

**CLINARY: PEMANFAATAN NADES BERBASIS SELULOSA DEDAK
PADI SEBAGAI ADSORBEN MIKROPLASTIK PET UNTUK
REMEDIASI PERAIRAN AIR TAWAR SECARA BERKELANJUTAN**

Christina Larasati Kusuma Wardani¹, Aidil Aditia Ilham², Sarah Kristina Julianti³

¹Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University,
Indonesia

²Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University,
Indonesia

³Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University,
Indonesia

¹2006christina@apps.ipb.ac.id, ²ilhamaidil@apps.ipb.ac.id,

³sarahhhkristina@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Microplastic pollution in freshwater bodies has become one of the global environmental challenges affecting ecosystems and human health. Rising temperatures and UV radiation intensity due to climate change further accelerate the degradation of plastic waste, thereby increasing the accumulation of microplastics in aquatic environments. Therefore, environmentally friendly technological innovations are needed to effectively reduce microplastic pollution. CLINARY was synthesized by modifying rice bran-derived cellulose using a choline chloride–glycerol-based NADES system to enhance its adsorption affinity toward PET microplastics. The research method involved CLINARY from rice bran cellulose, followed by testing its adsorption capacity for polyethylene terephthalate (PET) microplastics in freshwater samples using UV-Vis spectrophotometric analysis. The results of the study indicate that CLINARY exhibits high microplastic adsorption capacity with an efficiency of 72.1–85.7% under optimal conditions and pH 5. The physicochemical interactions between the hydroxyl groups on NADES and the surface of the microplastic polymers enable an effective adsorption process through FTIR. Furthermore, the use of rice bran waste as an adsorbent raw material not only reduces agricultural waste but also contributes to preserving the quality of freshwater resources, which are increasingly vulnerable due to the pressures of climate change. This innovation demonstrates potential as an eco-tech solution for managing microplastic pollution in water bodies while supporting efforts to mitigate the environmental crisis through the use of renewable resources and the application of environmentally friendly technologies in water quality treatment.

Keywords: *adsorbent, green technology, microplastics, NADES, PET, rice bran.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Emisi gas rumah kaca (GRK) selama berbagai proses yang terjadi dalam siklus hidup produk-produk berbahan dasar plastik menjadi ancaman serius bagi lingkungan. Menurut Sharma *et al.*, (2023) menyatakan bahwa produksi plastik dapat mencapai 13% yang diprediksi pada tahun 2050 dari total anggaran karbon planet atau setidaknya setiap tahun terdapat 8 juta ton masuk ke lautan sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap kenaikan suhu global. Indonesia merupakan negara penghasil polusi plastik terbesar ketiga di dunia sekitar 3,4 juta metrik ton polusi plastik per tahun (Piao *et al.*, 2024). Mikroplastik telah ditemukan pada banyak lingkungan perairan seperti sungai, danau, dan laut, dan rawa. Menurut data dari ECOTON tahun 2024, sebanyak 80% ikan yang dikonsumsi masyarakat Indonesia, khususnya ikan-ikan seperti Mujair, Nila, dan Bandeng, telah terkontaminasi mikroplastik. Hal tersebut berpengaruh terhadap rantai makanan dan dapat memaparkan mikroplastik pada tubuh manusia. Menurut penelitian dari Cornell University pada tahun 2024, masyarakat Indonesia mengonsumsi rata-rata 52,5 juta partikel mikroplastik per bulan atau setara dengan 15 gram per bulan, menempatkan Indonesia sebagai negara dengan tingkat konsumsi mikroplastik tertinggi di dunia.

Sebagian besar mikroplastik yang dikonsumsi berasal dari makanan perairan. Ketika manusia mengonsumsi makanan yang terpapar mikroplastik, mikroplastik masuk ke dalam tubuh dan dapat terakumulasi di berbagai jaringan tubuh (Amanu *et al.*, 2024). Mikroplastik dapat menyebabkan risiko yang membahayakan bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) menjadi mikroplastik yang paling umum dan sering ditemukan di lingkungan perairan. PET memiliki sifat yang relatif stabil dan resisten terhadap degradasi alami sehingga cenderung terakumulasi di lingkungan (Bai *et al.*, 2025). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengadsorpsi mikroplastik yang efektif. Strategi peneliti untuk menginovasikan adsorpsi mikroplastik telah dilakukan beberapa pendekatan baik secara fisik, kimia, maupun biologi. Upaya-upaya tersebut masih memiliki keterbatasan dan efek samping bagi lingkungan. Salah satu contohnya adalah degradasi mikroplastik secara biologis dengan menggunakan bakteri *Ideonella sakainesis* yang memiliki efektivitas rendah di lingkungan alami karena kebutuhan spesifik mikroorganisme seperti suhu, pH, dan nutrisi (Cai *et al.*, 2023).

Sebuah inovasi produk yang sesuai dengan prinsip SDGs diperlukan untuk mengatasi tantangan mikroplastik, seperti biaya yang efektif, kemampuan daur ulang yang baik, dan mampu berinteraksi secara molekuler untuk mengadsorpsi berbagai jenis mikroplastik di lingkungan air tawar. Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan biomassa yang mudah dicari dan harga terjangkau untuk membuat adsorben yang efisien. Selulosa merupakan polimer alami golongan polisakarida yang paling terbarukan dan berlimpah di alam. Selulosa banyak digunakan untuk

menghilangkan polutan dari air limbah karena biaya yang murah, biokompatibilitas, dan keberlanjutan (Sharma *et al.*, 2023). Selulosa mampu mengadsorpsi mikroplastik karena memiliki luas permukaan yang besar, struktur porositas yang baik, dan mampu mengikat air secara efisien sehingga dapat menjerat mikroplastik dari air (Leppänen *et al.*, 2022).

Dedak padi mengandung cukup banyak kandungan selulosa. Menurut Fan *et al.*, (2023), selulosa merupakan komponen utama dari struktur serat padat dalam lapisan dedak padi dan mengandung sekitar 30–35% selulosa. Jumlah kandungan selulosa tersebut memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi produk dalam bentuk bahan ekstrak. Meskipun dedak padi di Indonesia memiliki potensi besar, pemanfaatannya masih terbatas pada pakan ternak, dan banyak yang belum dimanfaatkan secara optimal. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibuat *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) berbahan dasar selulosa dedak padi dan kolin klorida untuk mengadsorpsi mikroplastik dalam meremediasi di lingkungan perairan air tawar secara berkelanjutan dengan inovasi yang bernama CLINARY.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat beberapa permasalahan yang perlu diteliti lebih lanjut, yaitu:

1. Bagaimana formulasi yang optimal untuk CLINARY berbahan *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) berbasis dedak padi dan kolin klorida sebagai agen pereduksi mikroplastik di air tawar?
2. Bagaimana efektivitas CLINARY dalam mengadsorpsi mikroplastik dari sumber air sebagai solusi pereduksian polusi mikroplastik?

1.3. Fokus Penelitian

Permasalahan dari latar belakang dapat menjadi fokus pada penelitian ini dan perlu dikaji lebih lanjut, yaitu:

1. Formulasi yang optimal untuk CLINARY berbahan *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) berbasis dedak padi dan kolin klorida sebagai agen pereduksi mikroplastik di air tawar.
2. Efektivitas CLINARY dalam mengadsorpsi mikroplastik dari sumber air sebagai solusi pereduksian polusi mikroplastik.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman lebih mendalam terkait permasalahan tersebut, dengan fokus pada:

1. Mengembangkan formulasi yang optimal untuk CLINARY berbahan *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) berbasis dedak padi dan kolin klorida sebagai bahan baku utama agen pereduksi mikroplastik di air tawar.
2. Menganalisis potensi pemanfaatan CLINARY dalam mendukung usaha adsorpsi mikroplastik sebagai solusi pereduksian polusi mikroplastik.

