

### PERANCANGAN SISTEM MITIGASI PENCEMARAN LIMBAH LOGAM BERAT MELALUI TEKNOLOGI BIOREMEDIASI SEBAGAI ALTERNATIF DALAM UPAYA PENGENDALIAN POLUSI AIR BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*

Bayu Hardito, Muhammad Daffa Aditya Saputra, dan Idris Zakaria

Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email Korespondensi: [bayuhardito@student.ppns.ac.id](mailto:bayuhardito@student.ppns.ac.id)

#### **Kata Kunci:**

*bioremediasi, internet of things, pencemaran limbah*

#### **ABSTRAK**

Pencemaran limbah logam berat adalah isu lingkungan yang menjadi perhatian serius di era modern ini. Data dari BPS (Badan Pusat Statistik) menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2021, terdapat 10.683 desa/kelurahan yang mengalami pencemaran air, yang menunjukkan tingkat keparahan masalah pencemaran tingkat lokal. Selain itu, data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021, Indonesia menghasilkan timbulan limbah B3 mencapai 60 juta ton. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah bioremediasi, yaitu teknologi yang memanfaatkan organisme hidup, seperti mikroba dan bakteri. Mikroba dan bakteri berperan sebagai katalisator pemisah zat dalam campuran bioremediasi dengan limbah logam berat tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem yang mengimplementasikan teknologi bioremediasi dengan bantuan *Internet of Things (IoT)* sebagai upaya mengendalikan pencemaran air yang disebabkan oleh limbah logam berat terutama oli. Alat ini mengintegrasikan teknologi IoT guna mengetahui tingkat kualitas air dengan cara mengukur parameter kualitas air secara *realtime* melalui Telegram dengan akurasi yang tinggi. Selain itu, penulis juga menambahkan fitur deteksi udara lewat sensor udara yang nantinya akan memantau kualitas udara di sekitar. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode kombinasi deskriptif dan eksperimen, dengan melakukan percobaan dalam skala *prototype*.

#### **Keyword:**

*bioremediation, internet of things, waste pollution*

#### **ABSTRACT**

*Heavy metal waste pollution is an environmental issue of serious concern in this modern era. Data from BPS (Central Bureau of Statistics) states that throughout 2021, there were 10,683 villages / sub-districts that experienced water pollution, which shows the severity of the local level pollution problem. In addition, data from the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) in 2021, Indonesia produced 60 million tons of hazardous waste. One approach used to overcome this problem is bioremediation, which is a technology that utilizes living organisms, such as microbes and bacteria. Microbes and bacteria act as catalysts to separate substances in the bioremediation mixture with heavy metal waste. This research aims to design a system that implements bioremediation technology with the help of the Internet of Things (IoT) as an effort to control water pollution caused by heavy metal waste, especially oil. This tool integrates IoT technology to determine the level of water quality by measuring water quality parameters in real time via Telegram with high accuracy. In addition, we also add an air detection feature through an air sensor that will monitor the quality of the surrounding air. The research method used in this research is using a combination of descriptive and experimental methods, by conducting experiments on a prototype scale.*

## 1. PENDAHULUAN

Semua kegiatan produksi selalu mengakibatkan atau menghasilkan limbah. Meskipun limbah ini berasal dari aktivitas industri maupun non-industri, sering kali dalam

penanganan selalu diabaikan. Secara umum, limbah memerlukan perhatian yang lebih mendalam, terutama ketika limbah tersebut mengandung bahan berbahaya dan beracun atau yang lebih dikenal sebagai limbah B3 (Ariani, 2019). Direktorat Jendral Pengelolaan Sampah pada tahun

2019, mengeluarkan hasil pengawasan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, jumlah total limbah B3 atau yang dikenal dengan bahan berbahaya dan beracun yang berasal dari kegiatan industri di Indonesia sebanyak 44.939.612,36 ton (Nursabrina *et al.*, 2021), jenis limbah yang dihasilkan dari hasil proses produksi industri maupun nonindustri diantaranya sianida, pestisida, logam berat, minyak, oli, dan zat kimia berbahaya lainnya. Jika tidak dikelola dengan baik dan memadai, limbah ini akan membuat daya rusak yang berat bagi lingkungan atau biasa yang disebut dengan pencemaran. Bahkan berpotensi untuk mengancam kesehatan makhluk hidup disekitar (Dan *et al.*, n.d.).

