

Utilization of *Bakteria Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus Subtilos* as Bioremediation of Metal Pb in Textile Waste

Ira Aqrabi Br Hasibuan^{1*}, Kartika Manalu¹, & Rizki Amelia Nasution¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia;

Article History

Received: April 28th, 2024

Revised : May 08th, 2024

Accepted : June 08th, 2024

*Corresponding Author:

Ira Aqrabi Br Hasibuan,

Program Studi Biologi,

Fakultas Sains dan

Teknologi, Universitas

Islam Negeri Sumatera

Utara, Medan, Indonesia

Email:

iraqrabibrhasibuan@gmail.com

Abstract: The Indonesian textile industry is developing to meet people's needs for clothing. 3916 industries in Indonesia exist in 2021, but the number of these industries is not balanced with liquid waste processing. One alternative way to reduce heavy metal levels in waste is bioremediation. The aim of this research is to determine how incubation time and the number of *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* bacteria influence the reduction of Pb metal levels in textile waste. Several steps include the bioremediation process, colony counting, measuring Pb metal levels, measuring temperature levels, measuring pH, and data analysis. Bioremediation results: *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* bacteria succeeded in reducing Pb metal levels in textile waste with an incubation time of 14 days. The results show that this bacterium is able to reduce Pb metal levels in textile waste with the addition of a 1:1 concentration of 56%, a 1:2 concentration of 86%, and a 2:1 concentration of 92. These results show that this bacterium is successful as a bioremediation agent in reducing Pb metal levels in waste.

Keywords: *Bacillus subtilis*, bioremediation, Pb, *Pseudomonas aeruginosa*, textile waste.

Pendahuluan

Industri tekstil Indonesia berkembang sebagai hasil dari peningkatan kebutuhan sandang masyarakat Indonesia. Jumlah industri di Indonesia akan mencapai 3916 pada tahun 2021 (bps.co.id). Namun, industri tekstil skala mencegah dan besar di DKI Jakarta pada 2019 dengan kadar BOD 94.084 ton/tahun dan COD 129.365 ton/tahun, menyebabkan pencemaran limbah cair yang signifikan. Pewarna sintesis umumnya digunakan pada industri tekstil karena tahan lama, mereka murah, mudah digunakan, dan mudah diperoleh. Salah satu masalah dengan penggunaan pewarna tekstil sintesis adalah hasil limbahnya tetap berwarna dan sulit terdegrasi. Sebelum limbah pewarna tekstil dibuang ke saluran air, perlu diolah terlebih dahulu. Penyebabnya zat perwarna 10% hingga 15% yang telah digunakan tidak dapat digunakan ulang lagi dan harus dibuang (Ruzicka *et al.*, 2014).

Salah satu masalah lingkungan paling umum adalah pencemaran limbah cair yang berasal dari industri. Limbah cair yang tidak diolah dan tidak dikelola memiliki dampak negatif terhadap perairan, terutama sumber daya air (Priya *et al.*, 2011). Intenstitas warna pada air limbah tekstil sekitar 50-2500 skala Pt-Co, nilai BOD mencapai 80-6000 mg/L, nilai COD 150-12000 mg/L (Azhar, 2004). Zat pewarna sebanyak 40% dibuang, air limbah tekstil memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Sisi lain, kandungan bahan organik sangat terikat pada bahan yang digunakan pada proses tekstil, seperti detergen, enzim, zat warna, dan bahan lainnya. Limbah dibuang ke lingkungan mengandung logam berat seperti Pb, akibatnya terjadi pencemaran air dan berbahaya bagi kesehatan masyarakat karena mengandung penyakit paru-paru, hati, darah tinggi, gangguan ginjal, dan kelenjar pencemaran, serta kerusakan tulang dan kerapuhan (Rohayati *et al.*, 2017). Bahan alam

dapat digunakan pewarna tekstil dan membuat motif di tekstil salah satu cara untuk mengolah, memanfaatkan, dan mengurangi limbah cair pewarna tekstil. Teknik cetak Eco print menggunakan pewarna alami tanpa mesin atau cairan kimia (Erlinawati *et al.*, 2018).