1.5. Manfaat Penelitian

Kegunaan hasil penelitian ini memuat uraian yang menjelaskan masalah penelitian dari segi teoritis maupun praktis. Manfaat yang diharapkan adalah sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis: menambah wawasan mengenai aplikasi kimia hijau *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) dari dedak padi untuk mereduksi mikroplastik pada air tawar.
2. Manfaat Praktis
 - a. Bagi penulis: menambah wawasan tentang aplikasi kimia hijau *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) dari dedak padi untuk mereduksi mikroplastik pada air tawar menggunakan metode eksperimen.
 - b. Bagi pembaca: memberikan informasi yang bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan serta referensi terkait pengaplikasian kimia hijau *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) dari dedak padi.
 - c. Bagi pemerintah: bahan masukan alternatif solusi yang lebih ramah lingkungan dalam menangani pencemaran mikroplastik tanpa bergantung pada metode mahal dan berbasis bahan kimia berbahaya.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi landasan penting dalam mendukung pengembangan CLINARY, khususnya dalam memahami berbagai pendekatan yang telah dilakukan terkait penanganan mikroplastik di lingkungan perairan. Berbagai studi sebelumnya telah mengkaji penggunaan adsorben, pelarut hijau, serta material berbasis biomassa dalam upaya menghilangkan mikroplastik, baik melalui mekanisme adsorpsi, filtrasi, maupun ekstraksi. Kajian tersebut dapat mengetahui kelebihan dan keterbatasan dari masing-masing metode yang telah dikembangkan berdasarkan **Tabel 1**.

Tabel 1. Komparasi Penelitian Terdahulu dalam Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan untuk Penghilangan Mikroplastik

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variabel	Metode/ Analisis	Hasil Penelitian
1	Hunter <i>et al.</i> , (2023)	Green Solvent- Mediated Extraction of Micro- and Nano-Plastic Particles from Water	X: Jenis dan komposisi NADES; Y: Efisiensi ekstraksi mikroplastik	Kuantitatif, eksperimen, dan simulasi molekuler	NADES mampu mengekstraksi mikroplastik dari air dengan efisiensi tinggi.
2	Anuwah Amarh <i>et al.</i> , (2024)	Carbon-Based Adsorbents for Microplastic Removal from Wastewater	X: Jenis adsorben berbasis karbon; Y: Efisiensi penghilangan mikroplastik	Kualitatif, studi literatur dan analisis komparatif berbagai metode adsorpsi	Adsorben berbasis karbon efektif dalam menghilangkan mikroplastik dari air limbah dengan efisiensi tinggi, tetapi masih memiliki keterbatasan dalam biaya dan regenerasi material.

- 3 Sayam *et al.*, (2026) Microplastic Removal from Wastewater through Biopolymer and Nanocellulose-Based Green Technologies X: Jenis biopolimer sebagai adsorben Y: Efisiensi penghilangan mikroplastik Kuantitatif, studi literatur (review) dan analisis komparatif Biopolimer dan nanoselulosa mampu menghilangkan mikroplastik dengan efisiensi tinggi hingga >90% melalui mekanisme interaksi seperti ikatan hidrogen, elektrostatik.

 - 4 Suyasa *et al.*, (2025) Potential of Cellulose Extracted from Sweet Corn Stalks (*Zea mays saccharata* Sturt) as a Microplastic Filter Membrane X: Jenis membran selulosa Y: Efisiensi filtrasi mikroplastik (%) Kuantitatif, eksperimen filtrasi, dan karakterisasi menggunakan SEM, FTIR, dan EDS Membran selulosa dari limbah jagung mampu menghilangkan mikroplastik dengan efisiensi tinggi ($\pm 90-92,5\%$) melalui mekanisme filtrasi berbasis struktur pori dan permukaan berpori.

 - 5 Frost *et al.*, (2024) Sorption of Metal Ions onto PET-Derived Microplastic Fibres X: Konsentrasi ion logam dan kondisi lingkungan Y: Kapasitas adsorpsi ion logam oleh mikroplastik PET Kuantitatif, eksperimen dan analisis interaksi permukaan mikroplastik PET Mikroplastik PET mampu mengadsorpsi ion logam melalui interaksi fisikokimia pada permukaan, menunjukkan bahwa mikroplastik dapat berperan sebagai media adsorben di lingkungan perairan.
-

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Mikroplastik

Menurut Chartres *et al.*, (2024) menyatakan bahwa mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik yang berukuran $<5000\ \mu\text{m}$ yang berkisar antara 1 nanometer (nm) hingga kurang dari 5 milimeter (mm). Mikroplastik terdiri dari berbagai jenis polimer, salah satunya adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET). PET termasuk jenis sampah plastik yang banyak dijumpai di lingkungan. Sumber utama limbah PET berasal dari botol minuman sekali pakai yang mengalami fragmentasi akibat faktor fisik, kimia, dan biologis, sehingga menghasilkan mikroplastik berukuran mikron hingga sub-mikron. Jenis sampah ini tidak hanya mencemari air, tetapi juga dapat terpecah menjadi mikroplastik yang berpotensi mengancam keberlangsungan hidup organisme akuatik (Annuar *et al.*, 2022). Karena stabilitas kimianya, PET cenderung terakumulasi di sedimen perairan dan menjadi sumber pencemaran jangka panjang (Annuar *et al.*, 2022). Upaya daur ulang melalui proses pirolisis dengan katalis silika-alumina telah dikaji untuk mengurangi volume limbah PET (Annuar *et al.*, 2022), tetapi volume limbah yang terbuang ke lingkungan tetap tinggi akibat konsumsi plastik yang masif.

2.2.2 Strategi Reduksi Mikroplastik

Reduksi dengan cara tradisional sudah diterapkan dari sebelum mengenal plastik seperti menggunakan daun pisang untuk menggantikan kantong plastik, menggantikan alat yang berbahan dasar plastik menjadi berbahan kayu, mendaur ulang sampah plastik menjadi benda yang berguna kembali (Kalina *et al.*, 2024). Namun, cara ini belum dapat menangani secara langsung mikroplastik yang sudah tersebar dalam ukuran yang sangat kecil dan hanya sebagai tindakan preventif agar tidak menambah polutan. Pada awalnya, menggunakan teknik pirolisis untuk mereduksi mikroplastik dapat berhasil. Namun, dalam menyintesis dari 63 studi terdapat beberapa data yang dapat dikatalogkan dari 25 polutan udara yang bersumber dari pabrik pirolisis termasuk pada senyawa organik yang mudah menguap dan variasi tingkat polutan organik yang persisten (Pivato *et al.*, 2024). Maka dari itu, strategi kimia hijau bisa menjadi opsi terbaik. Beberapa langkah terdahulu dalam mendegradasi mikroplastik yang lebih berpihak terhadap kelangsungan lingkungan hidup meliputi pemanfaatan enzim mikroorganisme dalam memecah mikroplastik. Penelitian serupa mengembangkan sifat PET sebagai polimer dengan ikatan ester yang dapat terhidrolisis dengan bantuan enzim hidrolase (Annuar *et al.*, 2022).

2.2.3 Kimia Hijau

Kimia hijau dapat mereduksi akibat dari pertumbuhan industri kimia secara global yang meningkatkan jumlah bahan kimia yang mencemari air, udara, dan tanah sejak pertengahan abad ke-20, seperti industrialisasi yang

pesat. Industrialisasi menyebabkan berbagai masalah ekologi, termasuk polusi, perubahan iklim, dan menipisnya sumber daya alam (Saxena, 2025). Kimia hijau muncul sebagai pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut yang berfokus pada perancangan ulang proses dan produk kimia untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan (Tejas *et al.*, 2023). Kimia hijau turut berkontribusi dalam pencegahan perubahan iklim dengan merancang produk dan proses yang meminimalkan penggunaan zat berbahaya, mengurangi konsumsi energi, dan memanfaatkan bahan baku terbarukan. Oleh karena itu, kimia hijau dapat memainkan peran penting dalam mengurangi jejak karbon dari kegiatan industri dengan menerapkan alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti memanfaatkan sumber energi terbarukan dan mengoptimalkan reaksi kimia agar membutuhkan lebih sedikit energi (Vats, 2025).

