

Potensi bakteri indigen Indonesia dalam mendegradasi karbofuran

Potential of Indonesian indigenous bacteria in degrading carbofuran

Nida Sopiah¹, Wahyu Irawati^{2,*}, Yantra Wijaya³

¹ Pusat Teknologi Lingkungan, Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam Gedung 820 Geotech, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia – 15314

² Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Pelita Harapan. Jl. M.H. Thamrin Boulevard 1100, Lippo Karawaci, Tangerang, Banten, Indonesia – 15811

³ Program Studi Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan. Jl. M.H. Thamrin Boulevard 1100, Lippo Karawaci, Tangerang, Banten, Indonesia – 15811

*Email: w.irawati3@gmail.com

Diterima 1 Agustus 2021 Disetujui 21 Maret 2022

INTISARI

Pestisida memegang peranan penting dalam membunuh hama, baik serangga, jamur maupun gulma. Penggunaan pestisida berbahan dasar aktif di lingkungan dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya pencemaran. Penggunaan karbofuran dapat mengakibatkan pencemaran pada tanah, perairan, udara, dan juga kehidupan liar. Bioremediasi menjadi solusi yang tepat untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat penggunaan pestisida. Bioremediasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan isolat bakteri indigen Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang pertumbuhan optimal isolat bakteri resisten karbofuran, pengaruh penambahan berbagai konsentrasi karbofuran terhadap pertumbuhan isolat bakteri, serta kemampuannya dalam mendegradasi karbofuran. Bakteri indigen yang diteliti adalah isolat bakteri resisten karbofuran koleksi Pusat Teknologi Lingkungan (PTL). Pertumbuhan bakteri diukur menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 600 nm. Konsentrasi karbofuran yang digunakan adalah 100, 500, dan 1000 ppm. Kemampuan degradasi karbofuran diukur menggunakan High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan berbagai konsentrasi karbofuran mempengaruhi pertumbuhan isolat bakteri dengan cara menurunkan densitas sel. Pertumbuhan isolat R2, BN5.2 dan BN5.3 paling baik pada medium yang mengandung 500 ppm karbofuran sedangkan pertumbuhan isolat R1, R3.2, R3.3, BN2.3, BN5.1 dan C paling baik pada medium yang mengandung 1000 ppm. Isolat bakteri R2 dan R3.3 masing-masing dapat mendegradasi karbofuran sebesar 68,47% dan 66,68% selama tiga hari.

Kata kunci: bakteri, bioremediasi, karbofuran, pestisida

ABSTRACT

Pesticides play an important role in killing pests, both insects, fungi and weeds. The use of active-based pesticides in the environment can lead to the possibility of pollution. The use of carbofuran can cause pollution to soil, water, air, and also wildlife. Bioremediation is the right solution to overcome the problem of environmental pollution due to the use of pesticides. Bioremediation can be done by utilizing Indonesian indigenous bacterial isolates. This study aims to obtain information on the optimal growth of carbofuran-resistant bacterial isolates, the effect of adding various concentrations of carbofuran on the growth of

bacterial isolates, and their ability to degrade carbofuran. Indigenous bacteria studied were isolates of carbofuran resistant bacteria from the Environmental Technology Center (PTL) collection. Bacterial growth was measured using a 600 nm wavelength spectrophotometer. The concentrations of carbofuran used were 100, 500, and 1000 ppm. Carbofuran degradation ability was measured using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The results showed that the addition of various concentrations of carbofuran affected the growth of bacterial isolates by reducing cell density. The growth of isolates R2, BN5.2 and BN5.3 was best in a medium containing 500 ppm carbofuran, while the growth of isolates R1, R3.2, R3.3, BN2.3, BN5.1 and C was best in a medium containing 1000 ppm. Bacterial isolates R2 and R3.3 were able to degrade carbofuran by 68.47% and 66.68%, respectively, for 3 days.

