

---

**PENGEMBANGAN NANOKOMPOSIT AGNP/GO/PAM SEBAGAI PENJERNIH  
LIMBAH *METHYLENE ORANGE* DENGAN METODE FOTOKATALISIS**

***DEVELOPMENT OF AGNP/GO/PAM NANOCOMPOSITE FOR THE PURIFICATION  
OF METHYLENE ORANGE WASTE VIA PHOTOCATALYTIC METHOD***

Nur Rahmatika A.W\* , Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta,  
Indonesia

Wipsar Sunu Brams Dwardaru, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri  
Yogyakarta, Indonesia

\*e-mail: [nur1376fmipa.2021@student.uny.ac.id](mailto:nur1376fmipa.2021@student.uny.ac.id) (corresponding author)

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan nanokomposit AgNP/GO/PAM sebagai material penjernih limbah *methylene orange* (MO) melalui metode fotokatalisis. MO merupakan zat pewarna reaktif dengan sifat karsinogenik dan sulit terurai secara alami, sehingga berdampak negatif pada lingkungan. Kombinasi material nanopartikel perak (AgNP), *graphene oxide* (GO), dan *polyacrylamide* (PAM) diharapkan menghasilkan nanokomposit dengan efisiensi tinggi dalam mendegradasi limbah organik tersebut. Penelitian dilakukan dengan preparasi GO, AgNP, dan nanokomposit AgNP/GO/PAM. Mengkarakterisasi hasil preparasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan menguji aplikasinya terhadap limbah MO. Variabel penelitian meliputi waktu paparan sinar UV sebagai variabel bebas, perubahan warna MO dan puncak absorbansi sebagai variabel terikat, serta berbagai variabel kontrol seperti konsentrasi material penggabungan nanokomposit dan intensitas cahaya. Data absorbansi digunakan untuk menghitung efektivitas degradasi MO dengan menganalisis kinetika reaksi fotokatalitik melalui plot puncak absorbansi terhadap waktu.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit AgNP/GO/PAM berhasil disintesis dan mampu mendegradasi limbah MO secara optimal. Efektivitas degradasi meningkat seiring waktu paparan UV hingga mencapai 83.57% dalam waktu 80 menit. Sehingga nanokomposit ini dinilai berhasil dalam mendegradasikan limbah MO dan memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah industri. Penelitian selanjutnya mengenai nanokomposit AgNP/GO/PAM disarankan untuk memperluas aplikasi nanokomposit dan menggunakan teknik karakterisasi lanjutan seperti XRD, TEM, dan FTIR untuk pemahaman lebih mendalam.

**Kata Kunci:** Fotokatalisis, *methylene orange* (MO), nanokomposit AgNP/GO/PAM.

**Abstract.** This study aims to develop AgNP/GO/PAM nanocomposites as photocatalytic materials for treating *methylene orange* (MO) waste. MO is a reactive dye with carcinogenic properties and is resistant to natural degradation, posing significant environmental risks. The combination of silver nanoparticles (AgNP), *graphene oxide* (GO), and *polyacrylamide* (PAM) is expected to produce nanocomposites with high efficiency in degrading organic waste. The

*research involved the preparation of GO, AgNP, and AgNP/GO/PAM nanocomposites, followed by characterization using UV-Vis spectroscopy and application testing on MO waste. The independent variable was UV exposure time, while the dependent variables included changes in MO color and absorbance peaks, with control variables such as nanocomposite material concentrations and light intensity. Absorbance data were utilized to calculate MO degradation efficiency by analyzing photocatalytic reaction kinetics through plots of absorbance peaks over time. The results demonstrated that AgNP/GO/PAM nanocomposites were successfully synthesized and effectively degraded MO waste. The degradation efficiency increased with UV exposure time, reaching 83.57% within 80 minutes. Thus, this nanocomposite proved effective in degrading MO waste and holds significant potential for industrial waste treatment applications. Further research is recommended to expand the applications of AgNP/GO/PAM nanocomposites and employ advanced characterization techniques such as XRD, TEM, and FTIR for deeper understanding.*