Pencemaran yang paling berpotensi dan memiliki dampak negatif bagi makhluk hidup yaitu limbah logam berat yang terlarut di dalam air, dimana nantinya air akan sangat merugikan bagi masyarakat dan ekosistem sekitar yang terkontaminasi. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran air yaitu teknik bioremediasi. Salah satu mikroorganisme yang umum digunakan yaitu *Pseudomonas Aeruginosa*. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mendegradasi limbah logam berat.

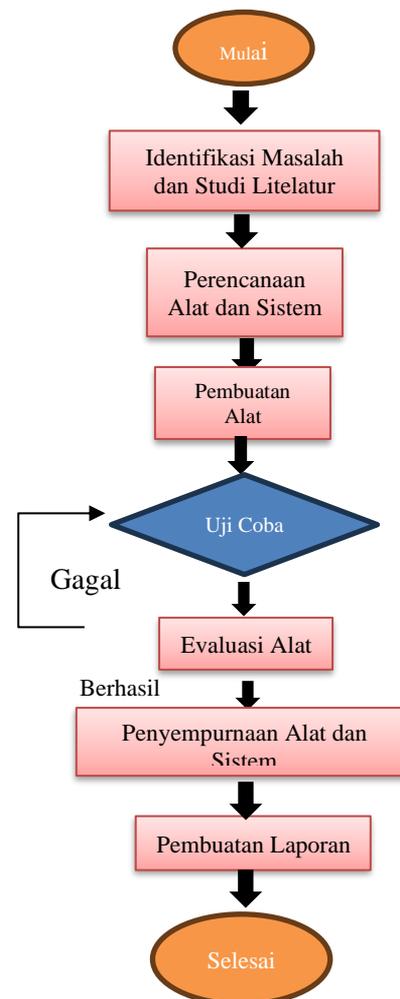
Optimalisasi bioremediasi sebagai upaya pengurangan limbah logam berat dapat dilakukan dengan merancang sistem teknologi yang dapat memantau kadar air serta melakukan langkah mitigasi pada perairan yang tercemar. Berdasarkan permasalahan di atas, dirancanglah inovasi teknologi yang mampu memonitoring dan memitigasi pencemaran limbah logam berat secara *realtime* dan efektif. Teknologi tersebut adalah sistem mitigasi pencemaran limbah logam berat dengan panel surya berbasis *Internet of Things* guna mewujudkan *Sustainable Environment* dan meminimalisir dampak perubahan iklim di Indonesia.

Teknologi ini memanfaatkan IoT guna mengetahui tingkat kualitas air dengan cara mengukur parameter kualitas air dengan akurasi yang tinggi. Sebagai teknologi ramah lingkungan, alat ini juga dilengkapi panel surya sebagai suplai listrik mandiri mandiri untuk mengaktifkan sensor TDS EC, mikrokontroler, sensor MQ2, LCD, pompa mini, dan lampu indikator untuk berjalannya proses kerja dari alat. Sistem mitigasi dari alat ini yaitu dengan penggunaan sensor kualitas air sebagai masukan dan pompa mini yang berisi cairan bioremediasi sebagai keluaran. Ketika sensor TDS mendeteksi adanya polusi air maka pompa mini akan menyala dan mengeluarkan cairan bioremediasi pada lingkungan yang tercemar.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kombinasi deskriptif dan eksperimen dengan melakukan percobaan dalam skala *prototype*. Berikut merupakan alur penelitian pembuatan

alat.

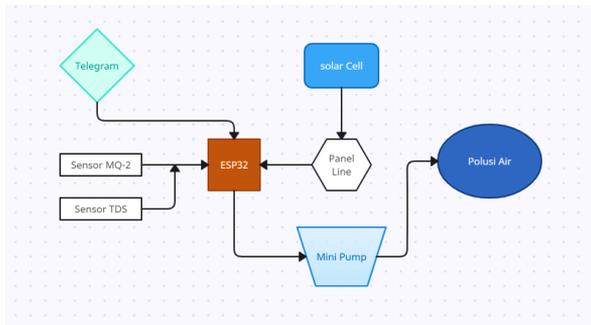


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Sumber: (Penulis, 2023)

