

Potensi Bioremediasi dengan Pemanfaatan Bakteri Indigenous dalam Menurunkan Nilai BOD-COD Limbah Air TPST Piyungan

Rayhan Rabbani¹, Mutik Ulya Audita¹, Nada Hamida¹

¹Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, Jl Marsda Adisucipto, Yogyakarta 55281

Email: ¹20106030053@student.uin-suka.ac.id

Abstrak. TPST Piyungan merupakan tempat penimbunan sampah di Provinsi DIY yang menampung sampah dari tiga kota besar yaitu Sleman, Bantul, dan Kota Yogyakarta setiap harinya. Namun pengelolaan sampah masih belum optimal hingga menyebabkan air limbah berupa air lindi mencemari sebagian air tanah di daerah sekitar TPST. Salah satu solusi untuk mengoptimalkan pengolahan air limbah adalah dengan pendekatan bioteknologi menggunakan metode bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri. Tujuan penulisan paper ini yaitu untuk mengkaji mekanisme bioremediasi air limbah dan potensinya pada TPST Piyungan. Metode penelitian dengan pendekatan studi literatur terhadap artikel jurnal mengenai bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri. Dapat disimpulkan bakteri indigenous sebagai agen bioremediator berpotensi mengurangi nilai BOD-COD dengan menguraikan senyawa-senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya.

Kata kunci: *Bioremediasi, TPST Piyungan, Bakteri Indigenous, BOD, COD*

Abstract. Piyungan TPST is a place for landfilling garbage in DIY Province which comes from three big cities, Sleman, Bantul, and Yogyakarta City every day. However, waste management is still not optimal, causing wastewater in the form of leachate to contaminate some groundwater in the area around the TPST. One solution to optimize wastewater treatment is a biotechnology approach using the bioremediation method by utilizing bacteria. The purpose of this paper is to examine the mechanism of wastewater bioremediation and its potential in the Piyungan TPST. The research method uses a literature study approach to journal articles on bioremediation using bacteria. It can be concluded that indigenous bacteria as bioremediator agents have the potential to reduce the BOD-COD value by decomposing complex organic compounds into simpler and harmless compounds.

Keywords: *Bioremediation, Piyungan TPST, Indigenous Bacteria, BOD, COD*

PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang mengalami masalah pencemaran lingkungan yang serius. Tiga daerah yang paling terkena dampak pencemaran ini adalah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul, yang masing-masing menghasilkan jumlah sampah terbanyak. Sampah dari ketiga daerah tersebut dibuang di TPST Piyungan, sebuah tempat pembuangan sampah terpusat yang terletak di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta, sekitar 16 kilometer di sebelah tenggara pusat Kota Yogyakarta. TPST Piyungan memiliki luas 13 hektar dengan kapasitas penampungan sampah sebanyak 2,7 m³ (Nugrahadi, 2014). Kapasitas tersebut sudah tidak sebanding dengan sampah yang dihasilkan masyarakat dengan jumlah rata – rata 450 ton per hari (Ariyani *et al.*, 2018).

Cemaran berbahaya yang dihasilkan dari limbah TPST Piyungan salah satunya berupa air lindi. Air lindi dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, diantaranya dapat menimbulkan penyakit ISPA, myalgia, dermatitis, dispepsia, dan sakit kepala. Selain berdampak terhadap kesehatan, sebagian besar masyarakat yakni sebanyak 104 keluarga (87%) harus memenuhi kebutuhan air bersih hanya dari PAM. Hal ini dikarenakan sebagian besar air sumur yang dimiliki masyarakat sudah tercemar oleh air lindi, sehingga tidak bisa digunakan lagi. Bau sampah yang menyengat juga menjadi dampak negatif yang sangat dirasakan dan mengganggu pernafasan masyarakat sekitar. Namun, bagi sebagian masyarakat terutama yang menjadikan TPST sebagai sumber pendapatan, keberadaan TPST Piyungan juga dapat memberikan dampak positif (Widyaningsih & Ma'ruf, 2017).