Para peneliti telah mempertimbangkan penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi dampak berbahaya logam di tanah atau saluran air yang rusak karena mereka lebih tidak berbahaya bagi ekosistem. Biasanya, ekosistem alam biasa mempunyai cara untuk mengurangi risiko dan polusi logam berat (Ariefianto *et al.*, 2018). Berlebihan kontaminasi logam berat menyebabkan akumulasi dan menjadi toksik, menyebabkan ketidakseimbangan di ekosistem. Mikroorganisme akan sangat membantu dalam mengatasi masalah lingkungan yang terkontaminasi logam berat dalam hal ini. Teknologi alternatif yang dikenal sebagai bioremediasi menggunakan bantuan mikroorganisme untuk mengurangi dan memulihkan bagian tanah yang terkontaminasi dengan zat berbahaya. Akibatnya, metode bioremediasi tanah yang memanfaatkan mikroorganisme, khususnya bakteri, menjadi sangat penting dan menguntungkan dari sudut pandang penghematan biaya. Fakta bahwa bahan ini tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan dan menghasilkan lebih sedikit lumpur merupakan pertimbangan lain. Berbagai mikroba pengrusak biasanya ditemukan pada limbah yang mengandung warna, penanganan alami terhadap limbah yang mengandung warna umumnya lebih baik bila dilakukan dalam masyarakat campuran atau konsorsium (Primanandi, 2018).

Logam Pb adalah logam berat yang sangat beracun. Hal ini dapat ditemukan di hampir semua benda mati dan ekosistem alam. Timbal yang digunakan sebagai bahan tambahan pada bensin, merupakan sumber utama timbal. Kesadaran, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen mempengaruhi kadar dan toksisitas timbal. Timbal membentuk senyawa kompleks dengan banyak anion di perairan. Banyaknya teknik bioremediasi, logam berat diidentifikasi dalam sumber air atau tanah terkontaminasi limbah pabrik melalui proses absorpsi biologis dan mikroalga (Effendi, 2003). Penggunaan bakteri menjadi alternatif

tencemaran logam timbal (Pb). Hasil penelitian (Panuntun *et al.*, 2012), dua isolat bakteri *Lactobacillus* dan *Pseudomonas* dapat menahan timbal hingga 0,3 ppm. Bakteri eksogen (*Bacillus subtilis*) digunakan untuk bioremediasi logam Pb di sedimen sungai (Maulana, 2017). Bakteri ini dapat menjadi bioremediasi yang efektif, dengan pengurangan konsentrasi logam hingga 95,85% dicapai dengan penambahan 20% *Staphylococcus aureus*. Waktu brooding terbaik bagi organisme mikroskopis eksogen (*Bacillus subtilis* dan *Staphylococcus aureus*) selama 30 hari. Kemampuan mikroba *Pseudomonas aeruginosa* dalam menghancurkan logam timbal (Pb) salah satunya karena permukaan sel bakteri mempunyai muatan negatif karena terdiri dari berbagai struktur anion, sedangkan logam berat mempunyai muatan positif sehingga memungkinkan adanya ikatan antar logam berat, partikel dan permukaan sel bakteri (Junopia, 2015).

Pengeraman selama 28 hari menunjukkan penurunan berat logam Pb dalam limbah material secara umum stabil (Charlena, 2010). Penyebabnya jumlah mikroba semakin berkurang, dan menghambat kemampuan mikroba untuk mengurangi logam. Penggunaan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* pada bioremediasi logam Pb di limbah tekstil menjadi agen bioremediasi yang baik, dimana presentase penurunan 95,85% (Alfian Maulana, 2017). Waktu optimum yang dibutuhkan bakteri masing-masing konsentrasi adalah pada waktu inkubasi 28 hari. Oleh karena itu, berdasarkan pemaparan di atas, peneliti memutuskan untuk melakukan penelitian dengan judul "Pemanfaatan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* sebagai bioremediasi logam Pb pada limbah tekstil." Dalam penelitian ini, juga digunakan aktifitas biologis mikroorganisme dalam proses degradasi limbah tekstil.

