

SPONGELIS: PENGEMBANGAN MEDIA PENDEGRASI MIKROPLASTIK TERINTEGRASI BAKTERI *IDEONELLA SAKAIENSIS*

Imel Fissamawati Rizki, Rinka Dio Cils Marselina, Yosi Oktaviani

Madrasah Aliyah Negeri 1 Pasuruan

riskyimel7@gmail.com, chelseamaecelin2@gmail.com, yosioktaviani0810@gmail.com

Abstrak

Permasalahan mikroplastik dalam ekosistem perairan menjadi isu lingkungan yang mendesak karena berpotensi mencemari rantai makanan manusia dan menurunkan kualitas air. Mikroplastik kerap ditemukan pada tubuh hewan air yang kemudian dikonsumsi oleh manusia. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi inovatif untuk mengurangi akumulasi mikroplastik di lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan SPONGELIS, sebuah media penarik dan pendegradasi mikroplastik berbahan dasar biodegradable yang terintegrasi dengan bakteri *Ideonella sakaiensis* dan teknologi kecerdasan buatan (AI). Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang mencakup tahap perencanaan, pengembangan media, hingga evaluasi. Pengembangan SPONGELIS dilakukan melalui pemanfaatan bahan alami seperti pati singkong dan kitosan dari limbah kulit udang, serta integrasi bakteri *Ideonella sakaiensis* yang mampu mendegradasi plastik jenis PET. Prototipe SPONGELIS dilengkapi sensor turbiditas dan aplikasi berbasis Android untuk memantau aktivitas bakteri serta tingkat pencemaran mikroplastik secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPONGELIS efektif menarik dan mendegradasi mikroplastik, serta dapat meningkatkan kualitas air secara signifikan. Media ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga berpotensi menjadi solusi berkelanjutan dalam upaya mendukung tujuan SDGs nomor 6, yaitu air bersih dan sanitasi layak. Inovasi ini diharapkan menjadi tonggak penting dalam penanganan mikroplastik di Indonesia.

Kata Kunci: AI, *Ideonella sakaeinsis*, Mikroplastik, SPONGELIS,

Abstract

The issue of microplastics in aquatic ecosystems has become an urgent environmental concern due to its potential to contaminate the food chain and reduce water quality. Microplastics are often found in aquatic organisms consumed by humans. Therefore, innovative solutions are needed to reduce microplastic accumulation in aquatic environments. This study aims to develop SPONGELIS, a biodegradable-based medium designed to attract and degrade microplastics, integrated with *Ideonella sakaiensis* bacteria and Artificial Intelligence (AI) technology. The research employed a Research and Development (R&D) approach, encompassing planning, media development, and evaluation stages. SPONGELIS was developed using natural materials such as cassava starch and chitosan derived from shrimp shell waste, combined with *Ideonella sakaiensis*, a bacterium capable of degrading PET-type plastics. The SPONGELIS prototype is equipped with turbidity sensors and an Android-based application to monitor bacterial activity and microplastic pollution levels in real time. The results show that SPONGELIS effectively captures and degrades microplastics and significantly improves water quality. This media is not only environmentally friendly but also has great potential as a sustainable solution to support SDG Goal 6, which promotes clean water and proper sanitation. This innovation is expected to become a key milestone in tackling microplastic pollution in Indonesia.

Keywords: AI, *Ideonella sakaeinsis*, microplastic, SPONGELIS.

Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, masalah lingkungan telah menjadi perhatian besar di seluruh dunia terutama mengenai mikroplastik. Mikroplastik adalah partikel plastik berukuran antara 1 μm hingga 5 mm, yang merupakan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dapat menyebabkan gangguan pada tubuh (Mukono, 2024). Mikroplastik dapat mengangkut logam berat atau polutan organik dari organisme lain yang dapat mengganggu proses biologis penting dalam tubuh manusia dan menyebabkan gangguan setelah tertelan (Khaled, et al., 2023). Mikroplastik dapat ditemukan di segala jenis ekosistem terutama ekosistem perairan. mikroplastik dapat menyebar melalui perairan secara cepat. dalam ekosistem perairan sendiri terdapat berbagai jenis hewan *aquatic* yang berpotensi mengonsumsi mikroplastik yang kemudian akan dikonsumsi kembali oleh manusia. Tidak hanya itu, ekosistem perairan ialah komponen penting dalam keberlangsungan hidup manusia seperti produksi O_2 dan penyerap CO_2 (Fava, 2022). Namun, banyak mikroplastik yang telah tersebar di air mengakibatkan menurunnya kualitas air tersebut, maka perlu adanya upaya mengurangi mikroplastik.