Tahap awal dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi masalah dan melakukan literasi pada beberapa jurnal terkait sebelumnya. Pencemaran air oleh limbah logam berat memberikan dampak negatif pada lingkungan sekitar, serta perairan yang tercemar dapat memengaruhi perubahan iklim di Indonesia. Sebagai solusi dari permasalahan tersebut, maka digagaslah sebuah ide dengan pemanfaatan sensor kualitas air serta sistem mitigasi yang berisi cairan bioremediasi dan diintegrasikan dengan *IoT*. Kemudian dilakukan studi literatur dengan mencari berbagai materi penunjang dari buku, jurnal, dan artikel dari media cetak dan media *online*.

Pada tahap kedua, melakukan perancangan alat meliputi pembuatan diagram blok sistem dan desain dari inovasi alat yang akan direalisasikan.



**Gambar 2.** Rancangan Sistem Kerja Alat

**Sumber:** (Penulis, 2023)

Pada tahap selanjutnya ini merupakan tahap terpenting dalam metode pelaksanaan lainnya, dikarenakan pada tahap ini merupakan tolak ukur keberhasilan alat yang dibuat:

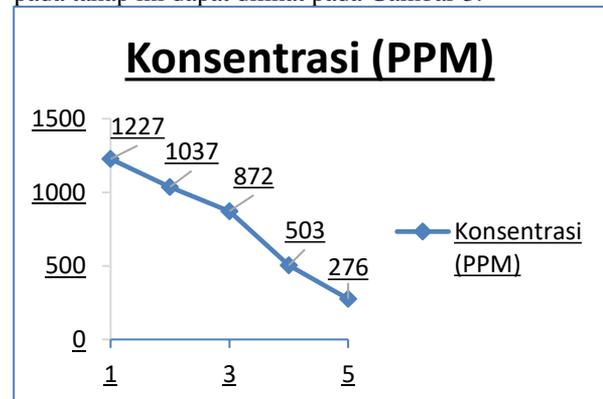
1. Pembuatan awal cairan bioremediasi  
Cairan bioremediasi dilakukan menggunakan campuran kentang, tomat, gula merah, dan air putih. Banyak cairan yang dibuat untuk inovasi ini yaitu 1 liter.
2. Pengujian cairan bioremediasi  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari cairan bioremediasi yang akan digunakan dengan mengukur kadar PPM (*parts per million*) dalam cairan.
3. Pengujian Sistem *IoT* (*Internet of Things*)  
Sistem pemantauan kualitas air secara *real realtime* menggunakan telegram. Nantinya telegram akan diakses dengan mudah melalui hp atau laptop yang terhubung dengan jaringan.
4. Pengujian cairan bioremediasi dengan limbah oli  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah limbah oli akan terdegradasi dengan cairan bioremediasi. Penulis menggunakan beberapa variasi ukuran oli yang akan dicampurkan pada cairan bioremediasi untuk melihat konsentrasi maksimal yang dihasilkan.
5. Perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)  
Pengujian ini dilakukan untuk mengukur arus dan tegangan pada sistem PLTS alat mitigasi, serta mendapatkan data waktu pengisian baterai yang dibutuhkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah Pengambilan data kadar cairan bioremediasi dan air dilakukan secara bertahap. Cairan bioremediasi dikontrol dengan sensor kualitas air yang sudah diatur kadar PPM nya. Alat ini akan mengukur dan mengontrol cairan bioremediasi.

- a. Pengujian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 20 ml.  
Pengambilan data konsentrasi cairan bioremediasi akan melewati 3 percobaan, untuk tahap kali ini adalah

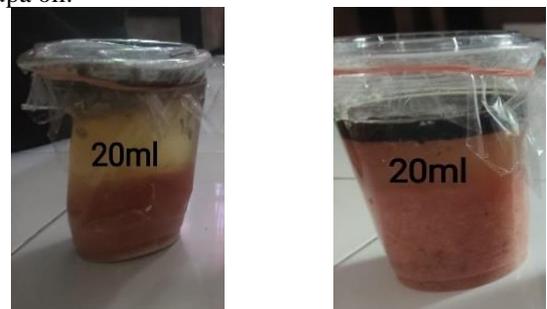
pengujian cairan bioremediasi dengan campuran limbah oli 20 ml untuk menguji apakah bioremediasi dapat mendegradasi limbah oli dengan efektif. Hasil konsentrasi pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Konsentrasi Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 20 ml