Bahan dan Metode

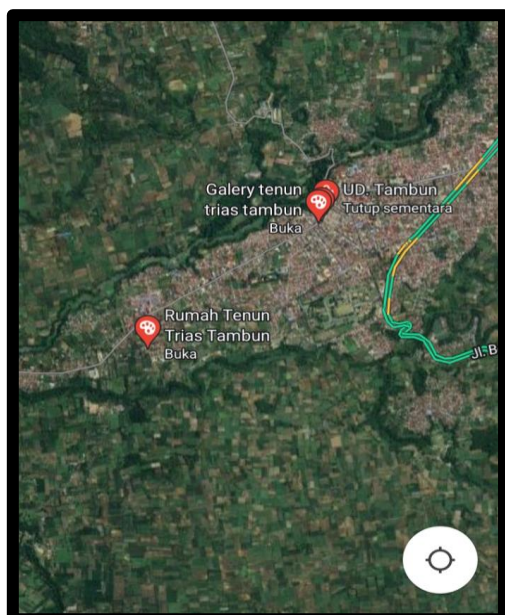
Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara (USU) pada Juni 2023 (Gambar 1). Sampel

limbah tekstil diambil dari salah satu pabrik limbah Tekstil di Tenun Trias Tambun Kabanjahe.

Metode penelitian

Data diperoleh dengan menggunakan metode survei untuk mendapatkan data. Air limbah tekstil dari Tenun Trias Tambun Kabanjahe diambil dengan botol steril. Memasukkan sampel dalam coolbox untuk dibawa ke laboratorium. Setelah itu, dicampur dan disimpan di lemari es.



Gambar1. Peta titik lokasi penelitian

Analisis data

Penelitian ini adalah penelitian *non factorial* sesuai dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) karena digunakan satu perlakuan dengan dua tingkat jumlah volume bakteri yang berbeda. Wadah kontrol A tidak mengandung bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, wadah kontrol B mengandung 5% *Pseudomonas aeruginosa*, dan wadah kontrol C mengandung 10% *Bacillus subtilis*.

Hasil dan Pembahasan

Data tentang kadar perhitungan logam Pb, suhu, dan pH (derajat keasamaan) diuji secara deskriptif sebagai parameter pendukung. Selain itu, hasil pengukuran penurunan kadar logam Pb dianalisis secara statistik. Berapakah jumlah bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* yang berkontribusi pada penurunan kadar logam Pb pada limbah tekstil dan bagaimana waktu inkubasi mempengaruhi hal ini.

Perhitungan jumlah sel total bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*

Menghitung jumlah sel total *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*, sebelum dimasukkan ke dalam sampel limbah cair tekstil. Hal ini bertujuan untuk melihat perkembangan total sel bakteri (Rajasa, 2010).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* Kadar Logam Pb dan Parameter Pendukung Selama Empat Minggu Inkubasi

Variasi Perlakuan (Penambahan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>)	Waktu Inkubasi (Minggu)	Koloni Bakteri		Pb (mg/L)	Suhu(°C)	pH
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Bacillus subtilis</i> (TPC)				
0 % (Tanpa Bakteri)	M0	28 x 10 ⁶		1,4	25,1	8,09
	M1	22 x 10 ⁶		0,9	25,5	8,29
	M2	10 x 10 ⁶		0,5	23,9	8,27
1:1	M0	95 x 10 ⁶		0,65	24,8	8,54
	M1	134 x 10 ⁶		0,51	25,9	8,72
	M2	56 x 10 ⁶		0,44	23,8	8,4
1:2	M0	140 x 10 ⁶		0,42	24,9	8,49
	M1	183 x 10 ⁶		0,32	25,6	8,82
	M2	89 x 10 ⁶		0,21	23,8	8,34
2:1	M0	213 x 10 ⁶		0,22	24,9	8,49
	M1	320 x 10 ⁶		0,20	25,6	8,82
	M2	74 x 10 ⁶		0,11	23,8	8,34

Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*

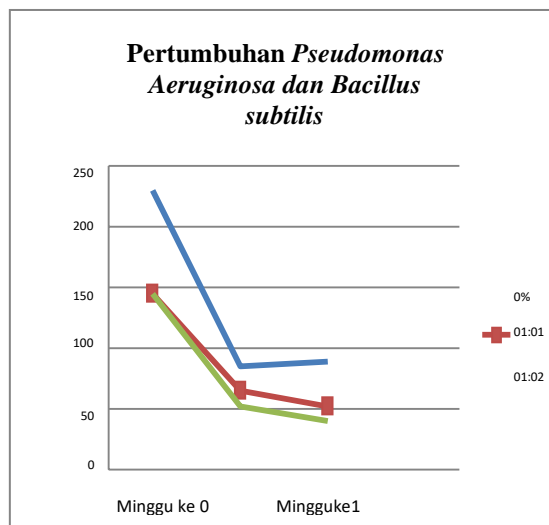
Data pada tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan koloni *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* pada minggu pertama dan kedua, dan tabel 2 menunjukkan perkembangan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* setiap minggu. Koloni bakteri yang terbentuk pada media PCA dihitung menggunakan metode total plate count (TPC) untuk mengetahui jumlah bakteri yang ada pada sampel limbah tekstil. Proses pengenceran dilakukan setiap minggu sekali. Hasil perhitungan koloni *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* menunjukkan penurunan jumlah koloni hingga minggu keempat, seiring dengan penurunan kadar logam Pb. Sejalan dengan Rajasa(2010), bahwa pertumbuhan koloni menunjukkan daur nutrient, seperti hasil perhitungan jumlah koloni setelah beberapa waktu tertentu, dan ini berkorelasi dengan hasil jumlah bakteri sangat berkurang pada minggu keempat. Namun, bakteri masih dapat mengurangi kandungan logam Pb dalam limbah tekstil.

Biasanya, populasi sel bakteri berkembang dengan pola pertumbuhan tertentu dikenal sebagai kurva pertumbuhan sigmoid. Kurva pertumbuhan bakteri mencerminkan kondisi bakteri dalam kultur pada titik tertentu. Perubahan kemiringan kurva menunjukkan kemajuan yang dimulai dari satu tahap kemudian ke tahap berikutnya yang sedang dikembangkan. Setiap tahap mempunyai periode transisi, yang berarti bahwa suatu jangka waktu tertentu mungkin berlalu sebelum semua sel memasuki tahap berikutnya. Kurva menunjukkan pertumbuhan mikroba dalam kultur statis (Brock dan Madigan, 1991).

Grafik pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* pada sampel

Perkembangan bakteri pada penelitian ini menggunakan metode Absolute Plate Count (TPC) dengan mengubah waktu inkubasi dan konsentrasi mikroorganisme *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* untuk menentukan perkembangan jumlah sel bakteri secara keseluruhan. Organisme mikroskopis

mengalami tahap variasi yang lambat pada media, menyebabkan 5% dan 10% mikroba pada minggu utama hingga minggu keempat berkurang. Terlihat pada gambar 1, konsentrasi 10% total sel lebih tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya karena penambahan bakteri pada media lebih banyak sehingga mudah menimbulkan masalah.



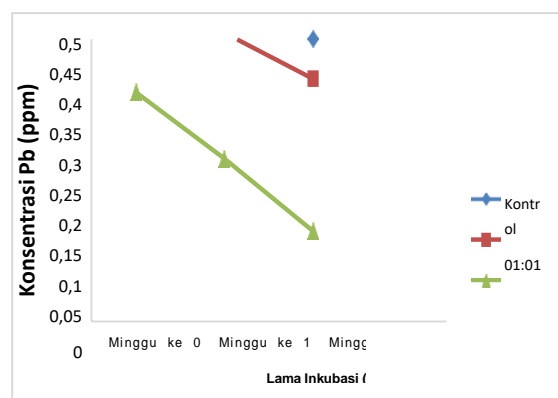
Gambar 2. Grafik Fase Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*

Perlakuan pada Gambar 1 menunjukkan adanya perbedaan perkembangan, hal ini disebabkan oleh siklus transformasi yang terjadi secara berbeda pada setiap medium dan adanya perlindungan bakteri dari logam Pb. Mikroorganisme akan menunjukkan perbedaan dalam desain perkembangannya, rentang waktu yang diharapkan untuk berkembang atau menyesuaikan dan metabolit yang tercipta (Yuliana, 2008). Organisme mikroskopis menjadi lebih banyak sel karena mereka telah beradaptasi dan dapat berperan sebagai hotspot karbon untuk energi dan pemisahan sel mereka sendiri. Pembelahan sel selama siklus bioremediasi juga dipengaruhi oleh faktor alami seperti pH, suhu dan nutrisi (Malick dan Rai, 1993).