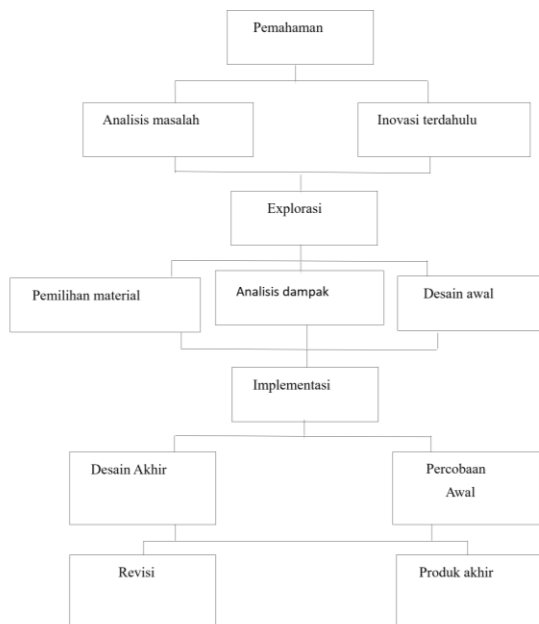
Beberapa eksperimen telah dilakukan sebelumnya untuk mengatasi permasalahan mikroplastik, seperti pipa filtrasi untuk memisahkan mikroplastik dengan air laut (Mardianto, 2021), dan pembuatan spons yang terbuat dari pati jagung dan dapat memerangkap mikroplastik (Sarah & A., 2023). Dari solusi di atas, ternyata bahan yang digunakan dapat menambah persoalan baru karena terdapat indikasi formalin (Sarah & A., 2023). Eksperimen lain adalah pemanfaatan bakteri *Ideonella sakaiensis* yang berpotensi digunakan untuk mendegradasi dan mendaur ulang plastik melalui enzim pada jenis plastik *Polietilen*

Tereftalat (PET) sehingga hasil degradasinya menjadi bentuk monomerik yang relatif lebih aman (Kohinoor, 2023). Berdasarkan hasil eksperimen di atas, artikel ini menyajikan ide inovasi yang berbeda dari sebelumnya, yakni *SPONGELIS*. *SPONGELIS* adalah media penarik dan pendegradasi mikroplastik yang berbahan *biodegradable* dan berada dalam air. Dengan bahan yang *biodegradable* maka tidak akan menimbulkan masalah baru serta mengoptimalkan pemanfaatan bakteri *Ideonella sakaiensis*.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)*., yang meliputi tahap perencanaan, pengembangan, dan evaluasi (Rachman & Purnomo, 2024). Proses *R&D* dimulai dengan identifikasi kebutuhan dan analisis masalah, dilanjutkan dengan desain media dan aplikasi serta pengembangan teknologi sensor terintegrasi *Artificial Intelligence(AI)*. Inovasi ini menjawab permasalahan terkait mikroplastik pada ekosistem air serta mendukung pilar SDGs keenam, yaitu air bersih dan sanitasi layak serta mendukung digitalisasi melalui penggunaan *AI*.

Berikut ini penjelasan terkait proses pembuatan *SPONGELIS*.



Gambar 1. Proses pembuatan SPONGELIS

1. Pemahaman

Tahap pemahaman bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang spesifikasi media dan kebutuhan fitur aplikasi yang akan diintegrasikan. Pada tahap ini dilakukan analisis mendalam berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu untuk menganalisis kekurangan dan peluang yang dapat menjadi perbaikan dan inovasi. Pada tahapan ini didapatkan inovasi media penarik dan degradasi mikroplastik diintegrasikan dengan sensor yang dapat dipantau melalui aplikasi berbasis AI.