Keywords: bacteria, bioremediation, carbofuran, pesticide

PENDAHULUAN

Pestisida merupakan zat kimia yang digunakan untuk membunuh hama, baik serangga, jamur maupun gulma. Pestisida dikelompokkan berdasarkan kegunaannya, menjadi: insektisida (pembunuh serangga), fungisida (pembunuh jamur), dan herbisida (pembunuh tanaman pengganggu/gulma). Berdasarkan kandungan zat kimia yang terdapat didalamnya, pestisida dibagi menjadi tiga jenis, yaitu organofosfat, karbofuran, dan organoklorin. Pestisida banyak digunakan dalam bidang pertanian, namun pestisida dapat terakumulasi di lingkungan dan menyebabkan pencemaran lingkungan (Andesgur, 2019). Pestisida yang terakumulasi di lingkungan dapat terserap bersama hasil panen dalam bentuk residu yang dapat dikonsumsi oleh konsumen. Residu pestisida menimbulkan efek yang bersifat tidak langsung terhadap konsumen namun dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan diantaranya berupa gangguan pada saraf dan metabolisme enzim. Residu pestisida yang terbawa bersama makanan akan terakumulasi pada jaringan tubuh yang mengandung lemak. Akumulasi residu pestisida pada manusia dapat merusak fungsi hati, ginjal, sistem saraf, menurunkan kekebalan tubuh, menimbulkan cacat bawaan, alergi, dan kanker (Kim et al., 2013).

Karbofuran (2,3-dihidro - 2,2-dimetilbenzofuran-7-yl-metilkarbanat) merupakan jenis pestisida yang digunakan secara luas di dunia. Karbofuran adalah salah satu pestisida dari golongan karbamat yang berspektrum luas untuk pengendalian hama.

Karbofuran pertama kali dikembangkan pada tahun 1960, dan dipatenkan pada tahun 1965, lalu dipasarkan pada tahun 1967 dengan nama Furadan oleh FMC (*Farm Machinery Corporation*) (Indraningsih, 2008). Penggunaan karbofuran yang sangat luas mengakibatkan pencemaran pada tanah, perairan, udara, dan juga kehidupan liar (Kinasih et al., 2014).

Bioremediasi merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat penggunaan pestisida. Bioremediasi dapat dilakukan dengan menggunakan agen bioremediasi seperti tanaman dan mikroorganisme (Puspitasari & Khaeruddin, 2016). Pusat Teknologi Lingkungan (PTL) telah berhasil mengisolasi bakteri resisten pestisida yang diisolasi dari daerah tercemar limbah petroleum di Riau. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui resistensi dan kemampuan degradasi bakteri koleksi PTL tersebut terhadap karbofuran yaitu pengaruh penambahan berbagai konsentrasi karbofuran terhadap pertumbuhan isolat bakteri serta kemampuan isolat bakteri dalam mendegradasi karbofuran

MATERI DAN METODE

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah cawan petri yang telah disterilkan, spatula, kaca arloji, neraca analitik, gelas ukur, labu Erlenmeyer, gelas *beaker*, pipet mikro, bunsen, jarum ose, *spreader*, spektrofotometer, incubator, autoklaf, dan alat HPLC. Bahan yang digunakan adalah medium minimum (KH₂PO₄, K₂HPO₄,

FeCl₃, CaCl₂, MgSO₄) yang diperkaya dengan ekstrak khamir, medium nutrient agar (NA), medium *nutrient broth* (NB), karbofuran (Furadan), dan karbofuran murni.

Metode

Isolat Bakteri Resisten Karbofuran

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 isolat bakteri resisten karbofuran koleksi PTL. Medium yang digunakan untuk menumbuhkan isolat bakteri adalah medium Nut. Medium NA sebanyak 13 gram dilarutkan ke dalam air steril hingga mencapai 500 mL kemudian disterilkan menggunakan autoklaf. Medium NA kemudian dituang ke dalam cawan petri dan tabung reaksi. Isolat bakteri koleksi PTL lalu diinokulasikan ke dalam medium NA dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 48-72 jam.

Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri Resisten Karbofuran

Bakteri dengan populasi awal rata-rata sebesar 0,06 ditumbuhkan dalam media NB kemudian pertumbuhannya diukur selama 2 hari dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Pertumbuhan bakteri diamati untuk mengetahui fase-fase pertumbuhan bakteri dan menentukan saat optimal pemanenan bakteri.

Kurva Pertumbuhan Bakteri pada Media dengan Berbagai Konsentrasi Karbofuran

Bakteri ditumbuhkan pada media minimal ditambah dengan *yeast extract* dan karbofuran (Furadan) dengan komposisi masing-masing sebesar 0,01 gram; 0,05 gram; dan 0,1 gram untuk mendapatkan konsentrasi masing-masing sebesar 100 ppm, 500 ppm, dan 1000 ppm. Pertumbuhan bakteri diukur selama 2 hari dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Isolat bakteri yang memiliki resistensi terbaik terhadap karbofuran kemudian diseleksi untuk digunakan pada uji degradasi karbofuran.