**Sumber:** (Penulis, 2023)

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi cairan bioremediasi yang di tambahkan ke dalam air yang terkena polutan oli sebanyak 20 ml. Pada pembacaan sensor pertama terjadi kenaikan konsentrasi PPM menjadin 1.227 PPM pada hari pertama, penurunan PPM terjadi secara bertahap setiap harinya. Hal ini terjadi karena cairan bioremediasi yang menghasilkan bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* sedang bereaksi dengan polutan yang tercampur di dalam air. Pada hari pertama menuju hari kedua, terdeteksi dan dihasilkan pemisahan endapan oli yang berada diatas cairan dan dilapisi bioremediasi, data yang dihasilkan sebesar 1.037 PPM sehingga lapisan atas dapat disimpulkan polutan yang sudah tercemar dan mulai dipisahkan dari air karena teknologi bioremediasi. Pada hari ketiga hingga kelima, terjadi penurunan PPM air secara signifikan, penurunan terjadi karena bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* memaksa polutan naik ke permukaan air, sehingga kadar kualitas air mulai membaik dan terpisah dari polutan. Pada tiga hari terakhir percobaan, terjadi penurunan PPM air hingga 300 PPM per hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknologi bioremediasi bekerja secara baik dan efektif pada polutan berupa oli.

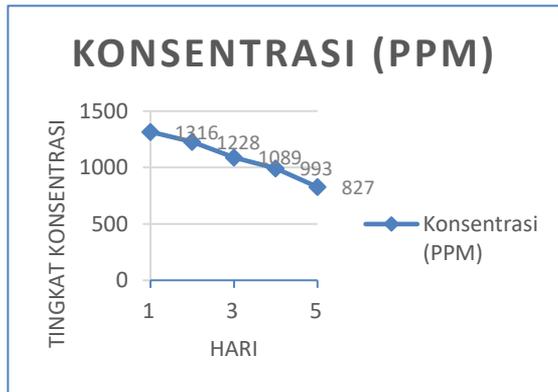


**Gambar 4.** Foto Penelitian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 20 ml

**Sumber:** (Penulis, 2023)

b. Pengujian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 30 ml

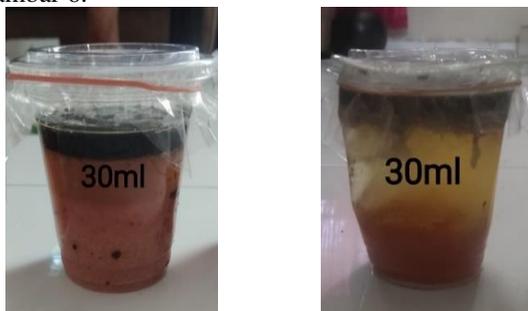
Limbah oli yang digunakan pada tahap ini yaitu 30 ml. Hasil konsentrasi pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konsentrasi Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 30 ml

Sumber: (Penulis, 2023)

Gambar 5 menunjukkan konsentrasi cairan bioremediasi yang di tambahkan ke dalam air yang terkena polutan oli sebanyak 30 ml. Pada pembacaan sensor pertama terjadi kenaikan konsentrasi PPM hingga 1.316 pada hari pertama, kenaikan PPM terjadi karena dicampurnya bioremediasi pada air yang tercemar, sehingga mengakibatkan kenaikan kualitas kadar air. Tetapi untuk konsentrasi oli 30 ml terjadi pelambatan reaksi dari cairan bioremediasi. Hal ini terjadi karena cairan bioremediasi yang menghasilkan bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* sedang bereaksi dengan polutan yang tercampur di dalam air. Pada hari kedua terdeteksi dan dihasilkan pemisahan endapan oli yang berada diatas cairan dan dilapisi bioremediasi, data yang dihasilkan sebesar 1.228 PPM sehingga lapisan atas dapat disimpulkan polutan mulai dipisahkan dari air. Pada percobaan ini, penurunan PPM pada air yang tercemar pada tiap harinya yaitu 98 PPM, atau hasil ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat pencemaran pada air tetapi tidak menunjukkan hasil yang efektif seperti percobaan pertama. Foto hasil penelitian pada hari pertama dan hari kelima dapat dilihat pada Gambar 6.