2.2.4 *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES)

Mengembangkan pelarut ramah lingkungan baru adalah salah satu fokus utama dalam Kimia Hijau. *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES) merupakan jenis pelarut hijau baru yang memiliki prospek menjanjikan dan telah menarik perhatian untuk menggantikan pelarut organik berbahaya. NADES dapat diaplikasikan di berbagai bidang karena proses pembuatannya yang sederhana, rendah biaya, ramah lingkungan, struktur yang dapat didesain, dan mudah terurai secara hayati. Hal tersebut disebabkan karena NADES terdiri dari senyawa alami seperti gula, asam amino, dan asam karboksilat (Ferreira & Sarraguca, 2024). NADES menggunakan prinsip sederhana dari donor dan akseptor ikatan hidrogen yang berinteraksi untuk membentuk jaringan molekul yang padat yang memberikan sifat fisik dan kimia yang menarik. Sifat-sifat tersebut adalah titik leleh yang rendah, volatilitas yang rendah, stabilitas termal yang tinggi (Juric *et al.*, 2021). Penelitian ini akan menjelaskan potensi penggunaan NADES sebagai ekstraktan untuk menghilangkan partikel mikroplastik yang berbeda dari larutan air dan memandu desain NADES hidrofobik untuk meremediasi plastik dari sistem air.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan metode eksperimen. Metode ini berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk menguji hipotesis yang berdasarkan pengumpulan data yang diambil di lapangan. Penelitian ini melibatkan manipulasi variabel bebas dan pengukuran variabel terikat.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium kimia fisik IPB University, Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Adapun waktu penelitian ini dimulai sejak tanggal 2 Januari hingga 30 Januari 2025.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki jenis variabel, diantaranya:

1. Variabel bebas, variabel bebas dari penelitian ini menggunakan variasi 0,5% dan 1% dari konsentrasi CLINARY (% w/v), waktu perlakuan (jam), dan suhu.
2. Variabel terikat, variabel terikat dari penelitian ini adalah efisiensi reduksi mikroplastik (%) yang diukur melalui pengurangan jumlah atau massa mikroplastik dalam sampel.
3. Variabel kontrol, variabel kontrol dari penelitian ini adalah jenis mikroplastik polimer polar (misalnya poliester, poliamida, atau poliuretan), volume sampel air tawar, dan temperatur selama perlakuan pemberian CLINARY terhadap sampel.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini memiliki lima tahap penelitian: (1) tahap persiapan, (2) tahap eksperimen, (3) tahap pengambilan data, (4) tahap merumuskan kesimpulan, saran dan rekomendasi, dan pelaporan (**Lampiran 2**).

3.4.1 Tahap Persiapan

Bahan baku pembuatan CLINARY disiapkan, yaitu dedak padi, NaOH, dan H₂O₂. Peneliti menyaring dedak padi dari batu, sekam, daun, dan debu dengan saringan kasar (40 mesh) dan saringan halus (100 mesh). Setelah itu, peneliti mengeringkan dedak padi sampai kadar airnya rendah (<10%) di bawah sinar matahari.

3.4.2 Tahap Eksperimen

Tahap eksperimen dilakukan dengan melakukan *pretreatment* alkali terhadap dedak padi sebagai bagian dari proses ekstraksi selulosa. Dedak padi dicampurkan dengan NaOH dengan rasio 1:10 (w/v), dipanaskan dengan suhu 80–100°C selama 2–3 jam, dan dipisahkan antara padatan dan larutan. Setelah itu, padatan yang mengandung selulosa dicuci menggunakan air deionisasi dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Padatan dicampur dengan H₂O₂ untuk melakukan proses pemutihan dan dipanaskan pada suhu 50–60°C selama 1–2 jam.

Prosedur berikutnya, NADES disintesis dengan menggabungkan dua komponen sesuai dengan rasio molar yang diberikan. Sintesis NADES menggunakan campuran kolin klorida (akseptor hidrogen) dan gliserol (donor hidrogen) dengan rasio 1:3 (w/w). Setelah itu, campuran dipanaskan dan diaduk pada suhu 60–80°C selama 30–60 menit. Aduk campuran sampai homogen dan menjadi cair (NADES terlihat transparan dan sedikit kental). Dedak padi hasil *pretreatment* alkali akan dicampurkan dengan NADES dengan rasio 1:10 (w/v). Campuran dipanaskan pada suhu 50–70°C

sambil diaduk selama 1–2 jam. Setelah NADES terbentuk dan homogen, biarkan campuran mendingin hingga suhu ruang. Karakterisasi NADES dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

3.4.3 Tahap Pengambilan Data

Data primer diambil dari hasil eksperimen uji adsorpsi yang telah dilakukan. Uji adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan CLINARY dengan sampel air tawar yang mengandung mikroplastik polietilena tereftalat (PET). Rasio campuran tersebut adalah 1:1 dengan konsentrasi CLINARY yang bervariasi dengan rasio CLINARY terhadap pengujian sampel air tawar (0,5% dan 1%) serta waktu inkubasi pada suhu kamar dengan durasi yang bervariasi (1, 2, dan 3 jam). Selama proses ini, CLINARY akan berinteraksi dengan mikroplastik dan mengikat partikel plastik ke dalam larutan. Setelah reaksi selesai, filtrasi dilakukan untuk memisahkan mikroplastik yang teradsorpsi oleh NADES dari larutan dengan menggunakan saringan halus. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur kadar absorbansi mikroplastik dalam larutan sebelum dan setelah adsorpsi untuk menentukan persentase pengurangan mikroplastik.

3.4.4 Tahap Pengolahan dan Interpretasi

Pengolahan data dilakukan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Peneliti menggunakan analisis deskriptif dalam menganalisis data, yaitu menyajikan data dalam bentuk tabel, grafik, maupun persentase untuk memahami distribusi data. Parameter yang dialisis, yaitu rata-rata efisiensi reduksi mikroplastik (%). Selain itu, peneliti akan menginterpretasikan data dengan mengaitkan hasil penelitian dengan penelitian terdahulu.

3.5 Analisis Data

3.5.1. Data

Penelitian yang dilakukan akan memanfaatkan data primer sebagai basis utama dalam analisis penelitian ini. Data primer yang dihasilkan pada penelitian ini diperoleh dari hasil observasi. Dalam hasil observasi menggunakan sampel air yang sudah terkontaminasi dengan mikroplastik dan diuji keefektifan mereduksinya dengan CLINARY. Selain itu, informasi tambahan terkait penelitian kami ambil melalui teknik kepustakaan studi atau literatur lain dengan menggunakan data sekunder.

3.5.2. Instrumentasi

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan spektrofotometer UV-Vis. FTIR merupakan alat untuk mengkarakterisasi selulosa dedak padi yang ada pada CLINARY. Sedangkan, spektrofotometer UV-Vis adalah instrumen untuk mengukur konsentrasi mikroplastik polietilena tereftalat dalam air yang terkontaminasi sebelum dan sesudah diberi perlakuan CLINARY

berbasis absorbansi. Peneliti menggunakan kedua alat tersebut untuk mendapatkan data uji adsorpsi yang digunakan sebagai data primer penelitian.

3.5.3. Pengumpulan Data

Adapun teknik pemerolehan data yang dilakukan peneliti untuk menunjang jalannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka, literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jurnal, laporan-laporan dan buku-buku yang berkaitan dengan CLINARY, mikroplastik, FTIR, dan dedak padi.
2. Observasi, observasi dilakukan untuk menganalisis perubahan yang terjadi pada air tawar ketika diberikan perlakuan.
3. Dokumentasi, dokumentasi dilakukan untuk menganalisis dan melihat dokumen-dokumen penting yang berhubungan dengan proses eksperimen sehingga dapat digunakan sebagai bukti pendukung.
4. Eksperimen, metode eksperimen dilakukan untuk melakukan kegiatan percobaan pembuatan NADES dari dedak padi.

3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian

Tabel 2. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
1	Studi literatur & penyusunan proposal				
2	Persiapan alat dan bahan				
3	<i>Pretreatment</i> dedak padi				
4	Sintesis NADES				
5	Uji adsorpsi mikroplastik				
6	Pengambilan & pengolahan data				
7	Analisis data & interpretasi				
8	Penyusunan laporan akhir				

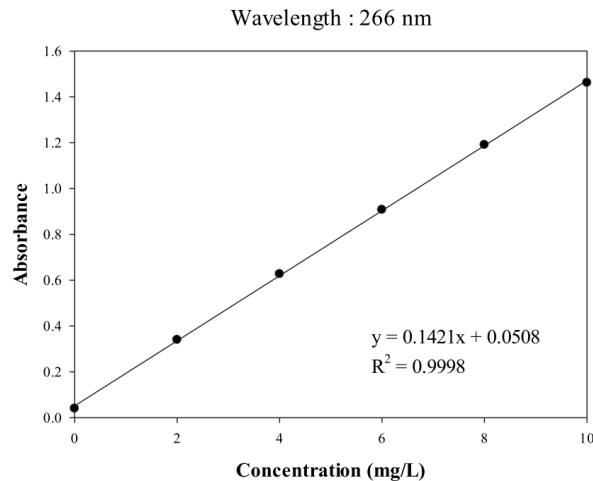
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1 Kurva Standar Absorbansi PET

Sampel yang digunakan dalam menganalisis mikroplastik jenis PET berasal dari botol air kemasan yang sudah didiamkan selama 3 bulan. Hasil

PET yang diukur menggunakan panjang gelombang dari instrumen spektrofotometri UV-Vis berdasarkan referensi **Gambar 1**. Panjang gelombang maksimal dari PET sekitar 280–320 nm (Tuleushev *et al.*, 2021) dan hasil pengujian dilampirkan pada **Tabel 3**.