Uji Kemampuan Degradasi Bakteri terhadap Pestisida Karbofuran

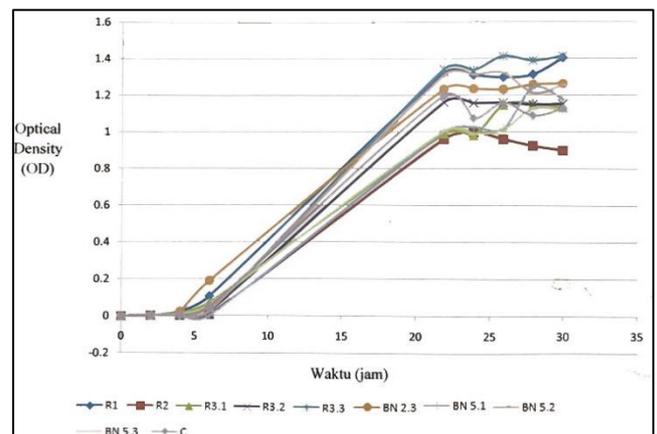
Isolat bakteri terpilih ditumbuhkan pada medium minimal yang mengandung 10 ppm karbofuran kemudian konsentrasi pestisida diukur untuk mengetahui tingkat reduksinya selama 4 hari menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Degradasi dari pestisida pada media tersebut kemudian dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini, dimana Pestisida⁰ adalah konsentrasi pestisida pada hari pertama setelah pestisida ditambahkan, sedangkan Pestisidaⁿ adalah konsentrasi pestisida pada hari ke-n setelah pestisida ditambahkan.

$$\% \text{ Degradasi Karbofuran} = \frac{[\text{Pestisida}]^0 - [\text{Pestisida}]^n}{[\text{Pestisida}]_0} \times 100\%$$

HASIL

Pertumbuhan isolat bakteri resisten karbofuran pada medium NB

Isolat bakteri resisten karbofuran yang akan diamati pertumbuhan dan kemampuannya dalam mendegradasi karbofuran ada 10 isolat yaitu R1, R2, R3.1, R3.2, R3.2 BN2.3, BN5.1, BN5.2, BN5.3, dan C. Pertumbuhan dari 10 isolat bakteri resisten karbofuran pada medium NB paling tinggi berada pada jam ke 22 (Gambar 1).



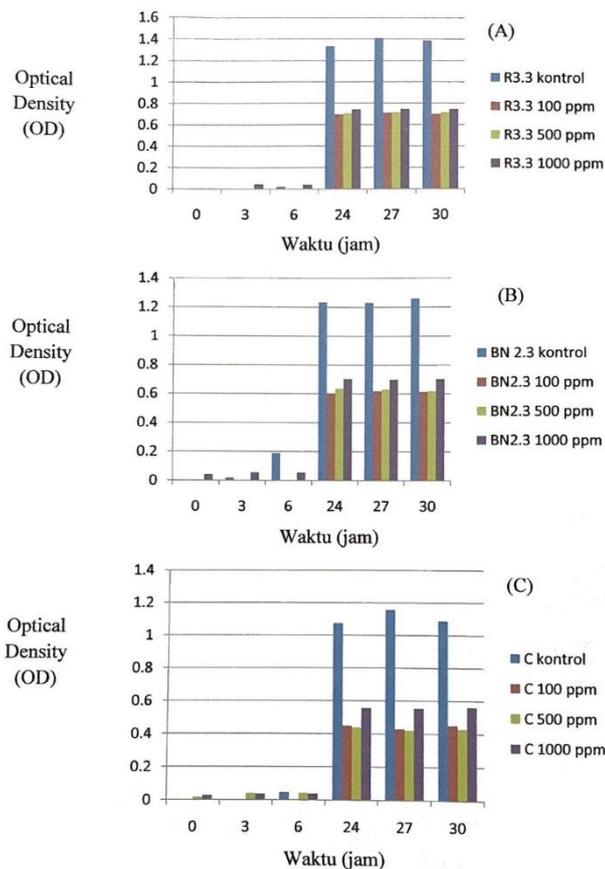
Gambar 1. Grafik pertumbuhan dari 10 isolat bakteri koleksi PTL pada medium diperkaya.

