, pH tanah, temperatur tanah, volatilitas pestisida, mikroorganisme, dan substansi kimia yang terkandung di dalam tanah. Oleh karenanya, laju degradasi satu jenis pestisida tertentu bergantung pada karakteristik fisik tanah, mikroorganisme tanah, dan karakteristik dari pestisida tersebut.

### **Mikroorganisme Pendegradasi Pestisida**

Seperti yang diketahui bahwa pertanian intensif sangat tergantung pada penggunaan pestisida 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 [10].

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 [11].

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 [11]. Menurut [12] beberapa jamur seperti yang telah dimanfaatkan yakni *Trametes hirsutus*, *Phanerochaete chrysosporium*,

*Phanerochaete sordia* dan *Cyathusbulleri* untuk mendegradasi lindan dan pestisida yang lain. Beberapa isolat bakteri murni telah digunakan pestisida spesifik sebagai sumber karbon, nitrogen atau fosfor telah diisolasi.

Mikroba adalah agen biologis utama yang mampu menghilangkan limbah dan bahan-bahan yang rusak, 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 [13] 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.

### Cara Bioremediasi Pestisida

#### 1. Bioremediasi pestisida klorpirifos menggunakan *bioreactor scale up* [14].

Mikroorganisme adalah kultur murni *Pseudomonas Aeruginosa*. Menurut [15] medium kultur adalah medium FTW yang terdiri atas (dalam mg/l) : 0.255 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.255 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.255 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.05 MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0.005 CaCO<sub>3</sub> and 0.005 FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O dicampur dengan 1 ml larutan trace element. Larutan trace element mengandung (dalam mg/l) 169 MgSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O, 288 ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 250 CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, 26 NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O, 28CoSO<sub>4</sub> dan 24 Na<sub>2</sub>.MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O.

Penyiapan pestisida : tabung *erlemeyer* 250 ml dan kultur nutrient di autoclave selama 20 menit pada 121°C. 500µl acetone mengandung pestisida di sterilkan ditambahkan ke *autoclave* dan tabung *erlemeyer* dikeringkan sampai aseton menguap secara komplit. Selanjutnya 100 ml media kultur ditambahkan pestisida sampai sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan [16]. Teknik *Scale-up*: Satu milliliter subkultur *Pseudomonas aeruginosa* di inokulasi ke tabung *erlemeyer* 250 ml yang mengandung media kultur nutrient dengan konsentrasi klorpirifos 10 mg/l. Tabung inokulasi diinkubasi pada orbital shaker pada 160 rpm, 30°C selama 14 hari. Setelah 14 hari

1 ml dari media kultur diambil dan diletakkan pada media kultur dengan konsentrasi pestisida 25 mg/l. Tabung diinmubasi pada skaker pada 160 rpm, 30°C selama 14 hari. Selanjutnya 1 ml dari media kultur ditransfer ke kultur 75 dan 100mg/l, Setiap langkah prosedur melalui pengocokan 160 rpm, 30°C selama 14 hari. Setelah 90 hari perlakuan dihentikan. Setiap 14 hari sampel di pindahkan dan dianalisa menggunakan GC- MS untuk biodegradasi pestisida dan intermediatnya. Pertumbuhan mikrobis dalam tabung *bioreactor* dicatat dengan mengukur absorbans pada 550 nm. Hasil yang diperoleh menunjukkan biodegradasi klorpirifos pada 10, 25 dan 50 mg/l terdegradasi komplit setelah periode 1, 5, 7 hari, berturut – turut. . Intemediate adalah 3, 5, 6 asam trichloro-2-pyridion, 2, 4-bis (1, 1 dimethyiethyl) phenol and 1, 2 zenedicarboxylic selama bioremediasi. Selanjutnya senaywa terse but di konversi menjadi CO<sub>2</sub>, biomassa dan nutrient.