Gambar 1. Kurva PET standar absorbansi dengan konsentrasi (Sumber: Fan *et al.*, 2022)

Tabel 3. Nilai Absorbans Spektrofotometri UV-Vis dan Kadar Sampel Air PET sebelum diberi perlakuan CLINARY

Suhu	Absorbansi	Kadar (mg)
135 °C	0.4	2
	0.6	4
	1.0	6
	1.2	8
	1.4	10

Sumber: (Fan *et al.*, 2022)

4.1.2 Efektivitas CLINARY dalam Reduksi Mikroplastik

Pengujian pada sampel air yang terkontaminasi mikroplastik dilakukan dengan absorbansi UV-Vis dari uji adsorpsi pada panjang gelombang mikroplastik. Dari pengujian tersebut diulangi dengan waktu dan suhu yang berbeda-beda. Hasil reduksi mikroplastik setelah perlakuan CLINARY dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Nilai Absorbans Spektrofotometri UV-Vis Sampel Air PET Setelah Diberi Perlakuan dengan CLINARY.

Konsentrasi	Suhu (°C)	Waktu	Jangkauan (nm)	Lokasi Panjang Gelombang Maksimal (nm)	Absorbans
	25	1 jam	280–300	294.000	0.645
		2 jam	280–340	294.000	0.544

0,5%	40	1 jam	280–340	294.000	0.417
		2 jam	280–340	294.000	0.475
1%	25	1 jam	280–340	294.000	0.458
		2 jam	280–340	294.000	0.591
	40	1 jam	280–340	294.000	0.516
		2 jam	280–340	294.000	0.622

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian sampel air yang diberikan CLINARY menghasilkan panjang gelombang yang lebih rendah dari sebelumnya. Maka dari itu, untuk mencari tingkat efisiensi dalam mengadsorpsi perlu dioperasikan dengan rumus berikut.

$$\text{Efisiensi Adsorpsi (EAd)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

C_0 = konsentrasi mikroplastik awal (sebelum adsorpsi).

C_1 = konsentrasi mikroplastik setelah adsorpsi.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat dirincikan dengan tabel sebagai berikut. Didapatkan nilai efisiensi adsorpsi CLINARY terhadap mikroplastik jenis PET berkisar antara 72.1–85.7%.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Efisiensi Adsorpsi Mikroplastik PET Setelah Perlakuan dengan CLINARY.

Konsentrasi CLINARY	C_0 (mg)	C_1 (mg)	Suhu (°C)	Waktu	EAd
5 ml (0.5%)	15	4.1845	25	1 jam	72.1%
		3.4732		2 jam	76.8%
		2.5787	40	1 jam	82.8%
		2.9873		2 jam	80.1%
10 ml (1%)	20	2.8576	25	1 jam	85.7%
		3.8576		2 jam	80.7%
		3.2753	40	1 jam	83.6%
		4.0218		2 jam	79.9%

Keterangan. EAd = Efisiensi Adsorpsi, C_0 = Konsentrasi Mikroplastik Awal, C_1 = Konsentrasi Mikroplastik Akhir.

4.2 Pembahasan

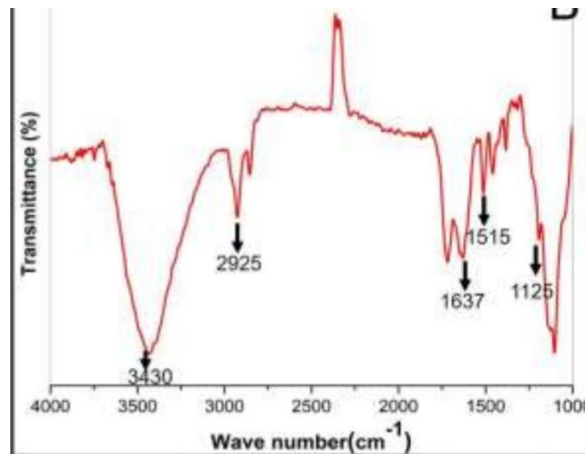
Studi saat ini tentang degradasi mikroplastik dari air melalui berbagai pendekatan masih mengandalkan pemanfaatan polimer berbasis minyak bumi yang tidak dapat terurai secara hayati. Selain itu, ada juga kekhawatiran bahwa polimer berbasis plastik dapat menjadi sumber mikroplastik (mikroplastik sekunder) (Faria

et al., 2022). Selulosa memiliki gugus hidroksil (-OH) yang dapat dimodifikasi untuk meningkatkan daya serap terhadap partikel mikroplastik. Dengan teknik modifikasi kimia, seperti oksidasi atau penambahan gugus fungsional bermuatan, selulosa dapat menarik dan menjerap mikroplastik dari air (Colombo *et al.*, 2023).

4.2.1. Karakterisasi CLINARY

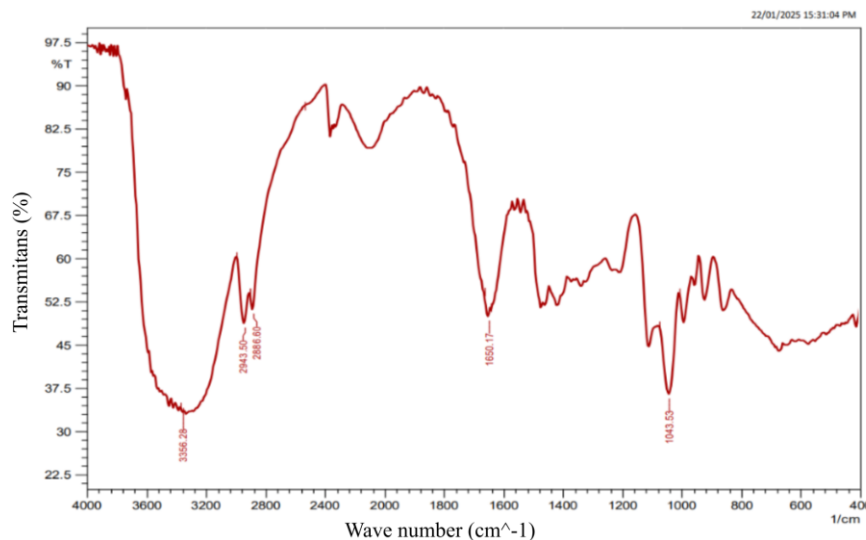
Karakterisasi yang dilakukan dari selulosa dedak padi, gliserol, dan garam kolin klorida menghasilkan bentuk larutan yang seperti gel dengan tingkat viskositas 285.05 mPa.s (**Lampiran 3**). Hasil dari selulosa dari dedak padi tidak homogen dengan larutan gliserol dan kolin klorida (**Lampiran 4**). Selulosa tersebut membentuk seperti butiran kecil pada larutan tersebut. Selain itu sifat selulosa yang tidak larut dalam air sehingga menghasilkan permukaan yang kurang homogen (Fadila *et al.*, 2023). Campuran distribusi yang tidak homogen dari nanokristal selulosa dalam pati sagu dan gliserol, karena interaksi kelompok hidroksil makromolekul pati sagu, gliserol dan kelompok hidroksil nanokristal selulosa (**Gambar 2**). Struktur kristalin yang kompleks dan interaksi antar rantai yang kuat melalui ikatan hidrogen pada selulosa membuat suatu sifat yang sulit homogen terhadap banyak pelarut.

CLINARY memiliki pH yang sedikit asam, yaitu 5. Hal tersebut merupakan sebuah keunggulan untuk mereduksi mikroplastik jenis PET. pH asam dapat mengurangi interaksi hidrofobik dan menstabilkan partikel mikroplastik di dalam air sehingga memudahkan adsorpsi mikroplastik (Hunter *et al.*, 2023). Efektivitas CLINARY untuk mengadsorpsi mikroplastik disebabkan oleh kemampuannya untuk membentuk interaksi yang kuat dengan molekul plastik. pH 5 dapat memengaruhi ikatan hidrogen dan gaya van der Waals antara CLINARY dan PET sehingga berpotensi meningkatkan afinitas CLINARY terhadap kontaminan ini (Hunter *et al.*, 2023). Interaksi ini sangat penting untuk meningkatkan proses adsorpsi karena memungkinkan CLINARY untuk “menjerap” partikel mikroplastik PET dengan lebih efektif.