TPST Piyungan memiliki fasilitas pengolahan lindi yang bertujuan untuk mengolah air lindi yang dihasilkan dari sampah agar dapat dibuang ke badan air dengan lebih aman atau sesuai dengan peraturan pembuangan air lindi yang berlaku. Namun, fasilitas tersebut belum beroperasi secara optimal karena masih banyak sampah yang masuk ke dalam instalasi dan gas metana serta amonia yang tinggi di udara, sehingga tingkat toksisitasnya masih tinggi (Ariyani et al., 2018). Kualitas air lindi yang dibuang di outlet TPST Piyungan mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi, yaitu sebesar 2890 mg/L, 3497,5 mg/L, dan 308 mg/L. Ketiga indikator tersebut sangat melebihi Standar Baku Mutu Air Limbah yang diizinkan oleh PERMEN LHK RI NOMOR P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, yaitu sebesar 150 mg/L, 300 mg/L, dan 100 mg/L (Ramadhan dan Ikhsan, 2020).

Pengelolaan sampah di TPST Piyungan masih memiliki kekurangan diantaranya menghasilkan gas yang kurang dikelola dengan baik sehingga menimbulkan pencemaran udara. Selain itu, TPST Piyungan kurang mampu mengelola air lindi sehingga hasil olahannya melebihi standar baku mutu air. Salah satu solusi untuk mengoptimalkan pengolahan air limbah adalah dengan pendekatan bioteknologi menggunakan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan teknik pengelolaan air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan limbah (Suryani, 2011). Teknik ini lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan teknik lain, seperti kimia dan fisika (Lukic *et al.*, 2017). Sesuai penelitian yang telah dilakukan oleh Gholami *et al.*, (2022) dan Oljira *et al.*, (2018), bakteri indigenous hasil isolasi telah berhasil menurunkan nilai BOD-COD limbah air pabrik kertas daur ulang dan limbah cair industri hingga 70%. Oleh karena itu artikel ini bertujuan untuk menguraikan potensi bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri indigenous pada air limbah di TPST Piyungan, sehingga diharapkan dapat memberikan solusi terhadap permasalahan lingkungan di TPST Piyungan

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kepustakaan (library research). Studi kepustakaan merupakan suatu rangkaian pengumpulan data yang diperoleh dari membaca, mencatat, dan mengolah bahan penelitian. Studi pustaka yang dilakukan mengacu pada penelitian 10 tahun terakhir dengan meninjau kelompok-kelompok bakteri yang telah ditemukan sebagai bioremediator pada limbah cair. Sementara itu, metode bioremediasi yang dapat digunakan adalah metode *self purification*, yaitu mekanisme pemurnian dari zat pencemar yang terjadi secara alamiah dengan memanfaatkan peranan mikroorganisme tanpa adanya aktivitas manusia yang terlibat (Hendrasarie dan Cahyarani, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses degradasi polutan organik dan anorganik yang terjadi melalui mekanisme biologi dengan tujuan mengurangi konsentrasi polutan atau zat berbahaya hingga tingkat yang tidak berbahaya. Proses ini melibatkan reaksi metabolisme sel yang dikatalisis oleh enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme seperti bakteri, fungi, yeast, alga, dan enzim. Reaksi degradasi polutan dapat terjadi baik di dalam maupun di luar sel mikroorganisme yang terlibat dalam proses ini (Melati, 2020). Proses bioremediasi memanfaatkan enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme untuk mengubah polutan beracun menjadi bentuk yang tidak berbahaya. Namun, ada banyak faktor yang harus diperhitungkan dalam memilih teknik bioremediasi yang sesuai, seperti karakteristik polutan, tingkat kepolusian, kebijakan lingkungan, lokasi, biaya, dan kondisi lingkungan. Faktor-faktor seperti konsentrasi oksigen, nutrisi, suhu, pH, dan faktor abiotik lain juga sangat berpengaruh terhadap keberhasilan teknik bioremediasi (Melati, 2020).