#### 2. Bioremediasi pestisida secara *in situ* [17]

Lahan pertanian yang dibudidayakan tanaman sayuran tomat diberi pupuk kompos kotoran sapi atau tanpa dipupuk kompos (sebagai kontrol) dan pada saat tanaman berusia 1 bulan disemprot pestisida Ditane M-45 dengan konsentrasi 1.2 g/l/20 m<sup>2</sup> (dosis redah), 2.4 g/l/20 m<sup>2</sup> (dosis sedang), dan 3.6 g/l/20 m<sup>2</sup> (dosis tinggi). Perkembangbiakan bakteri dan kapang diamati pada sampel tanah yang diambil pada kedalaman 0 cm, 0–5 cm dan 5–10 cm, selain itu diamati pula konsentrasi residu pestisida dan kandungan C-organik dan N organik. Sampel tanah diambil 0, 2, 4, 7, 15, 30, 45, dan 60 hari setelah waktu penyemprotan pestisida. Analisis populasi bakteri dilakukan dengan metode TPC pada media PCA. Pembuatan PCA dengan melarutkan 15 g agar, 1 g dextrosa, 5 tripton, 1.5 g yeast ke dalam 1000 ml aquadest. Larutan tersebut dipanaskan sambil diaduk dengan magnetic stirer sampai mendidih dan homogen. Selanjutnya larutan disterilisasi dalam autoclave pada suhu 121° C selama 15 menit. Setelah agak dingin dituangkan ke dalam cawan petri steril ± 15–20 ml dan didinginkan. Setelah padat cawan petri ditutup dalam posisi terbalik. Metode TPC dilakukan dengan melarutkan 1 g sampel dengan 9 ml NaCL faali (0.9 %) ke dalam tabung reaksi. Larutan ini pengencerannya 10-1 dan pengenceran dilakukan sampai 10-6. Setiap kali melakukan

pengenceran larutan diaduk menggunakan vortek. Selanjutnya 0.1 ml larutan untuk pengenceran 10<sup>-4</sup> sampai 10<sup>-6</sup> dituang ke media PCA menggunakan ependorf dari stip steril. Selanjutnya larutan disebar dengan sprider yang telah dicelupkan pad alcohol dan dipanaskan. Kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Koloni yang dihitung hanya yang berjumlah 30–300 koloni. Ekstraksi sampel dilakukan secara langsung. Kadar residu pestisida ditentukan dengan menggunakan Kromatografi gas. Hasil yang diperoleh menunjukkan berdasar pada C/N, dan pH, dapat menghasilkan solusi yang lebih baik untuk bioremediasi masalah residu pestisida dilakukan dengan mencampurkan kompos dalam pemeliharaan koltikultura. Penyimpangan pH dalam proses bioremediasi sebesar 0.22, dan pH proses bioremediasi in-situ antara 6.9 dan 7.12 atau pH netral. Pada kondisi ini mikroorganisme akan efektif mengurangi residu pestisida. Proses bioremediasi pada residu pestisida Ditane M-45 pada pemeliharaan holtikultura dibagi menjadi 1.2 g/l/20 m<sup>2</sup>, 2.4 g/l/20 m<sup>2</sup>, dan 3.6 g/l/20 m<sup>2</sup> disebar di area secara sempurna, di mana terlihat dari parameter-parameter akan perkembangan populasi mikroorganisme dan jumlah dari residu pestisida. Residu pestisida untuk setiap dosis adalah 0.25–1.7% pada 35 hari atau nilai ini di bawah 0.003 ppm.

#### **Kelebihan Dan Kekurangan Bioremediasi.**

Kesuksesan metode bioremediasi ditentukan oleh penggunaan mikroba yang tepat, di tempat yang tepat dengan faktor-faktor lingkungan yang tepat untuk terjadinya degradasi. Kelebihan bioremediasi adalah dapat dilakukan pada lokasi (perlakuan lapangan) kurangnya biaya dan gangguan Bioremediasi dapat menghilangkan polutan secara permanen dan dapat diterima masyarakat, dengna didukung peraturan dapat digabung dengan metode perlakuan fisika dan kimia [18].

Bioremediasi juga mempunyai keterbatasan menurut [6]. Residu yang dihasilkan merupakan senyawa yang tidak berbahaya meliputi CO<sub>2</sub>, air, dan sel biomassa. Banyak senyawa yang dianggap berbahaya dapat dirubah menjadi tidak berbahaya dan memindahkan kontaminan dari satu medium lingkungan ke tempat lain.