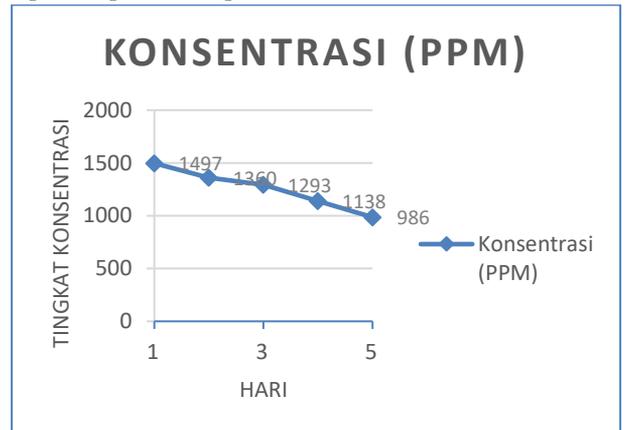


Gambar 6. Foto Penelitian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 30 ml

Sumber: (Penulis, 2023)

c. Pengujian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 30ml

Pada percobaan terakhir ini dilakukan dengan pencampuran 40ml limbah oli pada air. Hasil konsentrasi pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 7. Konsentrasi Cairan Bioremediasi 220ml dengan Limbah Oli 40 ml

Sumber: (Penulis, 2023)

Gambar 7 menunjukkan konsentrasi cairan bioremediasi yang di tambahkan ke dalam air yang terkena polutan oli sebanyak 40 ml. Pada pembacaan sensor hari pertama, terjadi kenaikan konsentrasi PPM yaitu 1.497 PPM. Pada hari kedua terjadi penurunan kadar PPM dalam air yaitu sebesar 137 PPM, namun pada hari ketiga percobaan mengalami penurunan PPM yang lebih kecil yaitu sebesar 67 PPM. Pada hari keempat dan kelima juga mengalami penurunan PPM dan kenaikan kualitas air, namun hasil yang didapat kurang efektif. Dapat disimpulkan bahwa bioremediasi dengan konsentrasi oli sebesar 40 ml terjadi pelambatan reaksi dari cairan bioremediasi daripada penelitian sebelumnya, sehingga disimpulkan pula setiap penambahan tingkat konsentrasi polutan yang tercampur dapat memperlambat reaksi bioremediasi. Foto hasil penelitian pada hari pertama dan hari kelima dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Foto Penelitian Cairan Bioremediasi 220 ml dengan Limbah Oli 40 ml

Sumber: (Penulis, 2023)

d. Pengujian Sensor

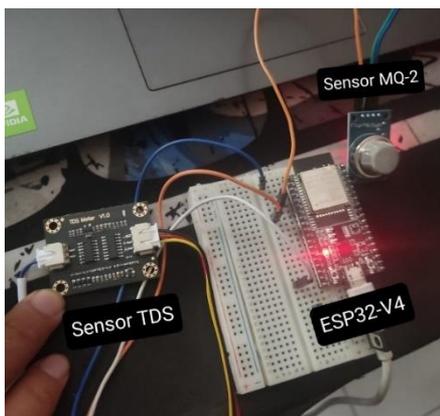
**Tabel 1.** Kualitas Air

No	Kondisi Sensor Air	Notifikasi Telegram	Output Pompa
1.	Kualitas air < 600 PPM	“Kualitas Air Sangat Bagus”	Mati
2.	Kualitas air 601-900 PPM	“Kualitas Air Bagus”	Mati
3.	Kualitas air 901-1200 PPM	“Kualitas Air Berbahaya!”	Mati
4.	Kualitas air > 1200 PPM	“Air Sudah Tercemar!”	Nyala

**Tabel 2.** Kondisi Udara

No	Kondisi Sensor Udara	Notifikasi Telegram
1.	Sensor tidak mendeteksi gas beracun	“Kualitas Udara Bagus”
2.	Sensor mendeteksi gas beracun	“Udara Sekitar Berbahaya!”