Pengukuran Kadar Logam Pb

Analisis kadar logam Pb pada sampel selama inkubasi dilakukan dengan menggunakan AAS. Kadar logam Pb sampel turun selama 14 hari inkubasi, seperti yang ditunjukkan pada grafik di atas. Perlakuan dengan inokulum *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*

memulai dengan konsentrasi 1:1, yaitu 0,14 mg/L. Namun, setelah hari keempat belas inkubasi, konsentrasi turun hingga 0,11 mg/L, dengan konsentrasi 1:2 meningkat hingga 0,32 mg/L, dan konsentrasi 2:1 turun hingga 0,11 mg/L. Menurut penelitian Junopia (2015), permukaan sel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* bermuatan negatif karena terdiri dari berbagai struktur anion, sedangkan logam berat bermuatan positif, sehingga ion logam berat yang tidak toksik dapat terikat di permukaan sel bakteri (Junopia, 2015).



Gambar 3. Grafik Lama Inkubasi dan Konsentrasi Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Dan *Bacillus subtilis*

Akumulasi logam Pb pada bakteri dipecah menjadi fase pengikatan, yang melibatkan penyerapan melalui dinding sel atau permukaan luar, tergantung pada metabolisme sel. Tahap berikutnya adalah kendaraan dinamis, yang bergantung pada pencernaan sel. Selama proses metabolisme, logam pb dapat terakumulasi di sitoplasma (intraseluler) atau membran sel (ekstraseluler) (Arizza, 2013). *Pseudomonas aeruginosa* merupakan bakteri gram negatif yang dapat mengakumulasi logam berat pada dinding selnya dan biasanya tumbuh pada media yang terkontaminasi logam berat. Kemampuan untuk mendetoksifikasi logam berat disebabkan oleh adanya protein dalam sel, seperti polifosfat, yang dapat mengikat timbal.

Interaksi antara ion logam dengan muatan negatif terjadi karena dinding sel bakteri mengandung muatan negatif seperti karboksil (COO⁻) dan hidroksil (OH⁻). Biosorpsi logam berat terjadi secara alami melalui dua proses berurutan. Pertama, ion logam timbal di sekitar permukaan sel ditukar dengan ion monovalen atau divalent (seperti Na). Kedua, Perkembangan senyawa kompleks terjadi antara ion logam dan

gugus tunggal dalam sel (Khoiroh, 2014).

Pengaruh inokulum bakteri dan waktu inkubasi terhadap penurunan kadar Logam Pb pada sampel

Salah satu komponen non-protein utama sel hidup yang besar, adany glutathione, bertanggung jawab atas penurunan logam berat Pb isolat *Pseudomonas aeruginosa* (bakteri gram negatif). Jika dibandingkan dengan bakteri gram negatif, glutathione hanya ditemukan pada bakteri gram positif (Liu *et al.*, 2012). Pemberian bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 10% dan penurunan 1,1 mg/L, penurunan terbesar terjadi pada minggu keempat inkubasi. Peningkatan pertumbuhan bakteri ditunjukkan dengan penurunan kadar logam Pb. Sejalan dengan Hozumi *et al.*, (2000) bahwa semakin banyak jumlah mikroba maka semakin besar laju konsumsi mikroba sebagai sumber karbon. Akibatnya, berat sisa sampel yang diukur berkurang. Ketika bakteri menempel pada permukaan partikel sampel dan melepaskan enzim oksida, yang diperlukan untuk memecah rantai karbon yang menempel pada membran sel, kadar logam Pb berkurang.

Logam yang tidak dapat didegradasi secara monobiodegradable memiliki kemampuan untuk meningkatkan ion Pb di dinding sel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*. Namun, Logam ini dapat mengalami perubahan melalui siklus penyerapan, metilasi, kompleksasi, dan perubahan nilai valensinya, yang merupakan elemen penting dalam bioremediasi logam (Imani *et al.*, 2011). Karena afinitas kimia sel, ion logam berat akan berikatan dengan unsur-unsur di dinding sel (Droste, 2007). Ion logam terlebih dahulu harus melewati dinding sel mikroba yang mengandung berbagai polisakarida dan protein dengan sejumlah situs aktif yang dapat berikatan dengan ion logam, sebelum mencapai membran sel dan sitoplasma. Partikel monovalen dan divalen, misalnya natrium, magnesium, dan kalsium, di dinding sel digantikan oleh partikel logam berat. Adanya penambahan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* digabung dengan konsentrasi 1:1, 1:2, 2:1 dapat menurunkan kadar logam Pb pada limbah tekstil dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* mampu bioremediasi limbah tekstil yang terkontaminasi logam Pb