Gambar 2. Hasil Spektrum FTIR pada selulosa dedak padi (Sumber: Arun *et al.*, 2020)

CLINARY memiliki sifat hidrofobik karena interaksi van der Waals yang ada di antara rantai hidrokarbon dalam pelarut. Interaksi ini mendorong agregasi komponen hidrofobik dan mampu memisahkan fase yang meningkatkan kemampuan pelarut untuk melarutkan zat non-polar (Kivelä *et al.*, 2022). Sifat hidrofobik dari CLINARY menjadi hal penting dalam kemampuan mengadsorpsi mikroplastik. Ketika dikombinasikan dengan kondisi yang sedikit asam, interfase yang dibuat antara CLINARY dan air tawar yang mengandung mikroplastik dapat mendorong pergerakan partikel plastik hidrofobik ke dalam fase CLINARY sehingga meningkatkan tingkat adsorpsi. Kemampuan CLINARY untuk melarutkan zat lipofilik sekaligus meminimalkan interaksi dengan air meningkatkan efektivitasnya dalam proses adsorpsi mikroplastik (Hikmawanti *et al.*, 2021).



Gambar 3. Hasil spektrum FTIR pada CLINARY

Sifat CLINARY bertujuan untuk menyerap mikroplastik dan memerlukan selulosa dari dedak padi. Terdapatnya selulosa dedak padi pada

kandungan CLINARY dapat dilihat pada gelombang rantai karbon selulosa dari hasil FTIR pada **Gambar 3**. Berdasarkan **Gambar 3**, pita serapan pada 3356 cm^{-1} dan 1650 cm^{-1} menunjukkan gugus C-H dan O-H yang terdapat pada selulosa. Pita pada 2943 cm^{-1} merupakan vibrasi peregangan dan deformasi gugus C-H dalam unit glukosa. Sinyal pada 1043 cm^{-1} merupakan gugus fungsi -C-O- dari alkohol sekunder dan eter yang pada tulang punggung rantai selulosa.

4.2.2. Kelarutan Senyawa

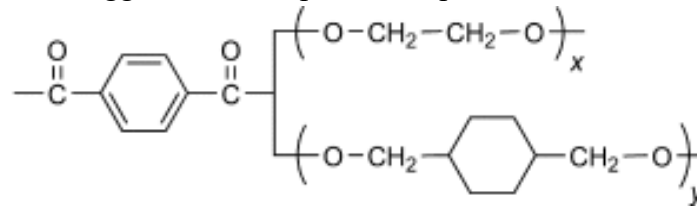
Kelarutan merupakan aspek penting dalam adsorpsi CLINARY. Dengan mendorong atau menghambat interaksi molekul tertentu, pelarut dapat mempengaruhi kelarutan dan stabilitas zat terlarut (Akinola *et al.*, 2021). Dalam proses adsorpsi dedak padi menggunakan pelarut (kolin klorida dan gliserol), aspek kelarutan sangat penting untuk memastikan bahwa proses tersebut mampu memaksimalkan selulosa dari tanaman. Dalam adsorpsi tanaman, CLINARY menghasilkan hasil yang baik dari senyawa hidrofilik. Hal ini terkait dengan peningkatan aktivitas biologis dari ekstrak tanaman yang diuji (Hikmawanti *et al.*, 2021).

CLINARY memiliki viskositas yang tinggi sebesar 285.05 mPa.s. Menurut Cao *et al.*, (2020), kelarutan yang tinggi berkaitan dengan interaksi fitokimia NADES, seperti interaksi dipol-dipol dan ikatan hidrogen. Selulosa memiliki banyak gugus hidroksil (-OH), gliserol memiliki tiga hidroksil, dan kolin klorida memiliki gugus amonium kuarterner dan klorida (Lampiran 2). Ikatan hidrogen tersebut membentuk struktur yang kuat dalam CLINARY dan menyebabkan peningkatan viskositas. Hal ini terjadi karena adanya interaksi molekuler yang lebih kuat, seperti ikatan hidrogen dan gaya van der Waals, yang membatasi pergerakan molekul pelarut dan meningkatkan hambatan aliran (Fan *et al.*, 2021).

4.2.3. Interaksi CLINARY dengan Mikroplastik

Kombinasi dedak padi, kolin klorida, dan gliserol dalam CLINARY akan membentuk pelarut yang kaya akan ikatan hidrogen dan memiliki potensi adsorpsi kuat terhadap polimer seperti PET. Hal tersebut dikarenakan dedak padi mengandung beberapa kandungan senyawa bioaktif yang berguna untuk metode adsorpsi hijau dalam pembuatan NADES, seperti asam fenolat (asam ferulat, asam p-koumarat, dan asam galat), asam fitat, flavonoid, tokoferol, γ -oryzanol, gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) (Colombo *et al.*, 2023). Kolin klorida sebagai akseptor hidrogen memiliki muatan positif yang dapat menarik senyawa bermuatan negatif atau netral dalam larutan sehingga dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan gliserol sebagai donor ikatan hidrogen alami. Interaksi ini meningkatkan kelarutan senyawa target (Lampiran 3). Adanya gugus hidroksil dalam kolin klorida dan gliserol dapat meningkatkan interaksi yang dapat menyebabkan efisiensi adsorpsi semakin meningkat

(Hikmawanti *et al.*, 2021). Hal tersebut dapat menghasilkan pelarut dengan viskositas tinggi dan kemampuan adsorpsi kuat.



Gambar 4. Gugus fungsi PET (Sumber: Paladhi *et al.*, 2022)

Berdasarkan **Gambar 4**, PET memiliki gugus ester (-COO-) dan karbonil (-C=O) yang dapat berinteraksi membentuk ikatan hidrogen dengan CLINARY yang memiliki gugus hidroksil (-OH) dan karbonil (C=O). Gugus hidroksil pada CLINARY dapat bertindak sebagai donor hidrogen, sementara gugus ester (-COO-) pada PET bertindak sebagai akseptor hidrogen. Interaksi ini memperkuat adsorpsi fisik CLINARY pada permukaan mikroplastik PET. Gugus karbonil CLINARY juga dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus ester (-COO-) dari PET yang dapat melemahkan ikatan ester dalam PET dan berpotensi meningkatkan degradasi mikroplastik (Wu *et al.*, 2022). Sifat hidrofobik yang dimiliki NADES menciptakan lapisan interaksi antara NADES dan air dalam sistem adsorpsi. Partikel mikroplastik dalam sampel yang diuji bersifat hidrofobik dan bergerak dalam fase hidrofobik ketika bertemu dengan lapisan interaksi NADES dan air selama adsorpsi (Hunter *et al.*, 2023).

4.2.4. Efektivitas dan Optimasi Proses Reduksi Mikroplastik

Efektivitas NADES dalam menurunkan kadar mikroplastik PET diukur berdasarkan penurunan nilai absorbansi UV-Vis. Saat CLINARY berhasil mengadsorpsi mikroplastik yang ditandai dengan berkurangnya molekul PET pada larutan sehingga menghasilkan nilai absorbansi yang lebih rendah (Collins *et al.*, 2022). Mikroplastik PET memiliki puncak serapan khas dalam rentang 280–320 nm sehingga penurunan intensitas adsorbansi menunjukkan pengurangan konsentrasi mikroplastik dalam sampel air. Berdasarkan data pada **Tabel 4**, panjang gelombang dengan nilai absorbansi paling rendah terdapat pada CLINARY dengan konsentrasi 1%, suhu 40 °C yang diinkubasi selama 2 jam. Panjang gelombang tersebut mencapai 293,167 nm dengan nilai absorbansi sebesar 0,622. Hal tersebut menandakan terjadinya adsorpsi mikroplastik yang ditandai dengan penurunan nilai absorbansi dari CLINARY yang semula adalah 3,973 dengan panjang gelombang 315,469 nm.

Efisiensi adsorpsi (EAd) menunjukkan seberapa baik CLINARY mampu mengadsorpsi mikroplastik PET dalam air tawar. Semakin tinggi EAd, semakin efektif proses adsorpsi mikroplastik. Pada **Tabel 5**, dapat dilihat bahwa efisiensi adsorpsi yang paling besar (90%) adalah CLINARY dengan konsentrasi 10% yang diinkubasi pada suhu 25°C dan 40°C selama

1 jam. Meningkatkan konsentrasi CLINARY dari 0,5% ke 1% dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi, tetapi dengan sedikit penurunan pada suhu dan waktu tertentu. Pada beberapa kondisi, waktu kontak yang lebih lama meningkatkan adsorpsi, tetapi pada konsentrasi lebih tinggi, adsorpsi optimal terjadi dalam waktu lebih singkat (1 jam). Suhu yang lebih tinggi (40°C) umumnya dapat meningkatkan adsorpsi, tetapi dalam beberapa kasus terjadi penurunan setelah waktu tertentu, kemungkinan karena kejenuhan adsorpsi atau desorpsi kembali mikroplastik ke dalam larutan.