2. Explorasi

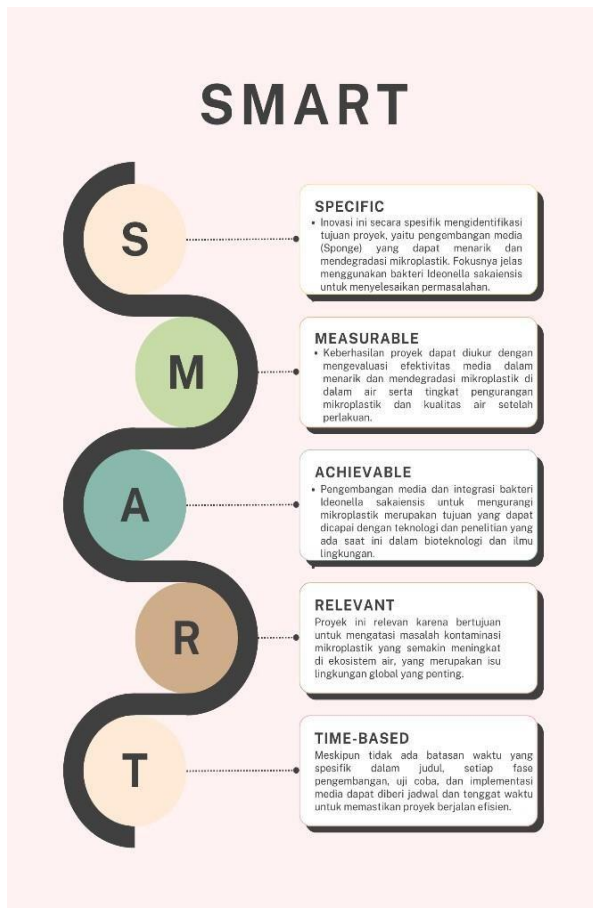
Tahapan ini bertujuan untuk memutuskan penggunaan bahan dan spesifikasi alat untuk mengembangkan SPONGELIS. Pada tahapan ini ditentukan media penarik berbahan dasar pati singkong dan kulit udang. Pati singkong memiliki kemampuan untuk membentuk gel dan struktur berpori yang ideal untuk menyerap mikroplastik dan kulit udang memiliki kandungan kitosan yang dapat berinteraksi dengan mikroplastik melalui ikatan hidrogen yang memperkuat daya tarik. SPONGELIS juga menggunakan bakteri *Ideonella sakaiensis* yang

dapat ditemukan di daerah dengan limbah plastik. Bakteri ini bukan berupa patogen, sehingga relatif aman digunakan serta memiliki kemampuan dalam mendegradasi mikroplastik dengan jenis PET yang kemudian kumpulan data seperti jumlah, jenis mikroplastik dan kondisi bakteri dapat dipantau melalui aplikasi Android secara fleksibel.

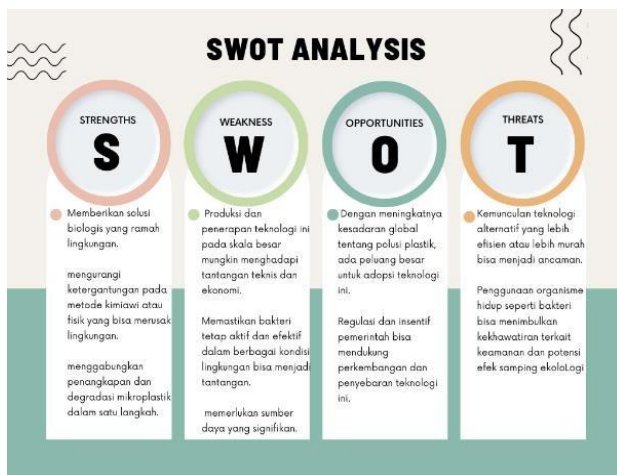
3. Implementasi

Tahapan ini bertujuan untuk mengimplementasikan SPONGELIS sebagai media penarik dan degradasi mikroplastik terintegrasi aplikasi berbasis AI yang dapat diakses dengan mudah tahapan ini dilakukan pengujian yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan seperti *bug* atau *error* untuk memastikan bahwa produk dapat berfungsi dengan baik. Dengan desain *icon* dan aplikasi yang menarik maka aplikasi ini tidak terkesan monoton dan lebih mudah dipahami.