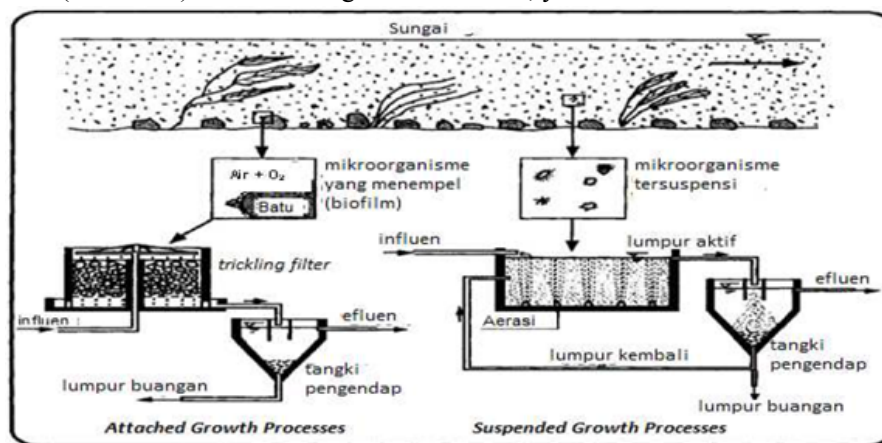
Mikroorganisme seperti bakteri indigenous dapat digunakan dalam proses bioremediasi untuk mengurangi zat-zat beracun di lingkungan. Bakteri ini ditemukan secara luas di alam bebas dan bermanfaat bagi manusia dalam berbagai cara, seperti mengendalikan pertumbuhan tanaman secara alami, menghasilkan antibiotik, memecah fosfat, dan menghasilkan enzim-enzim yang berguna dalam industri. Oleh karena itu, bakteri indigenous merupakan agen bioremediasi yang berguna dan dapat digunakan dalam berbagai bidang (Batubara, et al., 2015).

Saat ini, teknik ini telah dikembangkan untuk menangani masalah air limbah yang mengandung senyawa-senyawa kimia yang sulit didegradasi (Tortora, 2010). IPTEK (ilmu pengetahuan dan teknologi) telah

memberikan banyak kontribusi terhadap bioremediasi sebagai solusi untuk mengurangi polutan dalam pengendalian pencemaran air. Penelitian ini menggunakan pendekatan kepustakaan (library research) sebagai metodenya. Bioremediasi terbukti lebih efektif dan efisien daripada metode yang menggunakan bahan kimia dalam mengatasi pencemaran air. Selain itu, mikroba seperti bakteri, jamur, dan protozoa telah terbukti dapat memainkan peran yang signifikan dalam proses pengolahan air limbah dan mempertahankan keseimbangan ekologis perairan (Gerardi., 2006).

Prinsip Bioremediasi

Prinsip dasar teknik ini adalah dengan menggunakan mikroorganisme bakteri indigenous yang ada di sungai untuk mengurangi kandungan polutan yang terdapat dalam limbah tersebut. Proses ini merupakan proses alami *self purification* yang terjadi di sungai, yaitu proses penyaringan dan penguraian bahan-bahan organik yang terdapat dalam air oleh mikroorganisme yang ada di dalamnya. Menurut (Priadie, 2012), prinsip *self purification* (Gambar 1) oleh mikroorganisme ada dua, yaitu:



Gambar 1. Proses *self-purification* di sungai yang diadopsi pada IPAL penduduk (Mudrack and Kunst, 1986; dalam Paul Lessard and Yann Le Bihan, 2003)

1. Pertumbuhan mikroorganisme menempel (*attached growth processes*)

Pertumbuhan mikroorganisme dengan proses *attached growth* adalah suatu proses dimana mikroorganisme tersebut tumbuh dan berkembang dengan menempel pada suatu permukaan. Pada proses ini, mikroorganisme tersebut tidak terbawa oleh aliran air seperti pada proses *suspended growth*, melainkan terikat pada suatu permukaan tertentu. Proses *attached growth* ini biasanya diaplikasikan pada instalasi air lindi dengan menggunakan bakteri indigenous yang dapat menempel pada batuan atau tanaman air.

2. Pertumbuhan mikroorganisme yang tersuspensi (*suspended growth processes*)

Pertumbuhan mikroorganisme dengan proses *suspended growth* adalah suatu proses dimana mikroorganisme tersebut tumbuh dan berkembang dengan terbawa oleh aliran air. Pada proses ini, mikroorganisme tersebut tidak terikat pada suatu permukaan tertentu, melainkan terdiri dari agregat mikroorganisme yang tersuspensi di dalam air. Proses *suspended growth* ini dapat diaplikasikan pada instalasi air lindi TPST Piyungan dengan menggunakan sistem lumpur aktif konvensional yang menggunakan bak aerasi atau SBR (*Sequence Batch Reactor*) (Mara, Duncan & Horan, 2003).