Gambar 1 menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri yang paling baik adalah isolat bakteri R3.3, sedangkan pertumbuhan bakteri yang paling lambat adalah bakteri R2. Fase log dari isolat bakteri terjadi selama 16 jam, yaitu dari jam ke 6 sampai jam ke 20. Fase stasioner dari isolat

bakteri terjadi mulai jam ke 22. Pemanenan bakteri dilakukan pada jam ke 22 untuk melihat kemampuan bakteri dalam mendegradasi karbofuran.

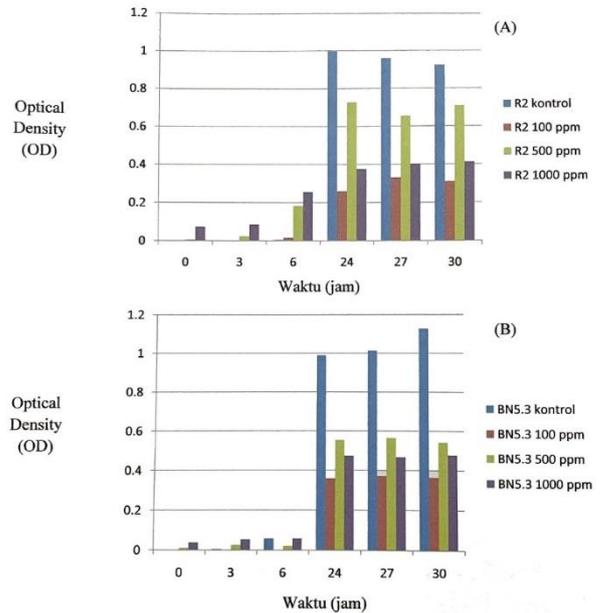
Pertumbuhan isolat bakteri resisten karbofuran pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran

Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan berbagai konsentrasi karbofuran dapat mempengaruhi pertumbuhan isolat bakteri R3.3, BN2.3, dan C. Penambahan karbofuran dengan berbagai konsentrasi menurunkan densitas ketiga isolat bakteri. Hal ini menunjukkan bahwa karbofuran memiliki sifat toksik bagi isolat bakteri. Efek toksik spesifik dari karbofuran adalah inhibisi enzim dehidrogenase dan alkali fosfatase yang menurunkan tingkat fertilitas serta kapasitas nitrogen dan fosfat pada tanah kemudian mempengaruhi biomassa, diversitas, dan aktivitas enzimatik mikroba (Mishra *et al.*, 2020).



Gambar 2. Pengaruh penambahan berbagai konsentrasi karbofuran terhadap pertumbuhan isolat bakteri (A) R3.3, (B) BN 2.3 dan (C) C.

Pertumbuhan isolat bakteri R2 dan BN5.3 pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva pertumbuhan isolat bakteri (A) R2 dan (B) BN5.3 pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran.

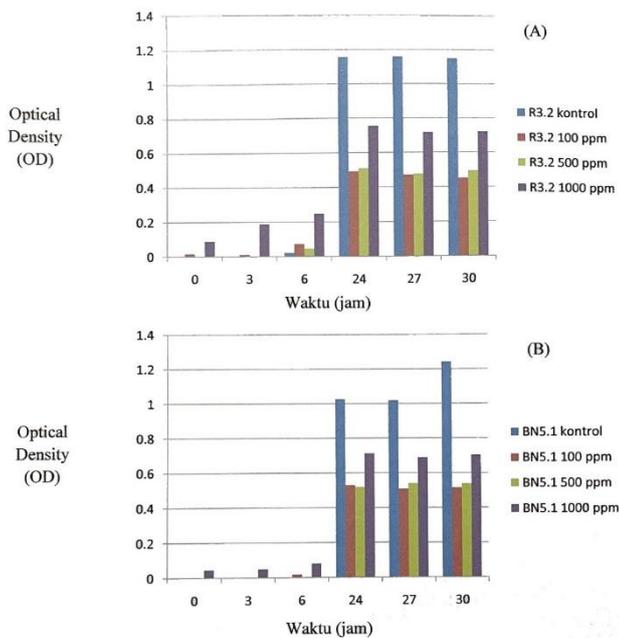
Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan berbagai konsentrasi karbofuran menurunkan densitas sel isolat bakteri R2 dan BN5.3. Konsentrasi karbofuran yang paling menghambat pertumbuhan isolat bakteri R2 adalah sebesar 100 ppm.