Adapun model analisis *SMART* dan analisis *SWOT* untuk mengetahui secara *realistic* bagaimana pembuatan dan tujuan dari SPONGELIS, analisis dapat dilihat pada gambar 2. dan 3.



Gambar 2. Analisis SMART



Gambar 3. Analisis SWOT

Hasil dan Pembahasan

SPONGELIS merupakan inovasi media penarik dan pendegradasi mikroplastik berbahan nanokomposit *biodegradable*, yakni dari pati singkong dan kulit udang yang nantinya akan berbentuk spons laut. Media ini dilengkapi dengan sensor yang peka terhadap lingkungan sekitar yang nantinya akan terhubung dengan AI dan *Handphone* sebagai pemantau dan analisis

data yang mudah dipahami. Sampah mikroplastik yang menjadi target adalah jenis PET yang tersebar luas pada ekosistem perairan yang berasal dari botol minum sekali pakai (Kasma Warni, 2021).

Inovasi *SPONGELIS* menargetkan adanya peningkatan kualitas air dan ketahanan ekosistem air. Selain itu terdapat beberapa target konsumen penting di antaranya, sektor industri: perusahaan industri yang menghasilkan limbah plastik dan membutuhkan solusi pengelolaan limbah lalu industri lingkungan yang terdiri dari perusahaan dan lembaga yang fokus pada pemeliharaan dan pemulihan lingkungan, termasuk pembersihan badan air. Setelah itu pemerintah dan lembaga publik: lembaga pemerintah yang menangani masalah lingkungan dan kualitas air dan organisasi Non-Pemerintah atau *Non Government Organization* (NGO): yang bergerak dalam bidang penanganan pelestarian lingkungan dan pengurangan polusi.

SPONGELIS menggunakan media *sponge* yang terbuat dari pati singkong dan kitosan yang berasal dari kulit udang. Kulit udang sendiri merupakan limbah dengan populasi yang cukup banyak terutama di wilayah Jawa Timur. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2020), produksi udang hasil budidaya nasional pada tahun 2019 dan 2020 mencapai 861.336 ton, yang menunjukkan kemungkinan besar akan ada banyak limbah udang dan akan terus bertambah setiap tahun (BSIP Belitung, 2023). Kulit udang mengandung banyak bahan kimia, termasuk kitin, kalsium karbonat, protein, pigmen, mineral, dan lainnya, sehingga dapat diproses menjadi kitosan. Salah satu penggunaan kitosan adalah untuk membuat lapisan yang dapat dimakan dengan sifat antimikroba (Ardiansyah, et al., 2024).

Kitosan juga merupakan bahan biopolimer alam yang penting dan banyak digunakan dalam pembuatan makanan, pengobatan, bioteknologi, dan aplikator biomedis dan farmasi. karena sifatnya yang biokompatibel dan *biodegradable*, itu ramah lingkungan (Setiati & Siregar, 2021). Sebagai bahan polimer ramah lingkungan, kulit udang dapat dipadukan dengan senyawa lain untuk memperkuat kinerja dan pembentukan yang efisien yaitu melalui pati singkong. Pati singkong juga merupakan bahan *biodegradable* yang memiliki daya serap kuat dan mudah dibentuk. Salah satu pemanfaatan pati singkong ialah melalui plastik *biodegradable* dengan substitusi kitosan, dan sorbitol akan meningkatkan daya tahan dan plastik sintesis yang mencemari lingkungan (Nugraha., T., & P., 2020).

Permasalahan plastik sendiri terus meningkat dan sangat berbahaya. Plastik semakin banyak digunakan dalam kehidupan manusia karena ringan, tidak mudah pecah, fleksibel, praktis, dan murah (Wati. & Agung., 2022). Namun penggunaan tersebut tentu saja memperbanyak permasalahan sampah yang tidak dapat terurai. Salah satu upaya terdahulu ialah melalui pembuatan mesin pencacah plastik. Dengan mesin ini plastik dapat dipecah menjadi lebih kecil dan dapat lebih mudah diolah (Wati. & Agung., 2022). Pengolahan plastik sendiri masih belum optimal dan dibutuhkan pembenahan lebih lanjut. Kumpulan plastik dapat terpecah menjadi plastik yang lebih kecil dan disebut sebagai mikroplastik. Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat bakteri yang dapat mendegradasi mikroplastik yaitu *Ideonella sakaensis*. Bakteri *Ideonella sakaensis* ditemukan pada tahun 2016 oleh peneliti Jepang Kohei Oda dari Institut Teknologi Kyoto dan Kenji Miyamoto dari Universitas Keio (Grace, 2021).