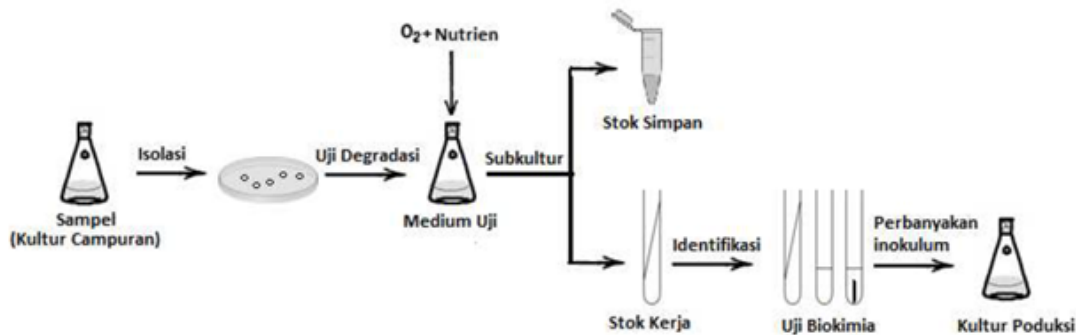
Tahapan Bioremediasi Air Lindi

Berdasarkan dua prinsip tersebut, bioremediasi air lindi memerlukan beberapa tahapan, yaitu:

1. Isolasi bakteri

Pemilihan isolat bakteri yang tepat melalui proses isolasi yang baik dan benar dapat memberikan kinerja penurunan kadar polutan yang optimal dalam proses remediasi air limbah. (Thompson et al, 2005). Secara alami, bakteri yang diinginkan akan memiliki jumlah yang lebih banyak daripada bakteri

yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, proses isolasi diperlukan untuk memisahkan bakteri yang diinginkan dari bakteri yang tidak diinginkan. Setelah proses isolasi, bakteri yang diinginkan kemudian dapat dibanyakan dengan proses perbanyakan bakteri agar dapat digunakan dalam proses remediasi air limbah (Barrow & Feltham, 2003). Tujuan dari isolasi bakteri adalah untuk mendapatkan bakteri yang diinginkan dengan cara mengambil sampel mikroba dari lingkungan asal. Dari sampel tersebut kemudian dikultur/dibiakkan dengan menggunakan media universal atau media selektif, tergantung tujuan yang ingin dicapai (Tortora, 2010). Setelah melakukan proses isolasi, akan diperoleh koloni-koloni bakteri yang kemudian diambil koloni yang dominan/diinginkan untuk diamati dan dibuat subkultur murninya agar dapat digunakan dalam penurunan zat pencemar (Priadie, 2012).



Gambar 3 . Proses isolasi, uji degradasi, identifikasi, dan perbanyakan bakteri

2. Identifikasi bakteri

Identifikasi bakteri dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti pengamatan morfologi sel, pewarnaan gram, dan uji biokimia. Contoh hasil isolasi dan identifikasi bakteri indigenous yang dapat mendegradasi zat pencemar seperti logam Pb, nitrat, nitrit, bahan organik (BOD-COD), sulfida, kekeruhan, dan amonia adalah *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenylobacterium*, *Enhydro-bacter*, *Micrococcus*, dan *Flavobacterium* (Priadie, 2012).

3. Perbanyakan bakteri

Setelah diperoleh isolat bakteri yang diinginkan melalui proses uji degradasi dan identifikasi, selanjutnya dilakukan perbanyakan bakteri untuk uji skala lapangan. Perbanyakan bakteri ini dilakukan dengan membuat medium pengembangan inokulum yang cukup mirip dengan medium produksinya, agar bakteri dapat beradaptasi dengan cepat dan mengurangi fase lag. Tahapan dalam perbanyakan bakteri indigenous meliputi pembuatan kultur stok, pemeliharaan kultur, perbanyakan kultur tahap I, perbanyakan kultur tahap II, dan pembuatan kultur produksi (Priadie, 2012).