Strategi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan mendegradasi polutan yaitu : menggunakan sel mikroba untuk mengantar gen melalui konjugasi dan menambahkan gen yang sebenarnya ke tanah [6]

#### **KESIMPULAN**

Pencemaran tanah adalah masuknya bahan kimia buatan manusia sehingga mengubah sifat alami tanah. Pestisida adalah salah satu bahan kimia tersebut yang dapat mencemari tanah. Cemaran pestisida dalam tanah dapat memberi dampak yang merugikan baik terhadap tanah, tanaman serta manusia dan hewan. Bioremediasi dapat digunakan untuk menghilangkan polutan (menggunakan sel mikroba untuk mengantar gen melalui konjugasi dan menambahkan gen yang sebenarnya ke tanah) pestisida secara permanen di tanah menggunakan mikroorganisme. Mikroorganisme yang digunakan dapat dari golongan jamur ataupun bakteri. Faktor yang perlu diperhatikan ketika melakukan bioremediasi adalah jenis mikroorganisme yang akan digunakan, lokasi dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses bioderadasi. Hasil akhir dari proses remediasi adalah CO<sub>2</sub>, air, dan sel biomassa.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] P. Djojsumarto, *Panduan lengkap pestisida & aplikasinya*. Agromedia, 2008.
- [2] S. J. Munarso, “Kontaminasi residu pestisida pada cabai merah, selada, dan bawang merah (Studi kasus di Bandungan dan Brebes Jawa Tengah serta Cianjur Jawa Barat),” *J. Hortik.*, vol. 19, no. 1, 2009.
- [3] G. N. C. Tuhumury, J. A. Leatemia, R. Y. Rumthe, and J. V Hasinu, “Residu pestisida produk sayuran segar di Kota Ambon,” *Agrologia*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [4] Y. Sani, “Neuropathology of organophosphate poisoning in dairy cattle,” *J. Ilmu Ternak dan Vet.*, vol. 12, no. 1, pp. 74–85, 2007.
- [5] M. Vidali, “Bioremediation. an overview,” *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, no. 7, pp. 1163–1172, 2001.

- [6] B. K. Singh and A. Walker, "Microbial degradation of organophosphorus compounds," *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 30, no. 3, pp. 428–471, 2006.
- [7] S. Arsyad, "Konservasi Air dan Tanah." Bogor: IPB Press, 2000.
- [8] R. Lal, "Soil management in the developing countries," *Soil Sci.*, vol. 165, no. 1, pp. 57–72, 2000.
- [9] R. C. Tarumingkeng, *Insektisida: sifat, mekanisme kerja dan dampak penggunaannya*. Penerbit Ukrida, 1992.
- [10] C. D. Anggreini, "Bioremediasi Lingkungan Tercemar Klorpirifos," 2019.
- [11] V. Beškoski *et al.*, "Bioremediation of soil polluted with crude oil and its derivatives: microorganisms, degradation pathways, technologies," *Hem. Ind.*, vol. 66, no. 2, pp. 275–289, 2012.
- [12] B. K. Singh and R. C. Kuhad, "Degradation of insecticide lindane ( $\gamma$ -HCH) by white-rot fungi *Cyathus bulleri* and *Phanerochaete sordida*," *Pest Manag. Sci.*, vol. 56, no. 2, pp. 142–146, 2000.
- [13] D. Agustiyani, "Potensi Bakteri Denitrifikasi dalam Biodegradasi Carbaryl pada Kondisi Anaerobik," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 12, no. 3, pp. 259–267, 2011.
- [14] M. H. Fulekar and M. Geetha, "Bioremediation of Chlorpyrifos by *Pseudomonas aeruginosa* using scale up technique," *J Appl Biosci*, vol. 12, pp. 657–660, 2008.
- [15] D. C. Herman and W. T. Frankenberger Jr, "Bacterial reduction of perchlorate and nitrate in water," *J. Environ. Qual.*, vol. 28, no. 3, pp. 1018–1024, 1999.
- [16] U. C. Brinch, F. Ekelund, and C. S. Jacobsen, "Method for spiking soil samples with organic compounds," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 68, no. 4, pp. 1808–1816, 2002.
- [17] S. Yohanes, M. S. Utama, W. Tika, and I. B. P. Gunadnya, "Optimalisasi Proses Bioremediasi Secara In Situ Pada Lahan Tercemar Pestisida Kelompok Mankozeb," *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 51–56, 2012.
- [18] K. Rani and G. Dhania, "Bioremediation and biodegradation of pesticide from contaminated soil and water—a novel approach," *Int J Curr Microbiol App Sci*, vol. 3, no. 10, pp. 23–33, 2014.