Pada pengujian sistem *Internet of Things* dibutuhkan pengujian sensor terlebih dahulu guna mengetahui karakteristik, efektifitas dan keakuratan sensor yang akan digunakan. Sensor yang akan diuji pada tahap ini yaitu sensor kualitas air (sensor TDS) dan sensor kualitas (sensor MQ-2) dengan menggunakan mikrokontroler ESP-32 tipe V4.



**Gambar 9.** Pengujian sensor

**Sumber:** (Penulis, 2023)

Setelah dilakukan pengujian masing-masing sensor dan efektifitasnya, nilai akurasi yang didapat mencapai nilai 90%. Dengan nilai tersebut, maka sensor yang dipilih layak dan memenuhi kriteria dalam pengembangan sistem IoT pada alat untuk memantau kualitas air dan udara sekitar.

e. Pengujian Sistem Kontrol dan Pompa

Pada tahap ini yaitu pengujian sistem kontrol dan

pompa yang bertujuan untuk menentukan ukuran cairan bioremediasi yang akan dikeluarkan ke perairan yang tercemar. Sesuai hasil pengujian, maka hasil terbaik dan efektif yaitu pada pengujian 220 ml cairan bioremediasi dengan limbah oli sebesar 20 ml. Pentingnya melakukan pengujian kontrol ini agar sistem mitigasi yang dibuat dapat sesuai dengan percobaan yang dilakukan, sehingga dapat berjalan efektif. Implementasi dari penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis hasil yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat yang kami buat merupakan inovasi gabungan antara Teknik bioremediasi dan juga IoT, yang menggunakan bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* untuk mengurangi kadar limbah logam berat yang terkandung didalam air.
2. Alat yang kami buat berbasis *Internet of Things* yang digunakan untuk mengetahui dan mengukur kualitas air dan udara secara *realtime* dengan parameter sensor udara dan air dengan akurasi yang tinggi, alat ini juga dilengkapi dengan panel surya.
3. Alat ini dapat menyuplai listrik secara mandiri untuk mengaktifkan mikrokontroler, sensor, dan lampu untuk berjalannya sebuah proses kerja dari alat karena itu alat ini dilengkapi dengan panel surya sebagai teknologi ramah lingkungan.
4. Bioremediasi bakal bekerja secara maksimal jika konsentrasi polutan yang tercampur didalam air tidak banyak sehingga alat ini mendeteksi secara semaksimal mungkin memberi peringatan dini bahwa air tersebut tercemar.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Telah selesai penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah mengizinkan dan memberikan bantuan terhadap penyusunan jurnal ini sehingga dapat terselesaikan dengan lancar, baik, dan sukses.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ambarwati, Y., & Bahri, S. (2018). Review: Fitoremediasi Limbah Logam Berat dengan Tumbuhan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L). *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(02), 139–147. <https://doi.org/10.23960/aec.v3.i2.2018.p139-147>

Ariani, L. (2019). *Efektivitas Kombinasi Em4 Dan Tanah Humus Dalam Proses Bioremediasi Limbah Oli*. 1–45.

Dan, D. D., Dana, A., Add, D., & Kabupaten, D. I. (n.d.). *No Title*.

Melati, I. (2020). *Pusat Penelitian Limnologi LIPI. Rahayu 2005*, 272–286.

Nursabrina, A., Joko, T., Septiani, O., Lingkungan, M. K., Masyarakat, F. K., Diponegoro, U., Lingkungan, D. K., &

- Masyarakat, F. K. (2021). *KONDISI PENGELOLAAN LIMBAH B3 INDUSTRI DI INDONESIA DAN POTENSI DAMPAKNYA : STUDI LITERATUR The Condition of Industrial Hazardous Waste Management in Indonesia and Its*. 13(1), 80–90.
- Pachaiappan, R., Cornejo-Ponce, L., Rajendran, R., Manavalan, K., Femilaa Rajan, V., & Awad, F. (2022). A review on biofiltration techniques: recent advancements in the removal of volatile organic compounds and heavy metals in the treatment of polluted water. *Bioengineered*, 13(4), 8432–8477. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2050538>
- Sayed, K., Baloo, L., & Sharma, K. (2021). *Bioremediasi Total Petroleum Hydrocarbons ( TPH ) dengan Bioaugmentasi dan Biostimulasi di Air dengan Floating Oil Spill Containment Booms sebagai Bioreactor Basin*.