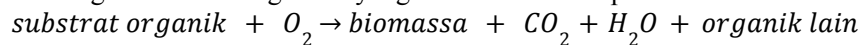
Mekanisme Bioremediasi

Proses bioremediasi meliputi pengubahan senyawa pencemar organik kompleks menjadi senyawaan kompleks menggunakan bakteri. Bakteri akan menguraikan senyawa-senyawa berbahaya menjadi senyawa yang lebih sederhana dan stabil sehingga kadar zat pencemar dalam air limbah menurun. Hal ini dapat terjadi karena dalam aktivitas metabolisme bakteri memerlukan senyawa-senyawa organik berupa nitrogen, oksigen, dan fosfor yang biasa terkandung di dalam air limbah.

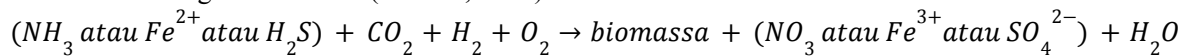
Selama proses bioremediasi berlangsung, bahan-bahan pencemar yang memiliki molekul lebih besar akan ditransformasi menjadi bentuk yang lebih sederhana. Proses transformasi ini terjadi karena adanya biomanipulasi. Biomanipulasi diperlukan untuk memperkenalkan bakteri-bakteri indigen yang telah selesai diseleksi dari pengujian potensi pendegradasi yang tinggi. Dekomposisi bahan organik oleh bakteri ini akan menghasilkan senyawa CO_2 dan H_2O .

Metabolisme yang terlibat dalam penguraian senyawa organik adalah metabolisme aerob. Mikroba akan berkembang dengan baik apabila kebutuhan oksigen dan nutrisi dapat terpenuhi dengan baik, sehingga mampu untuk menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk mengurai senyawa-senyawa organik. Metabolisme

aerobik dirumuskan sebagai reaksi biodegradasi yang tercantum dalam persamaan:



Dalam reaksi tersebut, substrat organik dioksidasi, sedangkan O_2 direduksi sehingga menghasilkan H_2O . Substrat organik berfungsi untuk membangun biomassa. Bakteri kemoautotrof aerob atau lithotrof aerob dapat mereduksi senyawa-senyawa organik (NH_3 , Fe^{2+} , dan H_2S) untuk dapat memperoleh energi dan fiksasi CO_2 serta untuk membangun karbon sel (Sutanto, 2014)



Penelitian Terdahulu

Beberapa kelompok bakteri yang telah ditemukan sebagai bioremediator pada limbah cair. Berikut penelitian terdahulu (10 tahun terakhir) mengenai analisa pengolahan limbah cair menggunakan bakteri sebagai bioremediator:

Referensi	Limbah	Bakteri	Metode	Hasil Pengamatan
(Gholami et al., 2022)	Air limbah industri kertas dan kardus	Klebsiella pneumoniae AT-1, Citrobacter freundii AT-4, Bacillus subtilis AT-5 selama 10 hari inkubasi	Bioremediasi air limbah pada kondisi optimal selama 10 hari.	Penurunan nilai maksimum COD hingga 79,54% dengan bakteri <i>C. freundii</i> dan biodegradasi warna maksimal hingga 45,96% dengan bakteri <i>B. subtilis</i> AT-5.
(Priadie, 2012)	Cemaran limbah pada badan air.	Bakteri indigenous dan bakteri commercial product	Bioremediasi melalui proses: isolasi, pengujian degradasi, identifikasi bakteri, dan perbanyakan bakteri.	Kemampuan mereduksi bahan pencemar logam Pb, nitrat, nitrit, bahan organik (COD), sulfida, kekeruhan, dan amonia di sungai maupun danau.
(Oljira et al., 2018)	Limbah cair dari Industri minuman.	Aeromonas sp., Pseudomonas sp., and Bacillus sp. setelah 12 hari inkubasi	Bioremediasi dengan indigenous asal limbah yang diisolasi dari tanah, effluent, dan endapan.	Penurunan : 73.55% - 94.85% BOD 76.78% - 93.25% COD 54.43% - 77.21% total N 41.80% - 78.18% total P
(Morris et al., 2018)	Air limbah padat kota pada lindi tempat pembuangan akhir	Firmicutes, Actinobacteria, and Proteobacteria	Bioremediasi dengan bakteri indegenous.	Penurunan: 90% ammonia 67% fosfat 63% nitrat