**Keywords:** *Photocatalysis, methylene orange (MO), AgNP/GO/PAM nanocomposites.*

## **PENDAHULUAN**

Era revolusi industri 4.0 membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor, termasuk sektor industri yang memanfaatkan teknologi digital dan otomasi. Transformasi ini sering ditandai dengan alih fungsi lahan dari kawasan pertanian menjadi kawasan industri, yang diiringi dengan pertumbuhan bangunan pabrik dan peningkatan permukiman penduduk. Salah satu sektor yang mengalami pertumbuhan pesat adalah industri tekstil, yang berperan dalam memenuhi kebutuhan sandang masyarakat. Namun, proses produksinya tidak terlepas dari penggunaan pewarna sintetis, yang menyumbang dampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam industri tekstil, pewarna sintetis seperti zat warna asam, zat warna langsung, zat warna naftol, dan zat warna reaktif digunakan secara luas. Pewarna reaktif, seperti methylene orange (MO), memiliki tingkat degradasi alami yang sangat rendah dibandingkan pewarna lain, menjadikannya tantangan besar bagi pengolahan limbah tekstil (Purwaningsih et al., 2021). MO, dengan rumus molekul  $C_{14}H_{14}N_3NaO_7S$  dan sifat non-biodegradable (Trandafilović et al., 2017), hanya sebagian kecil digunakan dalam proses pewarnaan sekitar 5% dari total pewarna menyisakan 95% lainnya dalam bentuk limbah. Dengan sifat basa, karsinogenik, serta kadar organik tinggi, limbah MO memiliki karakteristik pekat dan bau menyengat, sehingga berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan masyarakat di daerah sekitar (Indrayani & Rahmah, 2018).

Pemanfaatan nanoteknologi menawarkan pendekatan inovatif melalui pengembangan nanokomposit sebagai material fotokatalis. Nanokomposit adalah material yang menggabungkan dua atau lebih material dengan setidaknya satu komponen berskala nano untuk meningkatkan fungsi spesifik (Darwish et al., 2022). Dalam hal ini, kombinasi graphene oxide (GO), silver nanoparticles (AgNP), dan polyacrylamide (PAM) menghasilkan nanokomposit unggul yang memanfaatkan kelebihan masing-masing material. GO, dengan luas permukaan tinggi dan sifat hidrofilik, menjadi pendukung struktural fleksibel untuk AgNP, sementara PAM meningkatkan stabilitas mekanik nanokomposit (Dwandaru et al., 2023).

Reaksi fotokatalisis pada nanokomposit AgNP/GO/PAM melibatkan mekanisme aktivasi molekul oleh cahaya, menghasilkan reaksi redoks yang mempercepat degradasi polutan (Zainul et al., 2019). Dalam penelitian sebelumnya, material fotokatalitik berbasis  $TiO_2$  telah menunjukkan keberhasilan dalam degradasi limbah organik (Lee & Park, 2013), namun kurang optimal untuk limbah seperti MO. Penelitian ini bertujuan mengembangkan

nanokomposit AgNP/GO/PAM dengan memanfaatkan sinergi positif antar material untuk menghasilkan efisiensi fotokatalitik yang lebih tinggi.

Penelitian bertujuan untuk mempreparasi nanokomposit AgNP/GO/PAM, mengkarakterisasi sifatnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan menguji aplikasinya dalam degradasi limbah MO. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam pengolahan limbah organik dan mendukung inovasi berkelanjutan di era revolusi industri 4.0.