Pertumbuhan isolat bakteri R3.2 dan BN5.1 pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran (Gambar 4).

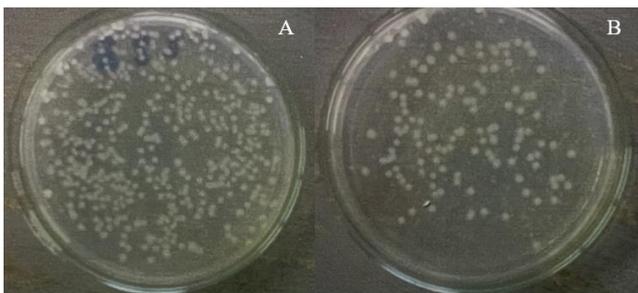
Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan berbagai konsentrasi karbofuran menghambat pertumbuhan isolat bakteri R3.2 dan BN5.1. Pertumbuhan kedua isolat bakteri pada medium yang mengandung 1000 ppm karbofuran lebih baik jika dibandingkan dengan medium yang mengandung 100 ppm dan 500 ppm karbofuran.

Kemampuan degradasi bakteri terhadap karbofuran

Uji kemampuan degradasi bakteri resisten karbofuran dilakukan pada isolat bakteri R2 dan R3.3. Morfologi koloni isolat bakteri R2 dan R3.3 dapat dilihat pada Gambar 5.

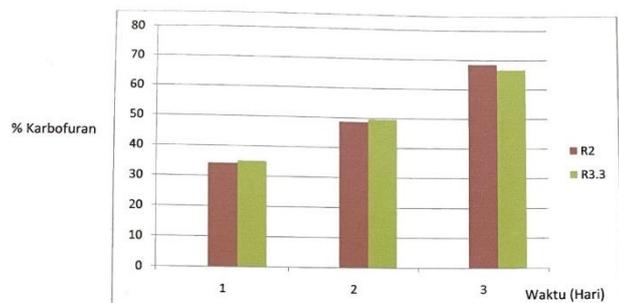


Gambar 4. Kurva pertumbuhan isolat bakteri (A) R3.2 dan (B) BN5.1 pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran.



Gambar 5. Morfologi koloni isolat bakteri R2 dan R3.3.

Pengamatan morfologi yang dilakukan terhadap isolat bakteri R2 dan R3.3 meliputi warna, bentuk, transparansi, tepian (*margin*), dan elevasi. Kedua isolat bakteri berwarna putih susu, bentuk koloni bulat, tidak tembus cahaya (*opaque*), tepian berbentuk *entire*, dan elevasi *raised*.



Gambar 6. Hasil uji degradasi karbofuran dengan HPLC.

Hasil uji kemampuan degradasi isolat bakteri resisten karbofuran dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa kemampuan degradasi isolat bakteri terhadap karbofuran meningkat setiap harinya, hal ini menunjukkan bahwa isolat bakteri koleksi PTL mampu mendegradasi senyawa karbofuran. Gambar 6 menunjukkan bahwa bakteri R2 dapat mendegradasi karbofuran rata-rata sebesar 68,74% dalam jangka waktu 3 hari sedangkan bakteri R3.3 dapat mendegradasi karbofuran rata-rata sebesar 66,68% dalam jangka waktu yang sama. Bakteri yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi karbofuran berperan penting dalam proses bioremediasi lingkungan.

PEMBAHASAN

Pertumbuhan bakteri pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran menunjukkan bahwa isolat bakteri R3.2, R3.3, BN2.3, BN5.1, C (Gambar 2 dan 4) dan isolat bakteri R1 (Gambar 1) memiliki pertumbuhan yang paling baik pada medium dengan penambahan karbofuran 1000 ppm diduga karena keenam isolat bakteri tersebut menggunakan karbofuran sebagai salah satu nutrisi untuk pertumbuhannya melalui proses hidrosilasi (Setiawati et al., 2015). Hidrosilasi adalah mekanisme yang penting untuk mendegradasi molekul pestisida dalam keadaan aerobik (Suciati et al., 2016). Hidrosilasi merupakan penambahan gugus hidroksil (OH) pada molekul target. Proses hidrosilasi pada senyawa karbofuran adalah dengan menghidrosilasi nucleus benzene, sehingga memproduksi 5-*hydroxycarbofuran* sebagai produk akhir (Maisaroh et al., 2016). Hidrosilasi dari karbofuran juga menghasilkan senyawa metilamin yang diekskresikan sebagai hasil akhir. Metilamin menunjang pertumbuhan dari organisme sebagai sumber karbon dan nitrogen (Hapsari et al., 2016).