(Gholami et al., 2022) telah melakukan pembuktian untuk mengolah limbah cair berupa air limbah pabrik daur ulang kertas dan kardus dapat menggunakan bakteri indigenous. Hasil yang diperoleh terdegradasinya zat organik hingga nilai COD turun sampai 79,54%. (Priadie, 2012) melakukan literatur review terhadap beberapa penelitian terdahulu mengenai teknik bioremediasi pada pencemaran air. Hasilnya perbandingan antara Setelah diperoleh isolat bakteri yang diinginkan melalui proses uji degradasi dan identifikasi, selanjutnya dilakukan perbanyakan bakteri untuk uji skala lapangan. Perbanyakan bakteri ini dilakukan dengan membuat medium pengembangan inokulum yang cukup mirip dengan medium produksinya, agar bakteri dapat beradaptasi dengan cepat dan mengurangi fase lag. (Morris et al., 2018) dan (Oljira et al., 2018) telah melakukan penelitian masing-masing pada limbah industri minuman dan air limbah pembuangan akhir. Hasilnya terjadi penurunan kadar zat organik yang bisa dilihat pada tabel. Di samping bakteri indigenous terdapat pula bakteri exogenous yang juga dapat berperan dalam bioremediasi. Namun, penggunaan bakteri exogenous dilaporkan efektif dalam bioremediasi khususnya dalam penguraian minyak yang mencemari lingkungan seperti pada tanah, sehingga penggunaan kurang sesuai diterapkan pada TPST Piyungan (Molano, 2018).

Jenis sampah yang dominan di TPST Piyungan adalah sampah organik dengan jumlah kurang lebih 72% dari total sampah yang dibuang (Ariyani et al., 2018). Kandungan zat organik pada air lindi di TPST Piyungan dapat diolah dengan pendekatan biologi. Sesuai dengan yang dilaporkan oleh Morris et al (2018) yang memanfaatkan isolat bakteri sebagai bioremediasi pada air lindi. Bakteri hasil isolasi dari air limbah diinokulasi sehingga didapatkan bakteri dengan efektifitas paling baik dalam mendegradasi zat organik.

Berdasarkan dari asalnya, bakteri yang digunakan dalam teknik bioremediasi dapat berupa bakteri indigenous dan bakteri commercial product. Bakteri commercial product merupakan bakteri yang diproduksi dalam kondisi terkontrol sehingga penggunaannya dalam bioremediasi dengan cara dilarutkan sesuai ketentuan. Sedangkan, bakteri indigenous perlu dilakukan isolasi dan perbanyakan bakteri untuk mendapatkan bakteri dengan efektivitas degradasi limbah yang tinggi. Penggunaan bakteri indigenous lebih dipilih karena pada dasarnya bakteri tersebut berada pada air limbah, sehingga lebih tahan terhadap keadaan lingkungan.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Bakteri indigenous berpotensi mendegradasi zat organik dalam limbah air TPST piyungan dengan menguraikan senyawa-senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya

$$\text{Substrat organik} + \text{O}_2 \text{ biomassa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{organik lain}$$
2. Nilai BOD-COD limbah air TPST dapat diturunkan dengan menggunakan teknik bioremediasi menggunakan prinsip self purification. Menurut (Priadie, 2012), mikroorganisme dapat berperan dengan cara menempel pada suatu permukaan dan dalam bentuk tersuspensi dalam air lindi.