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengembangkan dan menguji efektivitas nanokomposit AgNP/GO/PAM sebagai fotokatalis dalam degradasi limbah methylene orange (MO). Nanokomposit yang digunakan terdiri dari graphene oxide (GO), silver nanoparticles (AgNP), dan polyacrylamide (PAM), sementara limbah MO disiapkan dalam bentuk larutan murni berkonsentrasi 7 ppm. Berbagai alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi hot plate stirrer, centrifuge, dan furnace untuk proses sintesis, serta spektrofotometer UV-Vis untuk karakterisasi. Sintesis nanokomposit dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu: (1) preparasi GO menggunakan metode Hummer dengan bahan utama grafit dan larutan oksidasi (KMnO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), (2) sintesis AgNP melalui metode reduksi kimia dengan larutan AgNO<sub>3</sub> dan NaNO<sub>3</sub> dalam air panas, serta (3) pembentukan nanokomposit AgNP/GO/PAM dengan mencampurkan GO, AgNP, dan PAM dalam larutan aquades, diikuti proses pemanasan, pengeringan, dan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Aplikasi nanokomposit pada limbah MO dilakukan dengan mencampur 0,15 g nanokomposit ke dalam 80 mL larutan MO, lalu menempatkannya dalam kotak uji berlampu UV. Sampel larutan diambil setiap 10 menit hingga 80 menit, kemudian diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur absorbansi. Efektivitas degradasi MO dihitung berdasarkan perubahan nilai puncak absorbansi dengan rumus:

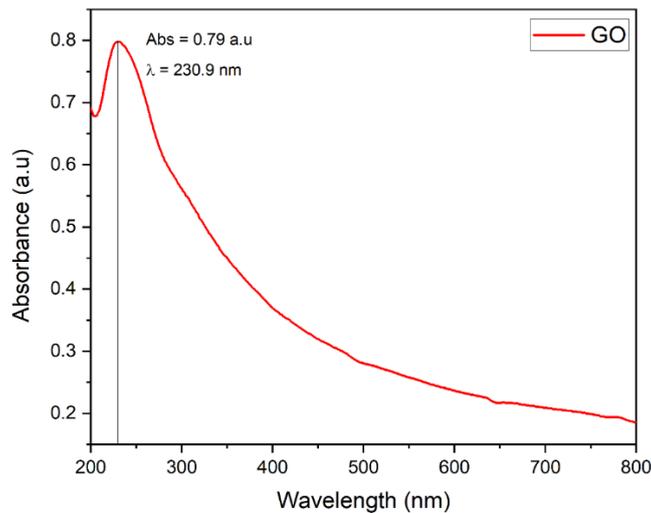
$$\text{Efektivitas Degradasi (\%)} = \frac{A_o - A_t}{A_o} \times 100\%, \quad (1)$$

dimana  $A_o$  merupakan nilai puncak absorbansi UV-Vis larutan awal dan  $A_t$  adalah nilai puncak absorbansi UV-Vis larutan pada  $t$  waktu.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

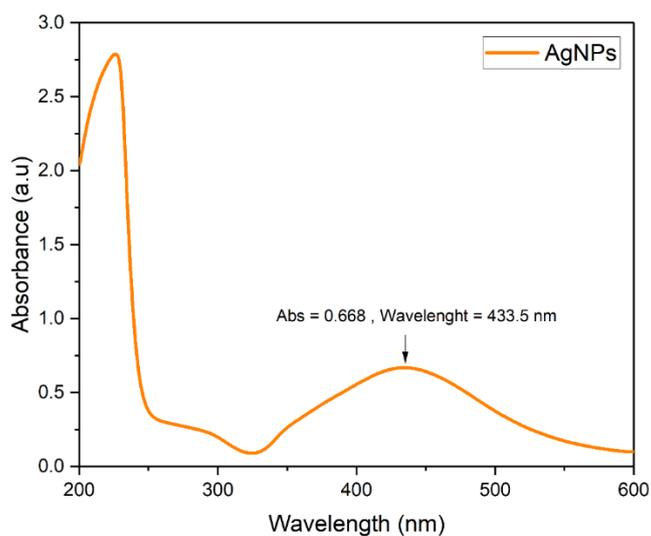
### **Preparasi Nanokomposit AgNP/GO/PAM**

Nanokomposit AgNP/GO/PAM terbuat dari campuran tiga material dasar yaitu, GO, AgNP, dan PAM. Walaupun tiga material tersebut sudah tersedia, namun diperlukan karakterisasi dari hasil preparasi dari GO, AgNP, nanokomposit AgNP/GO, dan nanokomposit AgNP/GO/PAM. Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah material yang dihasilkan sudah memenuhi standarnya.