Pertumbuhan bakteri pada medium yang mengandung berbagai konsentrasi karbofuran menunjukkan bahwa isolat bakteri R2, BN5.2, dan BN5.3 memiliki pertumbuhan paling baik

pada medium yang mengandung 500 ppm karbofuran, dan pertumbuhannya menurun pada medium yang mengandung karbofuran dengan konsentrasi 1000 ppm (Gambar 3) diduga karena isolat bakteri tersebut hanya dapat memanfaatkan karbofuran sampai dengan konsentrasi 500 ppm untuk pertumbuhannya. Bakteri resisten karbofuran adalah bakteri yang dapat memanfaatkan karbofuran dengan konsentrasi yang tinggi untuk pertumbuhannya (Devi & Iyer, 2017). Isolat bakteri R2 dan BN5.3 diduga memerlukan karbofuran dalam jumlah yang tidak terlalu banyak untuk dapat menunjang pertumbuhannya sehingga pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 1000 ppm pertumbuhan kedua isolat mengalami penurunan. Menurut Pambudi, Noriko, & Sari karbofuran yang terlalu banyak pada medium dapat menyebabkan terjadinya kematian (Pambudi et al., 2017).

Isolat R3.2, R3.3, BN2.3, BN5.1, dan C merupakan isolat bakteri yang lebih resisten terhadap karbofuran dibandingkan dengan isolat bakteri yang lain karena dapat menggunakan karbofuran dengan konsentrasi yang paling tinggi, yaitu 1000 ppm untuk menunjang pertumbuhannya. Resistensi bakteri tersebut terhadap karbofuran sama dengan hasil penelitian sebelumnya pada isolat bakteri 50085 dan 50432 yang diisolasi dari sampel tanah yang tercemar pestisida di Florida (Chanif et al., 2015). *Sphingomonas paucimobilis* diuji kemampuannya dalam mendegradasi karbofuran secara hidrolitik, hasilnya menunjukkan bahwa pestisida terdegradasi oleh isolat bakteri ini selama 72 jam (Rozo & Nieves, 2013). *Sphingomonas paucimobilis* juga mempunyai kapasitas metabolisme tinggi untuk mendegradasi senyawa xenobiotic, dan telah ditemukan tidak hanya mendegradasi karbofuran tetapi juga pestisida lainnya. Beberapa jenis mikroba yang dapat mendegradasi karbofuran adalah *Falvobacterium* dan *Achromobacterium* sp. telah diisolasi dan dikarakteristik dalam upaya untuk mengetahui mekanisme mendegradasi karbofuran. Kedua bakteri ini dapat mendegradasi karbofuran hingga 94,6% dan 87,3% tingkat degradasi (Mustapha, 2019). *Pseudomonas* sp.

diketahui dapat mendegradasi karbofuran dengan cepat. Biodegradasi dari karbofuran pertama kali terjadi melalui hidrolisis ikatan metilkarbamat. Hasil pemutusan ikatan yaitu karbofuran-7-fenol (2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranol) dan metilamin yang selanjutnya akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber karbon dan nitrogen (Hyeon, 2012).

SIMPULAN

Penambahan berbagai konsentrasi karbofuran mempengaruhi pertumbuhan bakteri resisten karbofuran koleksi PTL dengan cara menurunkan densitas sel bakteri. Pertumbuhan isolat R2, BN5.2 dan BN5.3 paling baik pada medium yang mengandung 500 ppm karbofuran sedangkan pertumbuhan isolat R1, R3.2, R3.3, BN2.3, BN5.1 dan C paling baik pada medium yang mengandung 1000 ppm karbofuran. Isolat bakteri R2 dan R3.3 masing-masing dapat mendegradasi karbofuran sebesar 68,47% dan 66,68% selama tiga hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Chelviana Aprilia Christanti dan Kristin Pasaribu mahasiswa Teachers College Universitas Pelita Harapan serta Valentine Lindarto siswa Sekolah Menengah Atas Dian Harapan Lippo Village atas bantuannya selama proses penulisan artikel.