Saran

Penulisan artikel ini hanya terbatas pada pendekatan kepustakaan metode bioremediasi berdasarkan artikel jurnal dan buku rujukan. Keterbatasan hasil ulasan topik ini masih belum terlalu mendalam, sehingga perlu kajian lebih lanjut untuk survei ke daerah TPST Piyungan dan melakukan perancangan teknik bioremediasi yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, S. F., Putra, H. P., dan Kasam. (2018). Evaluasi Pengelolaan Sampah di TPA Piyungan, Kabupaten Bantul. *Environmental Engineering Journal*.
- Barrow, G.I. & Feltham, R.K.A. (2003). *Cowan and Steel's Manual for Identification of Medical Bacteria*. 3rd Edition. Cambridge University Press.
- Batubara, U. M., Susilawati, I. O., & Riyan, H. (2015). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Indigenous Tanah di Kawasan Kampus Universitas Jambi. Pontianak: Semirata.
- Buthelezi, S. P., Olaniran, A. O. & Pillay, B. (2009). Turbidity and Microbial Load Removal from River Water Using Biofloculants from Indigenous Bacteria Isolated from Wastewater in South Africa. *African Journal of Biotechnology*. Volume 8 (14), pp. 3261-3266. ISSN 1684-5315, Academic Journals.
- Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. Case. (2010). *Microbiology: An Introduction*. 10th Edition.
- Gerardi, M.H. (2006). *Wastewater Bacteria*. New Jersey, John Wiley.
- Gholami, M., et al. (2022). Indigenous Bacteria as An Alternative for Promoting Recycled Paper and Cardboard Mill Wastewater Treatment. *Scientific Reports*, 12(1), 16767. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21362-6>
- Hendrasarie, N dan Cahyarani. 2008. Kemampuan Self Purification Kali Surabaya, Ditinjau dari Parameter Organik Berdasarkan Model Matematis Kualitas Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol.2 (1). Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Ismiyanto, Agung. (2016). Setiap Hari Kota Yogyakarta Hasilkan 220 Ton Sampah. *Tribun Jogja*, 14 Desember 2016.
- Lukic B, Antonio Panico, David Huguenot, Massimiliano Fabbicino, Eric D. van Hullebusch & Giovanni Esposito. 2017. A review on the efficiency of landfarming integrated with composting as a soil remediation treatment, *Environmental Technology Reviews*, 6:1, 94 - 116, DOI: 10.1080/21622515.2017.1310310
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. *Seminar Nasional Biotik*.
- Molano, J. (2018, November 12). Use of Exogenous Bacteria to Improve the Bioremediation Process in the Caracara Field Colombia. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference*. <https://doi.org/10.2118/193267-MS>
- Morris, S., et al. (2018). Bioremediation of Landfill Leachate Using Isolated Bacterial Strains. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 6(1), 26–35. <https://doi.org/10.12691/ijebb-6-1-4>
- Mulasari, A., et al. (2016). Analisis Situasi Permasalahan Sampah Kota Yogyakarta dan Kebijakan Penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. Volume 11 (2), pp. 96-106. DOI: 10.15294/kesmas.v11i2.3989.
- Oljira, T., Muleta, D., & Jida, M. (2018). Potential Applications of Some Indigenous Bacteria Isolated from Polluted Areas in the Treatment of Brewery Effluents. *Biotechnology Research International*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/9745198>
- Priadie, B. (2012). TEKNIK BIOREMEDIASI SEBAGAI ALTERNATIF DALAM UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.14710/jil.10.1.38-48>.

- Ramadhan, M. R. & Ikhsan, J. 2020. Pengaruh Air Lindi (Leachate) TPST Piyungan terhadap Kualitas Air di Sungai Opak. Proceedings The 1st UMYGrace. ISBN: 978-623-7054-44-3.
- Satuan Kerja Pengembangan Sistem Penyehatan Lingkungan dan Permukiman Daerah Istimewa Yogyakarta. 2017. Laporan Akhir: Studi Peningkatan Kinerja TPA Regional Piyungan Kabupaten Bantul Tahun Anggaran 2017. Yogyakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Supriyatno, B. (2000). Pengelolaan air limbah yang berwawasan lingkungan suatu strategi dan langkah penanganannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(1).
- Suryani, Y. (2011). Bioremediasi Limbah Merkuri dengan Menggunakan Mikroba Pada Lingkungan yang Tercemar. *Jurnal ISTEK*. 1-2 (5).
- Sutanto, A. (2014). Bioremediasi Limbah Cair Nanas. Malang: UMM Press.
- Thompson Ian P. Christopher J., Van Der Gast, Lena Ciric & Andrew C. Singer. (2005). Bioaugmentation for Bioremediation: The Challenge of Strain Selection. *Environmental Microbiology*. Volume 7(7), pp. 909-915.
- Widyaningsih, T. & Ma'ruf, A. 2017. Eksternalitas Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ekonomi dan Studi Pembangunan*. Volume 18 (1), pp. 86-103. DOI: 10.18196/jesp.18.1.4013.