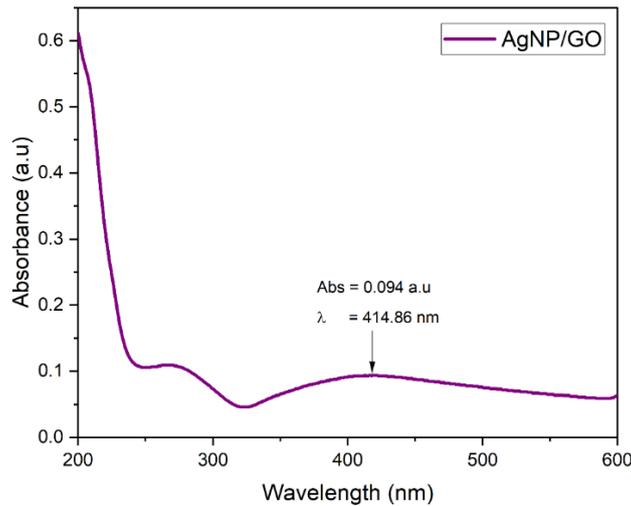
**Gambar 1.** Hasil uji karakterisasi UV-Vis GO.

Pada Gambar 1, terlihat puncak absorbansi dari material GO berada pada panjang gelombang 230,9 nm. Puncak tersebut menunjukkan adanya transisi elektron pada orbital  $\pi \rightarrow \pi^*$  dan  $n \rightarrow \pi^*$ . Keberadaan puncak tersebut menunjukkan karakteristik dari GO yang mengindikasikan adanya gugus fungsi C=C (Refitasasi et al., 2016). Hal tersebut menunjukkan sifat GO yang semikonduktif, berbeda dengan sifat semimetal yang diharapkan dari material *graphene* murni.



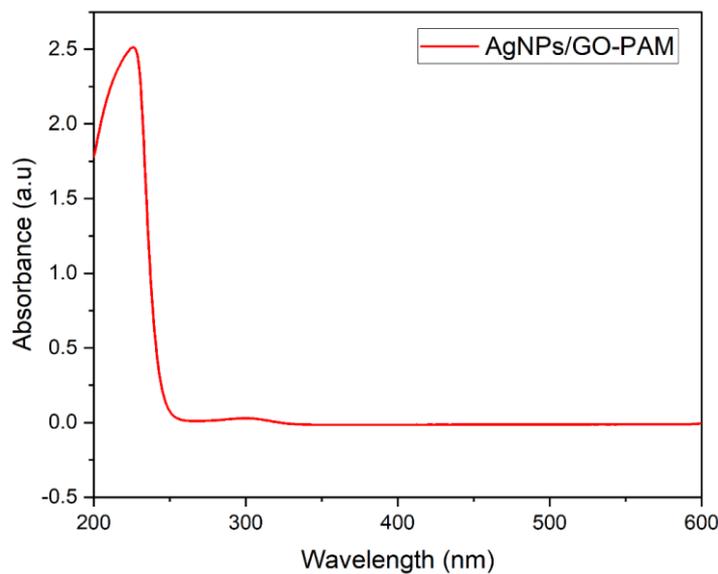
**Gambar 2.** Hasil uji karakterisasi UV-Vis AgNP.

Gambar 2 menunjukkan terdapat dua puncak absorbansi pada daerah 200 – 250 nm (puncak pertama) dan 400 – 500 nm (puncak kedua). Puncak pertama menunjukkan keberadaan material GO. Kemunculan puncak pertama disebabkan kontaminasi dari kuvet yang digunakan. Sedangkan, puncak absorbansi kedua pada 433,5 nm menunjukkan keberadaan AgNP. Kebenaran hasil karakterisasi dari Gambar 2 didasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Wahyudi et al. (2011), dimana puncak absorbansi untuk karakterisasi UV-Vis dari sintesis AgNP berada pada rentang 411,4 – 432,7 nm.