Bakteri *ideonella sakaiensis* adalah bakteri dari genus *Ideonella* dan famili

commonadaceae yang mampu memecah dan mengonsumsi plastic PET dengan menggunakannya sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri *ideonella sakaiensis* ini dapat mengeluarkan enzim PETase yang memecah polimer PET menjadi asam mono (2-hidroksi etil) tereftalat (MHET), asam tereftalat (TPA), asam bis (2hidroksi etil) tereftalat (BHET) dan etilen glikol (EG) (Congcong Liu, 2019). Cara kerja enzim ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan enzim ke sampah plastik, dan enzim ini bisa mulai memecah sampah plastik dalam hitungan hari. Dengan menggunakan *Ideonella sakaiensis*, PET dapat didegradasi dengan lebih cepat antara 5 dan 120 kali (Sherina, 2022). Ini juga dapat digunakan untuk biodegradasi, mengubah gen pengkode PETase pada *Escherichia coli* untuk meningkatkan kinerja penguraian permukaan polimer plastik. Mineralisasi adalah tahap akhir dari proses biodegradasi. Pada tahap mineralisasi, produk akhir seperti H₂O, CH₄, dan CO₂ dilepaskan ke alam (Sherina, 2022). Supaya lebih efektif, bakteri ini membutuhkan media khusus yang bertujuan untuk mengfokuskan proses pendegradasi mikroplastik.

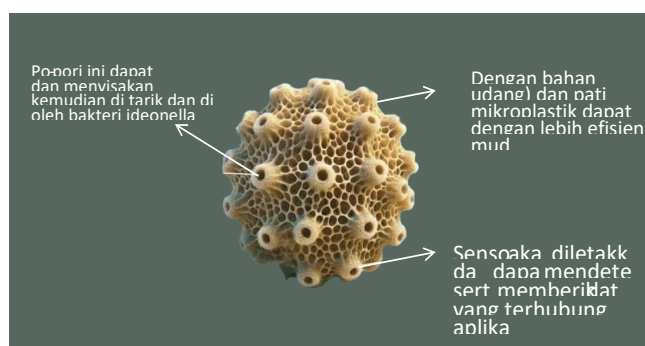
Menurut penelitian terdahulu, terdapat sebuah sponge yang didesain khusus sebagai agen penarik mikroplastik. Secara umum, spons yang dibuat dari kitin dan dikombinasikan dengan GO, O-C₃N₄, dan kitosan (seperti spons ChCN, ChGO, dan ChGO-CT) adalah sumber daya terbarukan yang memiliki daya guna ulang, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang sangat baik. Spons ini dapat menghilangkan mikroplastik dengan berbagai kelompok dari air distilasi (Cuizhu Sun, 2021). Dalam pengaplikasiannya terdapat kelemahan dari penelitian tersebut, yaitu hanya sebatas penarik mikroplastik. Dengan integrasi *Ideonella sakaiensis* proses penarikan akan lebih praktis dan mampu meningkatkan kinerja. Untuk memahami dan

memastikan bakteri tetap dalam kondisi stabil, perlu adanya *monitoring section* dan hal tersebut dilaksanakan melalui aplikasi yang terhubung melalui android, menggunakan sensor turbiditas yang peka terhadap sentuhan dan tangan modifikasi, maka data analisis dapat terpantau melalui aplikasi dan mampu meningkatkan pengetahuan serta kinerja dari *sponge*.