Mekanisme adsorpsi yang terjadi pada CLINARY berhasil membentuk ikatan hidrogen antara gugus hidroksil dan gugus karbonil yang berinteraksi dengan gugus ester pada PET. Setelah terbentuk interaksi tersebut, mikroplastik PET akan terperangkap dalam jaringan ikatan hidrogen CLINARY dan menyebabkan mikroplastik mengendap sehingga lebih mudah dipisahkan dari larutan. Selain itu, CLINARY yang kaya akan ikatan hidrogen dan memiliki polaritas tinggi dapat mengganggu interaksi antara molekul air dengan PET yang memiliki sifat hidrofobik. CLINARY dapat melarutkan sebagian kecil fragmen PET dan memudahkan proses adsorpsi. CLINARY dapat mengurangi stabilitas elektrostatis mikroplastik sehingga partikel cenderung menggumpal dan mengendap (Hunter *et al.*, 2023).

4.2.5. Potensi Aplikasi

CLINARY dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dengan mengubah komponen dan rasionya, memberikan solusi serbaguna dan dapat disesuaikan untuk proses industri yang berbeda (Analisis SMART terdapat pada **Lampiran 6**). Selain itu, produksi CLINARY sangat mudah dan hemat biaya karena melibatkan pencampuran komponen alami yang sederhana pada kondisi ringan tanpa memerlukan proses pemurnian yang rumit sehingga dapat berkontribusi dalam pengolahan mikroplastik secara ramah lingkungan. Kontribusi ini juga mendukung mitigasi perubahan iklim melalui penurunan emisi gas rumah kaca, pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, serta perlindungan ekosistem perairan yang berperan dalam siklus karbon global. Penggunaan CLINARY dalam aplikasi industri merupakan langkah signifikan untuk mencapai keberlanjutan dalam proses kimia. Dengan mengurangi ketergantungan pada pelarut berbasis petrokimia, CLINARY berkontribusi pada pengurangan sumber daya tak terbarukan dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Penggunaan CLINARY sebagai agen adsorpsi dan degradasi mikroplastik merupakan pendekatan ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hal ini membuka peluang untuk menggantikan adsorben sintetis atau bahan kimia berbahaya dalam proses pengolahan air.

4.2.6. Implikasi Lingkungan

CLINARY terdiri dari komponen alami dan tidak beracun, hal tersebut membuat CLINARY memiliki kemampuan biodegradasi yang tinggi (Hikmawanti *et al.*, 2021). CLINARY tidak akan menimbulkan polutan tambahan ke dalam lingkungan sekaligus dapat menghilangkan kontaminan yang ada karena CLINARY terbuat dari bahan yang dapat terurai secara hayati. Karakteristik ini menjadikannya pilihan yang berkelanjutan untuk mengatasi polusi plastik di ekosistem perairan. Oleh karena itu, pengembangan dan implementasi CLINARY sebagai pelarut ramah lingkungan merupakan kemajuan penting dalam kimia hijau. CLINARY menawarkan alternatif yang berkelanjutan sebagai pelarut organik konvensional dan bermanfaat untuk perlindungan lingkungan, efisiensi ekonomi, dan ketaatan terhadap regulasi industri.

CLINARY menunjukkan tingkat toksisitas yang rendah dibandingkan dengan pelarut konvensional yang dapat berkontribusi terhadap polusi udara dan air. Hal tersebut dikarenakan sifat selulosa dedak padi, gliserol, dan kolin klorida yang memiliki toksisitas sangat rendah, mudah terurai di lingkungan, dan tidak menghasilkan senyawa beracun saat terurai. CLINARY tidak bersifat bioakumulatif, artinya tidak menumpuk dalam jaringan organisme dan tidak menyebabkan efek toksik jangka panjang (Jauregi *et al.*, 2024). Aplikasi CLINARY juga turut berkontribusi mencapai SDGs Tujuan 6 (*Clean Water and Sanitation*), Tujuan 12 (*Responsible Consumption and Production*), dan Tujuan 13 (*Climate Action*) seperti tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Peran CLINARY dalam Pencapaian Tujuan SDGs

SDGs	Target
Tujuan 6: <i>Clean Water and Sanitation Measurable</i>	Target 6.3, yaitu meningkatkan kualitas air dengan mengurangi pencemaran, termasuk mikroplastik, melalui pengembangan CLINARY sebagai adsorben yang efektif dalam menghilangkan mikroplastik PET dari air tawar. Keberhasilan penelitian diukur melalui efisiensi adsorpsi (%), perubahan konsentrasi mikroplastik (mg/L), serta nilai absorbansi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan berbagai variasi konsentrasi CLINARY, waktu, dan suhu.
Tujuan 12: <i>Responsible Consumption and Production</i>	Target 12.5, yaitu mengurangi limbah melalui pemanfaatan limbah dedak padi sebagai bahan baku adsorben berbasis biomassa, sehingga mendukung konsep ekonomi sirkular.

Tujuan <i>Climate Action</i>	13: Target 13.2, yaitu mengintegrasikan langkah penanganan perubahan lingkungan melalui pengurangan mikroplastik yang berkontribusi terhadap degradasi ekosistem dan pencemaran global.
-------------------------------------	---

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas CLINARY, pelarut berbasis NADES yang disintesis dari dedak padi, kolin klorida, dan gliserol, dalam mereduksi mikroplastik PET dari air tawar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CLINARY memiliki viskositas tinggi (285,05 mPa.s) dan gugus fungsional hidroksil (-OH) yang membentuk ikatan hidrogen kuat dengan mikroplastik PET, meningkatkan efisiensi adsorpsi. Pengujian UV-Vis membuktikan efektivitas tertinggi pada konsentrasi CLINARY 1%, suhu 40°C, dan waktu inkubasi 2 jam, dengan penurunan absorbansi dari 3,973 menjadi 0,622. Stabilitas struktur NADES memungkinkan peningkatan kelarutan dan interaksi dengan PET, menjadikan CLINARY sebagai alternatif pelarut hijau yang lebih ramah lingkungan dibandingkan adsorben sintetis. Dengan sifat *biodegradable* dan non-toksik, CLINARY berpotensi menjadi solusi berkelanjutan dalam pengolahan air dan pengurangan polusi mikroplastik untuk menjaga kestabilan iklim secara berkelanjutan.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang ingin disampaikan peneliti kepada peneliti selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan rasio dan jenis komponen penyusun NADES agar lebih stabil dan efektif dalam mereduksi mikroplastik.
2. Diperlukan kajian mendalam menggunakan teknik spektroskopi atau mikroskopi untuk memahami bagaimana NADES berinteraksi secara fisik dan kimia dengan mikroplastik.
3. Diperlukan penelitian mengenai metode penerapan NADES dalam sistem pengolahan air skala industri agar lebih praktis, ekonomis, dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinola, J., Charles T. Campbell, C.T., & Singh, N. (2021). Effects of Solvents on Adsorption Energies: A General Bond-Additivity Model. *The Journal of Physical Chemistry C*, 125(44), 24371–24380. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c06781>
- Amanu, A.A., Zahrani, A.P., Ristaatin, F.A., Ardillah, A.R., & Radianto, D.O. (2024). Pengaruh Limbah Mikroplastik Terhadap Organisme dan Upaya