Perhitungan kadar suhu uji biokimia

Selama minggu keempat, pengukuran suhu dilakukan sekali setiap minggu. Suhu yang dihasilkan dari setiap variasi penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dari minggu pertama hingga minggu ke empat berkisar dari 23°C hingga 26°C. Berdasarkan hasil pengukuran, suhu ini memungkinkan perkembangan mikroorganisme. Suhu pertumbuhan yang dibutuhkan bakteri di lingkungan perairan biasanya berkisar antara 20 dan 45°C, dan suhu yang diukur pada keempat perlakuan tersebut masih dalam batas normal (Sugiart, 2013).

Perhitungan Kadar pH

Jumlah ion hidrogen dalam air dapat ditentukan dengan mengukur pH, suatu sifat kimia. Jumlah partikel hidrogen dapat mempengaruhi respons zat yang terjadi di iklim amfibi. Susunan yang mempunyai harga pH rendah disebut asam, sedangkan susunan yang mempunyai harga pH tinggi disebut basa. Harga pH berkisar dari 0 hingga 14 dan nilai tengah 7 mewakili air murni (Yuliana, 2013).

Aktivitas mikroba dalam menangani limbah logam berat sangat dipengaruhi oleh pH keasaman. Biosorpsi logam Pb oleh bakteri juga mengalami naik turun akibat pH media perlakuan yang berfluktuasi. Pada pH basa, ion logam dan ion hidroksida secara spontan bereaksi membentuk ikatan logam-hidroksida, (Khoiroh, 2006). pH asam, partikel logam menyaingi sel mikroba pada pH tidak bias. Bakteri berkembang biak pada pH yang mendekati netral, pH yang terlalu basa atau terlalu asam dapat membunuh bakteri (Hapsari *et al.*, 2012).

Hasil pengukuran pH tiap satu minggu selama empat minggu, suhu berkisar 7,85 dan 8,95, dengan variasi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang dicatat setiap minggu dari minggu pertama hingga minggu ke empat. Jadi, untuk pertumbuhan optimal, suhu pH ideal adalah 6-9. Nilai pH masih dianggap normal dan aman untuk lingkungan (Suriani, 2013). Suhu adalah faktor lain yang mempengaruhi laju perkembangan bakteri selain pH. Suhu tidak sehat karena pencernaan mikroorganisme berjalan. Dengan cara ini, perkiraan suhu untuk kedua organisme mikroskopis uji sebenarnya mencakup suhu

yang diharapkan bagi mikroorganisme untuk berkembang. Suhu yang ideal untuk pertumbuhan bakteri adalah 37°C (Cheng, 2009).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan: Pemberian waktu inkubasi presentase pengukuran penurunan kadar logam Pb dengan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* yang signifikan homogen dengan waktu inkubasi 14 hari berdasarkan penambahan konsentrasi 1:1 yaitu sebesar 56%, konsentrasi 1:2 sebesar 86% dan dengan konsentrasi 2:1 sebesar 92%.

Referensi

- Caesar, R. Y., Hapsari, I., dan Dhiani, B. A. (2014). Formulasi dan Aktivitas antibakteri lotion minyak atsiri buah adas (*Foeniculum vulgare mill.*). *Media Farmas: Jurnal Ilmu Farmasi*, 11(1). doi: <http://dx.doi.org/10.12928/mf.v11i1.1396>.
- Deshiar, Poernomo, D. Wini wijatur. (2009). Pengaruh konsentrasi garam pada ikan kembung (*Tasterliger sp*) dengan fermentasi spontan. *Kurnal pengolahan hasil perikanan Indonesia* 12(!): 73:87. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/77023>.
- Dharma, A. (2001). Uji Bioaktivitas metabolit sekunder makalah workshop kimia bahan alam- hayati, proyek ditjen dikti, universitas Andalas, Padang.
- Ding, C., Yang, Z., Wang, J., Liu, X., Cao, Y., Pan, Y., ... & Zhan, S. (2016). Prevalence of *Pseudomonas aeruginosa* and antimicrobial-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in patients with pneumonia in mainland China: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 49, 119-128. [10.3390/jcm12031189](https://doi.org/10.3390/jcm12031189).
- Dupayana dan Ariesady H. D. (2010). *Identifikasi keberagaman Bakteri pada lumpur hasil pengolahan limbah cat dengan teknik konvensional program*