A. Tahapan Pengembangan SPONGELIS

1. Desain SPONGELIS

Pada tahap ini, tim akan membuat material SPONGELIS yang dapat menarik mikroplastik dari air. Material ini harus memiliki pori-pori yang cukup kecil untuk menangkap partikel mikroplastik dan dapat mencegah barang lain masuk serta memungkinkan air mengalir melalui



SPONGELIS. Tak hanya itu, pada tahapan ini desain awal dari aplikasi juga dilakukan untuk memberikan kesan yang tidak monoton dan lebih interaktif

Gambar 4. Rancangan media SPONGELIS

2. Integrasi bakteri *Ideonella sakaiensis*

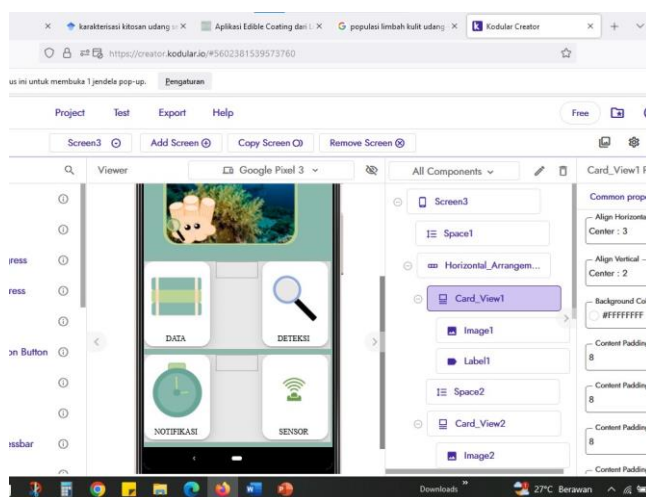
Pada tahapan ini, perlu adanya pengembangan cara untuk memasukkan bakteri *Ideonella sakaiensis* ke dalam SPONGELIS. Bakteri ini dikenal memiliki kemampuan untuk menghancurkan PET, pada tahap ini tim juga memastikan dan merancang kondisi yang tepat untuk kelangsungan hidup bakteri, yaitu pada suhu optimal 30-37°C serta ph optimal 7-7.5 (Hachisuka & Nishii, 2021).

3. Pengembangan Media

Untuk memaksimalkan pemanfaatan bakteri *Ideonella sakaiensis* perlu adanya pemembuatan media yang kemudian akan dilakukan uji coba di ekosistem air alami seperti sungai, atau ekosistem air lainnya.

4. Pengembangan aplikasi

Pada media SPONGELIS akan ada beberapa sensor seperti sensor turbiditas yang peka terhadap lingkungan sekitar sehingga data yang telah diperoleh akurat dan terhubung melalui aplikasi. Maka dari itu, pada tahapan ini perlu adanya pengembangan model aplikasi SPONGELIS yang memungkinkan Membuat aplikasi digital untuk memonitor penggunaan dan efektivitas SPONGELIS serta memungkinkan pengguna untuk melacak data kualitas air dan kinerja SPONGELIS secara *real time*.



Gambar 5. Pembuatan aplikasi

Gambar 6. Icon SPONGELIS

Fitur Aplikasi *SPONGELIS*

1. **Deteksi.** Dengan fitur ini pengguna dapat mendeteksi kehadiran mikroplastik dengan informasi terkait dan mendeteksi partikel-partikel di sekitarnya secara *real time*.
2. **Data.** Fitur data menyajikan berbagai informasi mulai dari jumlah, jenis, dan sumber mikroplastik yang sebelumnya telah dideteksi melalui fitur deteksi.
3. **Notifikasi.** Jika pengguna ingin mendapatkan informasi secara *real time* terkait batas konsentrasi mikroplastik mencapai titik tertentu maka pengguna akan mendapat notifikasi pada aplikasi. Notifikasi juga berguna apabila terdapat gangguan baik berupa kondisi air yang tidak stabil atau terdapat substansi asing.
4. **Sensor.** Pemantau bakteri *Ideonella sakaiensis* agar tetap dalam kondisi optimal dan evaluasi aktivitas bakteri dengan mikroplastik serta peninjauan data secara *real time* yang kemudian dimasukkan dalam fitur data

Sasaran Konsumen

Terdapat beberapa target konsumen yang Industri Lingkungan: terdiri dari perusahaan dan lembaga yang fokus pada pemeliharaan dan pemulihan lingkungan, termasuk pembersihan badan air.