- Penanganannya. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v2i2.293>
- Anuar, N.F.S.K., Huyop F., Ur-Rehman, G., Abdullah F., Normi, Y.M., Sabullah K., & Wahab, R.A. (2022). An overview into polyethylene terephthalate (PET) hydrolases and efforts in tailoring enzymes for improved plastic degradation. *International Journal of Molecular Science*, 23, 12644. <https://doi.org/10.3390/ijms232012644>
- Anuwa-Amarh, N. A., Dizbay-Onat, M., Venkiteshwaran, K., & Wu, S. (2024). Carbon-Based Adsorbents for Microplastic Removal from Wastewater. *Materials*, 17(22), 5428. <https://doi.org/10.3390/ma17225428>
- Arun. V., Perumal, E.M., Prakash, K.A., Rajesh, M., & Tamilarasan, K. (2020). Sequential Fractionation and Characterization of Lignin and Cellulose Fiber from Waste Rice Bran. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104124. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104124>
- Cai, Z., Li, M., Zhu, Z., Wang, X., Huang, Y., Li, T., Gong, H., Yan, M. (2023). Biological Degradation of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors. *Microorganisms*. 11(7), 1661. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071661>
- Cao, J., Cao, J., Wang, H., Chen, L., Cao, F., & Su, E. (2020). Solubility Improvement of Phytochemicals Using (Natural) Deep Eutectic Solvents and Their Bioactivity Evaluation. *Journal of Molecular Liquids*, 318, 113997. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113997>
- Chartres, N., Cooper, C.B., Bland, G., Gee, A., Valenzuela-Bustamante, D., Armstrong, B., Lim, M., Grundy, J., Kieu, T. (2024). Effects of Microplastic Exposure on Human Digestive, Reproductive, and Respiratory Health: A Rapid Systematic Review. *Environmental Science & Technology*, <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09524>
- Collins, A., Ateia, M., Bhagat, K., Ohno, T., Peereault, F., & Apul, O. (2022). Emerging Investigator Series: Microplastic-Based Leachate Formation under UV Irradiation: The Extent, Characteristics, and Mechanisms. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 8, 2478-2492.
- Colombo, R., Moretto, G., Barberis, M., Frosi, I., & Papetti, A. (2023). Rice Byproduct Compounds: From Green Extraction to Antioxidant Properties. *Antioxidants*, 13(1), 35. <https://doi.org/10.3390/antiox13010035>
- ECOTON. (2024). INDONESIA DARURAT MIKROPLASTIK : ECOTON Desak Penetapan Baku Mutu untuk Melindungi Gen Z dan Gen Alpha menjadi Generasi Emas BUKAN Generasi Lemas. [diunduh 2025 Jun 14]. Tersedia pada: <https://ecoton.or.id/indonesia-darurat-mikroplastik-ecoton-desak-penetapan-baku-mutu-untuk-melindungi-gen-z-dan-gen-alpha-menjadi-generasi-emas-bukan-generasi-lemas/>
- Fadila, A., Amalia, V., & Wahyuni, I.R. (2023). Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable

- Berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot esculenta*), *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 8(3), 332-341.
- Fan, S., Qin, C., Xu, Z., Wang, Q., Yang, Y., Ni, X., Cheng, W., Zhang, P., Zhan, Y., Tao, L., Wu, Y. (2023). A Rapid and Accurate Quantitative Analysis of Cellulose in the Rice Bran Layer Based on Near-Infrared Spectroscopy. *Foods*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/foods12162997>
- Fan, C., Sebbah, T., Liu, Y., & Cao, X. (2021). Terpenoid-Capric Acid Based Natural Deep Eutectic Solvent: Insight into the Nature of Low Viscosity. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100116>
- Faria, M., Cunha, C., Gomes, M., Mendonça, I., Kaufmann, M., Ferreira, A., & Cordeiro, N. (2022). Bacterial Cellulose Biopolymers: The Sustainable Solution to Water-Polluting Microplastics. *Water Research*, 222, 118952. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118952>
- Fan, C., Huang, Y.Z., Lin, J.N., & Li, J. (2022). Microplastic Quantification of Nylon and Polyethylene Terephthalate by Chromic Acid Wet Oxidation and Ultraviolet Spectrometry. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102683. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102683>
- Ferreira, C., & Sarraça, M. (2024). A Comprehensive Review on Deep Eutectic Solvents and Its Use to Extract Bioactive Compounds of Pharmaceutical Interest. *Pharmaceuticals*. 17(1), 124. <https://doi.org/10.3390/ph17010124>
- Frost, H., Bond, T., Sizmur, T., & Felipe-Sotelo, M. (2024). Sorption of Metal Ions onto PET-Derived Microplastic Fibers. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 26(12), 2309–2319. <https://doi.org/10.1039/D4EM00373J>
- Hikmawanti, N.P.E., Ramadon, D., Jantan, I., & Mun'im, A. (2021). Natural Deep Eutectic Solvents (NADES): Phytochemical Extraction Performance Enhancer for Pharmaceutical and Nutraceutical Product Development. *Plants*, 10(10), 2091. <https://doi.org/10.3390/plants10102091>
- Hunter, J.R., Qiao, Q., Zhang, Y., Shao, Q., Crofcheck, C., & Shi, J. (2023). Green Solvent Mediated Extraction of Micro- and Nanoplastic Particles from water. *Scientific Reports*, 13(1), 10585. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37490-6>
- Jauregi, P., Esnal-Yeregi, L., & Labidi, J. (2024). Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) for the Extraction of Bioactives: Emerging Opportunities in Biorefinery Applications. *PeerJ Analytical Chemistry*, 6, e32. <https://doi.org/10.7717/peerj-achem.32>
- Juric, T., Uka, D., Holló, B.B., Jovic, B., Nordic, B., & Popovic, B.M. (2021). Comprehensive Physicochemical Evaluation of Choline chloride-based natural deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 343, 116968. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116968>
- Kalina, S., Kapilan, R. Wickramasinghe, I., & Navaratne, S.B. (2024) Potential Use of Plant Leaves and Sheath as Food Packaging Materials in Tackling Plastic

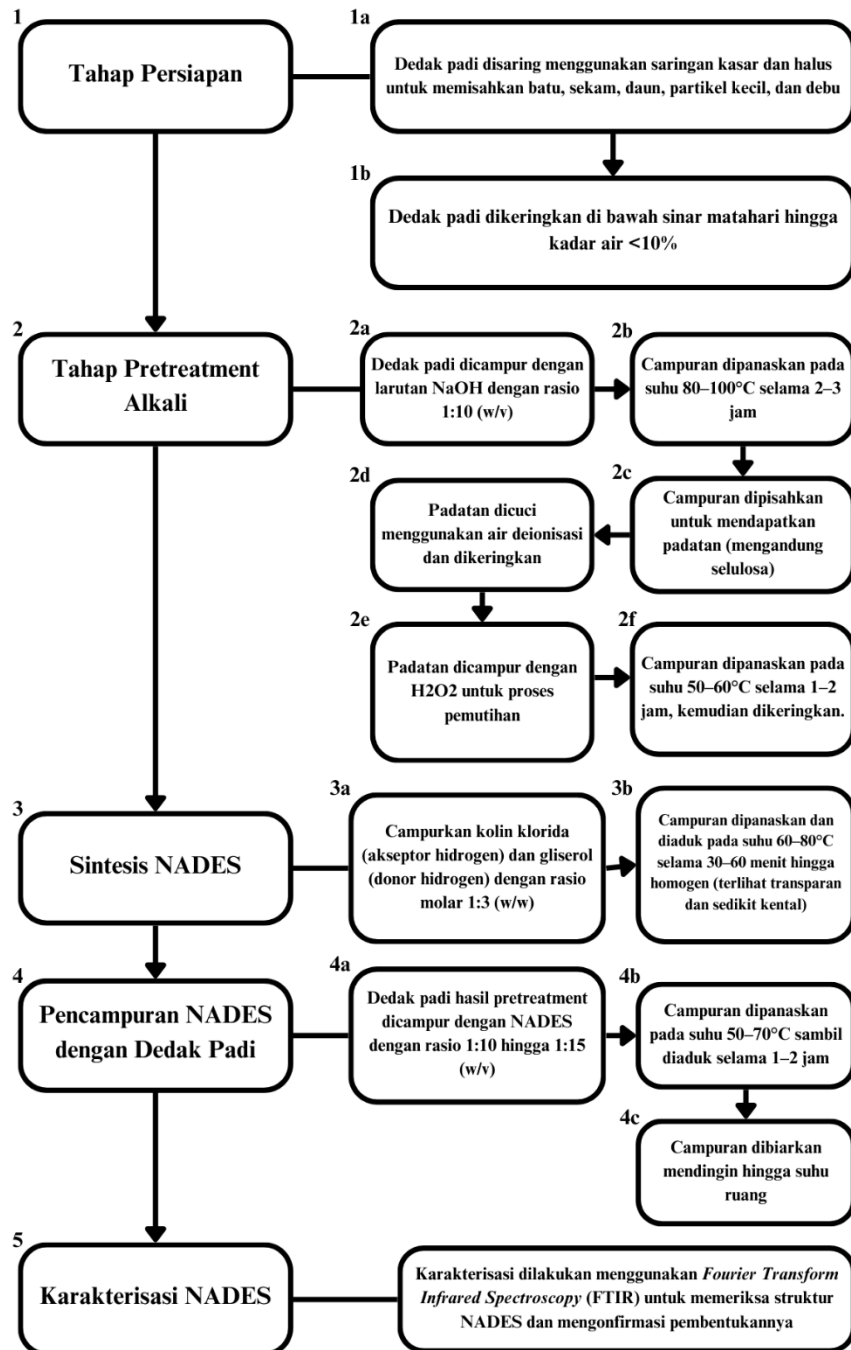
- Pollution: A Review. *Ceylon Journal of Science*, 53(1), 21-37.
<https://doi.org/10.4038/cjs.v53i1.8145>
- Kivelä, H., Salomäki, M., Vainikka, P., Mäkilä, E., Poletti, F., Ruggeri, S., Terzi, F., Lukkari, J. (2022). Effect of Water on a Hydrophobic Deep Eutectic Solvent. *The Journal of Physical Chemistry B*, 126(2), 513–527.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c08170>
- Leppänen, I., Lappalainen, T., Lohtander, T., Jonkergouw, C., Arola, S., & Tammelin, T. (2022). Capturing Colloidal Nano- and Microplastics with Plant-Based Nanocellulose Networks. *Nature Communications*, 13(1), 1814. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29446-7>
- Paladhi, A.G., Vallinayagam, S., Rajendran, S., Rathinam, V., & Sharma, V.K. (2022). Microalgae: A Promising Tool for Plastic Degradation. *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation*. 575–587.
- Piao, Z., Agyei-Boakye, A.A., & Yao, Y. (2024). Environmental Impacts of Biodegradable Microplastics. *Nature Chemical Engineering*, 1(10), 661–669. <https://doi.org/10.1038/s44286-024-00127-0>
- Pivato, A., Gohar, H., Antille, D.L., Schievano, A., Beggio, G., Reichardt, P., Maria, F.D., Peng, W., Castegnaro, S., Lavagnolo, M.C. (2024). Air-Polluting Emissions from Pyrolysis Plants: A Systematic Mapping. *Environments*, 11, 149. <https://doi.org/10.3390/environments11070149>
- Saxena, V. (2025). Water Quality, Air Pollution, and Climate Change: Investigating the Environmental Impacts of Industrialization and Urbanization. *Water Air Soil Pollut*, 236, 73. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07702-4>
- Sayam, S., Islam, T., Tusti, T. H., & Ghosh, J. (2026). Microplastic Removal from Wastewater through Biopolymer and Nanocellulose-Based Green Technologies. *RSC Sustainability*, 4(1), 79–117. <https://doi.org/10.1039/D5SU00634A>
- Sharma, R., Nath, P.C., Mohanta, Y.K., Bhunia, B., Mishra, B., Sharma, M., Suri, S., Bhaswant, M., Nayak, P.K., Sridhar, K. (2024). Recent Advances in Cellulose-Based Sustainable Materials for Wastewater Treatment: An Overview. *International Journal of Biological Macromolecules*. 256(2), 128517. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128517>
- Sharma, S., Sharma, V., & Chatterjee, S. (2023). Contribution of Plastic and Microplastic to Global Climate Change and Their Conjoining Impacts on the Environment - A Review. *Science of The Total Environment*, 875, 162267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162267>
- Suyasa, W. B., Irdhawati, Simpen, I. N. (2025). Cellulose Extracted from Sweet Corn Stalks (*Zea mays saccharata* Sturt) as a Microplastic Filter Membrane. Ecological Engineering. *Environmental Technology*, 26(4), 97–107. <https://doi.org/10.12912/27197050/200658>