- studi teknik lingkungan*. ITB, Bandung.
- Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelola Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanasius, Yogyakarta.
- Erlinawati, dkk. (2018). Pengolahan Limbah Tekstil dan Batik di Indonesia. *Jurnal Researchgate*. (29):1-22. doi: 10.24817/jkk.v0i0.3582
- Hamdiyati, Y. (2011). Pertumbuhan dan pengendalian mikroorganisme II. *Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Hendrawati Noor. (2022). *Fotokalisis Dan Pengolahan Limbah Tekstil*. Yogyakarta. Penerbit Deepublish.
- Junopia, A. C. (2015). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Logam Timbal (Pb) yang Bersumber dari Danau Tempe Kabupaten Wajo Sulawesi Selatan. *Fak. Sains dan Teknol. UIN Alauddin Makassar*.
- Kumar, A., Bisht, B. S., Joshi, V. D., & Dhewa, T. (2011). Review on bioremediation of polluted environment: a management tool. *International journal of environmental sciences*, 1(6), 1079-1093. 10.12691/ijebb-2-4-5.
- Kurniasih, Y.A. (2008). Fitoremediasi Lahan Pertanian Tercemar Logam Berat Kadmium dan Tembaga Dari Limbah Tekstil. *Skripsi*. Dapertemen Teknik Pertanian Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Mara, D., & Horan, N. J. (Eds.). (2003). *Handbook of water and wastewater microbiology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-470100-7.X5000-6>.
- Naria, E. (2005). Mewaspadai dampak bahan pencemar timbal (Pb) di lingkungan terhadap kesehatan. *Jurnal komunikasi penelitian*, 17(4), 66-72. <https://doi.org/10.56064/jps.v17i2.50>.
- Nugroho, A. (2011). *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Jakarta. Graha Universitas Tri Sakti.
- Oves, M., Khan, M. S., dan Zaidi, A. (2013). Chromium Reducing and Plant Growth Promoting Novel Stain *Pseudomonas aeruginosa* OSG41 Enhance Chickpea Growth in Chromium Amended Soils. *European Journal of Soil Biology*. 56(1): 72-83. 10.1016/j.ejsobi.2013.02.002.
- Panuntun, P., Yulianto, B., & Ambariyanto, A. (2012). Akumulasi Logam Berat Pb pada Karang *Acropora aspera*: Studi Pendahuluan. *Journal of Marine Research*, 1(1), 153-158. <https://doi.org/10.14710/jmr.v1i1.2846>.
- Permatasari, I., Nugroho, R. A., & Meitiniarti, V. I. (2018). Dekolorisasi Pewarna Tekstil Sumifix Blue Dan Reactive Red 2 Oleh Bakteri Yang Diisolasi Dari Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 5(1), 20-26. <https://doi.org/10.29122/jbbi.v5i1.2757>.
- Primanandi, D., & Effendi, A. J. (2018). Kinetika Pertumbuhan Bakteri Pada Bioremediasi Tanah Tercemar Limbah Tekstil Dengan Teknik Forced-Aerated Static Pile (Studi Kasus: Lahan Sawah Rancaekek). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2018.24.1.1>.
- Priya, P. G., Ramamurthi, V., & Anand, P. (2011). Degradation studies of tannery effluents using electro flotation technique. *J. of Chemical Engineering & Process Technology*, 2(1), 1-4.
- Purnomo, A. S., Mori, T., & Kondo, R. (2010). Involvement of Fenton reaction in DDT degradation by brown-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(7), 560-565. 10.1016/j.ibiod.2010.06.008
- Putera, V., Austen, F. (2012). *Isolasi, karakterisasi dan uji aktivitas bakteri Pendegradasi warna limbah pewarnaan tekstil*.
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian bioaugmentasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat di wilayah perairan menggunakan bakteri (studi kasus: pencemaran merkuri di sungai krueng sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), F15-F22.