- Pemerintah dan lembaga publik: lembaga pemerintah yang menangani masalah lingkungan dan kualitas udara.
- Organisasi Non-Pemerintah (NGO): lembaga yang menangani pelestarian lingkungan dan pengurangan polusi.
- Sektor Industri: perusahaan industri yang menghasilkan limbah plastik dan membutuhkan solusi pengelolaan limbah.



Cara Kerja *SPONGELIS*

SPONGELIS menggunakan media *sponge* yang terbuat dari pati singkong dan kitosan yang berasal dari kulit udang. Kandungan NH_2 yang tergantung pada kitosan dapat berinteraksi dengan mikroplastik menggunakan ikatan hidrogen dan fenomena adhesi dan kapilanteis. Kandungan kitosan dapat menjadi bahan nanokomposit yang kemudian dapat mengoptimalkan penarikan mikroplastik. Dengan menggunakan bahan tersebut diharapkan *SPONGELIS* dapat menarik dan menangkap mikroplastik yang juga memiliki ukuran kecil. Kandungan NH_2 juga dapat berinteraksi dengan mikroplastik menggunakan ikatan hidrogen dan fenomena adhesi dan kapilanteis. *SPONGELIS* menggunakan sistem AI yang terintegrasi dengan sensor turbiditas yang peka terhadap tingkat kekeruhan air dan dapat menyajikan data *real time* pada aplikasi. Terdapat pula biosensor yang digunakan untuk mengukur aktivitas bakteri untuk memastikan proses degradasi secara efektif dengan menggunakan *deep learning* pada AI aplikasi dapat segera mengidentifikasi mikroplastik dan mengolah data.



Gambar 7. Cara kerja SPONGELIS

Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas maka dapat disimpulkan, inovasi *SPONGELIS* memberikan peluang berupa media penarik dan degradasi mikroplastik. *SPONGELIS* memiliki potensi besar untuk terus dikembangkan dengan seiringnya pertumbuhan teknologi di bidang bioteknologi, *big data*, dan *AI*. Implementasi ini harus melibatkan banyak pihak, jadi penting bagi mereka untuk bekerja sama dengan mereka yang mendukungnya dan membuatnya diketahui masyarakat. Aplikasi ini juga mendukung penggunaan bahan ramah lingkungan. Dengan media ini diharapkan ekosistem air yang akan dimanfaatkan oleh masyarakat terbebas dari mikroplastik. Media ini juga mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) untuk mewujudkan lingkungan hidup berkualitas dan ketahanan air (PPN/Bappenas, 2024). Kedepannya aplikasi dan media ini dapat menjadi harapan dan tonggak penting dalam upaya menyelesaikan masalah sampah mikroplastik di Indonesia

Ucapan Terima Kasih

Kami selaku penulis menyampaikan terima kasih secara mendalam kepada para rekan dan editor yang terlihat langsung dalam penelitian ini maupun pihak-pihak lain yang terlibat secara tidak langsung. Terima kasih yang tidak terhingga kepada MAN 1 PASURUAN dan PT

UNITED TRACTORS Tbk atas dana dan fasilitas serta suportivitas yang diberikan dalam proyek kami. Demikian pula kami, menyampaikan terima kasih kepada para guru dan rekan rekan sekalian atas restunya dan mohon maaf atas semua khilaf, salah kata dan kesalahan yang ada.

Daftar Pustaka

- Ardiansyah, H., Putri, R. D., Widyastuti, C., Situmorang, M. L., Hamid, D. P., & Negoro, G. M. (2024). Aplikasi Edible Coating dari Limbah Kulit Udang dengan Aditif Asap Cair untuk Kemasan Sosis Sapi Antibakteri Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9-16.
- BSIP Belitung, K. B. (2023, November 20). *PENGOLAHAN LIMBAH UDANG MENJADI BAHAN PAKAN TERNAK SEBAGAI PENERAPAN SNI 8079:2014*. Diambil kembali dari babel.bsip.pertanian.go.id:https://babel.bsip.pertanian.go.id/berita/pengolahanlimbah-udang-menjadi-bahan-pakan-ternak-sebagai-penerapan-sni-80792014
- Congcong Liu, C. S.-C. (2019). Structural and functional characterization of polyethylene terephthalate hydrolase from *Ideonella sakaiensis*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*.
- Cuizhu Sun, Z. W. (2021). Biodegradable and reusable sponge materials made from chitin for efficient removal of microplastics. *Journal of Hazardous Materials*.
- Fava. (2022, Mei 09). *Why the Ocean is so important to life on earth*. Diambil kembali dari oceanliteracy-unesco-org:https://oceanliteracy-unesco-org.translate.google/oceanresources/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc

- Grace, Y. (2021, Juni 29). *Ideonella Sakaiensis, Bakteri Yang Dapat Mencerna Plastik PET*. Diambil kembali dari www.siu-bijiplastik.com/ideonella-sakaiensis-bakteri-yang-dapat-mencerna-plastik-pet/
- Hachisuka, S., & Nishii, T. (2021). Development of a Targeted Gene Disruption System in the Poly(Ethylene Terephthalate)-Degrading Bacterium *Ideonella sakaiensis* and Its Applications to PETase and MHETase Genes. *Applied Enviroment Microbiology*.
- Kasma Warni, I. D. (2021). Penentuan Limbah Mikroplastik Polyethylene Terephthalate Dengan Metode Glikolisis Dalam Air. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang Periodic , Vol 10 No 1 , 21-27*.
- Khaled, I., C. B., Mîndrican, M., M., N., S. M., N, C., . . . P., O. T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*.
- Kohinoor, Samiksha, S., S., N., & M., R. (2023). Recent Advancements and Mechanism of Plastics Biodegradation Promoted by Bacteria: A Key for Sustainable Remediation for Plastic Wastes. *BIOSCIENCES BIOTECHNOLOGY RESEARCH ASIA Vol. 20(1), 1-12*.
- Mardianto, F. E. (2021, Desember 03). *Inovasi Mahasiswa ITS untuk Laut Bebas Mikroplastik*. Diambil kembali dari <https://www.its.ac.id/news/2021/12/03/inovasi-mahasiswa-its-untuk-laut-bebasmikroplastik/>
- Mukono. (2024, Februari 21). *Mengkaji Keberadaan Mikroplastik di Lingkungan Indonesia Beserta Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Diambil kembali dari unair.ac.id/mengkaji-keberadaan-mikroplastik-di-lingkungan-indonesiabeserta-dampaknya-terhadap-kesehatan/
- Nugraha., L., T., R. D., & P., D. (2020). UJI PERBANDINGAN PLASTIK BIODEGRADABEL PATI SINGKONG DAN PATI KENTANG TERHADAP KEKUATAN DAN PEMANJANGAN. *JURNAL REKAYASA LINGKUNGAN*, 17-28.
- PPN/Bappenas, K. (2024). *Indonesia Emas 2045*. Dipetik Juli 17, 2024, dari [indonesia2045.go.id: https://indonesia2045.go.id/](https://indonesia2045.go.id/)
- Rachman, A., & Purnomo, H. (2024). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF DAN R&D*. Kab. Karawang: CV Saba Jaya Publisher.
- Sarah, & A., R. E. (2023, 10 08). *Peneliti Bikin Spons Biodegradable Penyerap Mikroplastik*. Diambil kembali dari <https://www.kompas.com/sains/read/2023/10/08/140000923/peneliti-bikin-sponsbiodegradable-penyerap-mikroplastik>
- Setiati, S., & Siregar, S. W. (2021). Potensi Keberhasilan Kulit Udang Sebagai Bahan Dasar Polimer Kitosan: Studi Literatur. *JURNAL PENELITIAN DAN KARYA TULIS ILMIAH LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS TRISAKTI*, 156-164.
- Sherina, M. P. (2022). Potential of *Ideonella sakaiensis* bacteria in Degrading Plastic Waste Type. *JURNAL BIOLOGI TROPIS*, 381-389.
- Wati., D. A., & Agung., S. (2022). RANCANG BANGUN MESIN PENCACAH SAMPAH PLASTIK. *STEAM Engineering (Journal of Science, Technology, Education And Mechanical Engineering)*, 9-13.

hedonic contingency hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66, 1034-1048.

Yoshida, Y. (2001). Essays in urban transportation. *Dissertation Abstracts International*, 62, 7741A.