- Tejas, W., Shrikant, S., Vinod, W., Manisha, S., & Pallavi, P. (2023). Review on Green Chemistry. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 13(7), 190-193. <https://doi.org/10.22270/jddt.v13i7.5919>
- Tuleushev, A.Z., Harrison, F.E., Kozlovskiy, A.L., & Zdorovets, M.V. (2021). Assessment of the Irradiation Exposure of PET Film with Swift Heavy Ions Using the Interference-Free Transmission UV-Vis Transmission Spectra. *Polymers*, 13(3), 358. <https://doi.org/10.3390/polym13030358>
- Wu, K., Ren, J., Wang, Q., Nuerjiang, M., Xia, X., & Bian, C. (2022). Research Progress on the Preparation and Action Mechanism of Natural Deep Eutectic Solvents and Their Application in Food. *Foods*, 11(21), 3528. <https://doi.org/10.3390/foods11213528>

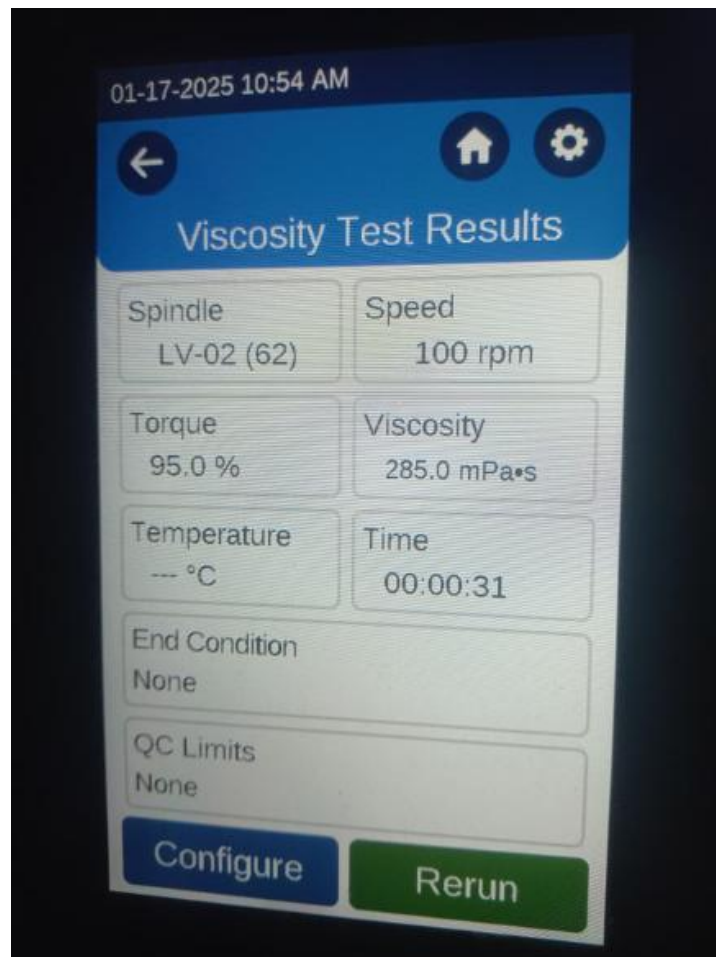
LAMPIRAN

Lampiran 1 Susunan Tim Pengusul dan Pembagian Tugas

No.	Nama	Posisi Penulis	Bidang Ilmu	Kontribusi
1.	Christina Larasati Kusuma Wardani	Penulis Pertama	Biologi	Melakukan percobaan, mengumpulkan data primer, menulis karya.
2.	Aidil Aditia Ilham	Penulis Kedua	Ilmu Tanah	Melakukan percobaan, mengumpulkan data primer, menulis karya, melakukan formatting
3.	Sarah Kristina Julianti	Penulis Kedua	Fisika	Melakukan percobaan, mengumpulkan data primer, menulis karya, membuat prototipe produk.

Lampiran 2. *Flowchart* Tahapan Penelitian CLINARY

Lampiran 3 Hasil Uji Viskositas CLINARY



Lampiran 4. Hasil Sintesis Selulosa Dedak Padi dan NADES



Lampiran 5. Prototipe Kemasan CLINARY



Lampiran 6. Analisis SMART Penelitian CLINARY

Aspek	Uraian
<i>Specific</i>	Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan evaluasi CLINARY sebagai adsorben untuk menghilangkan mikroplastik jenis PET dalam air tawar melalui proses adsorpsi berbasis interaksi fisikokimia.
<i>Measurable</i>	Keberhasilan penelitian diukur melalui efisiensi adsorpsi (%), perubahan konsentrasi mikroplastik (mg/L), serta nilai absorbansi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan berbagai variasi konsentrasi CLINARY, waktu, dan suhu.
<i>Achievable</i>	Penelitian ini dapat dilakukan karena menggunakan bahan yang mudah diperoleh seperti dedak padi, kolin klorida, dan gliserol. Metode eksperimen yang digunakan sederhana dan dapat dilakukan di laboratorium.
<i>Relevant</i>	Penelitian ini relevan dengan isu global pencemaran mikroplastik, mendukung prinsip kimia hijau dan ekonomi sirkular, serta berkontribusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pengelolaan air bersih dan limbah.
<i>Time-bound</i>	Penelitian dilaksanakan dalam rentang waktu tertentu (Januari 2025) dengan tahapan yang jelas meliputi persiapan, sintesis CLINARY, uji adsorpsi, serta analisis data.