KEPUSTAKAAN

- Andesgur I. 2019. Analisa kebijakan hukum lingkungan dalam pengelolaan pestisida. *Bestuur* **7(2)**: 93–105.
- Chanif I, Djauhari S, Aini LQ. 2015. Uji potensi jamur pelapuk putih dalam bioremediasi insektisida karbofuran. *Jurnal HPT* **3(2)**: 84–90.
- Devi KY, Iyer P. 2017. Isolation & characterization of karbofuran pesticide degrading microorganisms from various field areas in tamil nadu. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences* **2(270)**: 270–281.

- Hapsari RT, Salma S, Widajati E, Sari M. 2016. Peranan methylobacterium spp. dalam meningkatkan dan mempertahankan vigor benih kedelai. *Iptek Tanaman Pangan* **11(1)**: 57–66.
- Hyeon SD. 2012. Genetic and Phenotypic Diversity of Carbofura-Degrading Bacteria Isolated from Agricultural Soils. *Journal Microbiol Biotechnol.* **22(4)**: 448-456.
- Indraningsih. 2008. Pengaruh penggunaan insektisida karbamat terhadap. *J. Wartazoa* **18(2)**: 101–114.
- Kim JH, Kim J, Cha ES, Ko Y, Kim DH, Lee WJ. 2013. Work-related risk factors by severity for acute pesticide poisoning among male farmers in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **10(3)**: 1100–1112. <https://doi.org/10.3390/>
- Kinasih I, Kusumorini A, Komarudin A. 2014. Pengaruh tiga jenis insektisida karbamat terhadap kematian dan bobot tubuh cacing *Eisenia fetida*. *Jurnal Istek* **8(1)**: 159–181.
- Luqman EM., Widjiati W, Yustinasari LR. 2018. Brain cells death on infant mice (*Mus musculus*) caused by carbofuran exposure during the lactation period. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi* **24(6)**: 845–852. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20045>
- Maisaroh M, Susetyo IB, Rusmandana B. 2016. Sintesis asam 9,10-dihidroksi stearat (Dhsa) melalui hidrolisa epoksida dari oksidasi asam oleat dengan asam performat. *Reaktor* **16(2)**: 57. <https://doi.org/10.14710/reaktor.16.2.57-64>.
- Mustapha MU. 2019. Characterization and Growth Evaluation of Carbofura-degrading Local Bacteria Isolated. *Journal Pertanian J. Sci & Technol.* **3(1)**: 547-563.
- Sandhya Mishra, Wenping Zhang, Ziqiu Lin, Shimei Pang, Yaohua Huang, Pankaj Bhatt, Shaohua Chen. 2020. Carbofuran toxicity and its microbial degradation in contaminated environments. *Chemosphere* **259**: 127419. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127419>
- Pambudi A, Noriko N, Sari EP. 2017. Isolasi dan karakterisasi bakteri tanah sawah di Kecamatan Medan Satria dan Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi* **3(4)**: 187. <https://doi.org/10.36722/sst.v3i4.233>
- Puspitasari DJ, Khaeruddin. 2016. Kajian bioremediasi pada tanah tercemar pestisida. *Jurnal Kovalen* **2(3)**: 98–106.
- Rozo JC, Nieves JS. 2013. Characterization of Carbofuran Degrading Bacteria Obitaned from Potato Cultivated Soils with Diffrent Pesticide Application Record. *Journal Medelin* **2(1)**: 6899-6908.
- Setiawati W, Jayanti H, Hudayya A, Hasyim A. 2015. Pengaruh insektisida karbofuran terhadap kerusakan dan kehilangan hasil kentang akibat serangan *Grylotalpa hirsuta* Burmeister (Ortopera: Grylotalpidae) serta dampaknya terhadap keanekaragaman Artropoda tanah. *J. Hort* **25(1)**: 54–62.
- Suciati F, Anwar S, Dadang, Aviantara DB, Widyastuti R. 2016. Pengaruh pemberian pestisida terhadap transformasi asam fenolat serta produksi Co2 dan Ch4 pada tanah gambut. *Jurnal Tanah dan Iklim* **40(1)**: 11–23. <https://doi.org/10.21082/jti.v40n1.2016.11-23>