**Gambar 3.** Hasil uji karakterisasi UV-Vis nanokomposit AgNP/GO.

Dengan menggabungkan material GO dan AgNP, material AgNP/GO dapat diperoleh. Gambar 3 menunjukkan hasil karakterisasi gabungan dari sifat kedua material tersebut, dimana terdapat puncak absorbansi di daerah 414.86 nm yang ditandai sebagai keberadaan AgNP dan puncak di 200 nm sebagai keberadaan dari GO. Konsentrasi yang dimiliki oleh material tersebut juga berkurang ketika digabungkan. Partikel AgNP terdeposit atau mengalami pengendapan pada permukaan GO (Kumari et al., 2020). Penurunan konsentrasi ini ditandai dengan penurunan puncak absorbansi pada masing-masing material.



**Gambar 4.** Hasil uji karakterisasi UV-Vis nanokomposit AgNP/GO/PAM.

Nanokomposit terakhir ialah nanomaterial AgNP/GO/PAM. Hasil uji UV-Vis nanomaterial AgNP/GO/PAM ditunjukkan oleh Gambar 4. Puncak absorbansi yang terdeteksi berada pada panjang gelombang 225 nm yang menjadi pertanda dari material GO yang sangat kuat, namun tidak terdeteksi material AgNP pada sampel. Hal tersebut diduga karena konsentrasi dari AgNP yang digunakan sangat sedikit, sehingga AgNP mengalami agregasi parsial yang menyebabkan penurunan luas permukaan partikel. Penambahan PAM sebagai agen stabilisasi dengan konsentrasi yang cukup tinggi dapat menyebabkan efek sterik yang menghalangi interaksi antara cahaya dan AgNP sehingga mengurangi intensitas absorbansi.

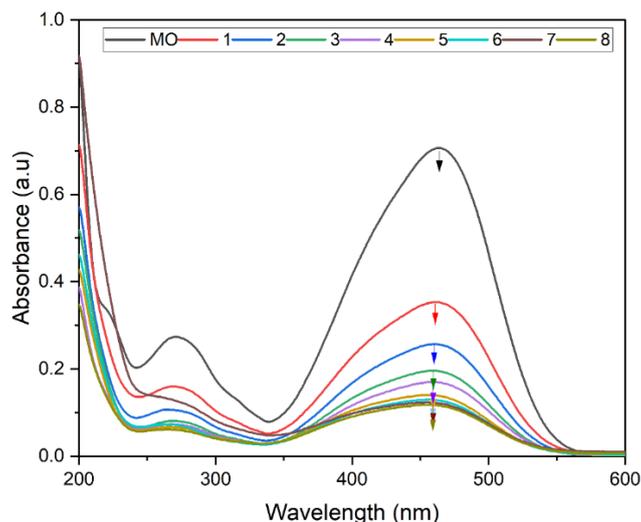
## Degradasi Limbah MO

Keberhasilan pemanfaatan nanokomposit AgNP/GO/PAM sebagai degradator limbah MO dapat diperoleh melalui beberapa cara. Analisa kualitatif cairan dapat dilakukan melalui perubahan warna atau tampilan setelah mengalami fotokatalisis sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan. Preparasi MO murni yang digunakan dalam percobaan ialah 80 mL dengan konsentrasi 7 ppm untuk 0,15 g nanokomposit AgNP/GO/PAM. Perubahan tampilan warna ini dimulai dari warna jingga, berubah menjadi kuning jingga pada 10 menit pertama setelah pemaparan sinar UV. Kemudian, warna sampel berubah menjadi warna kuning, kuning muda, kuning jernih, dan bertambah menjadi lebih jernih pada setiap 10 menit pemaparan sinar UV. Hasil kualitatif tersebut diperoleh melalui pengambilan larutan sampel secara rutin setiap 10 menit dari yang pertama hingga menit ke 80. Hal ini dapat diamati pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Perubahan warna limbah MO dengan semakin lama proses fotokatalisis (dari kanan ke kiri).

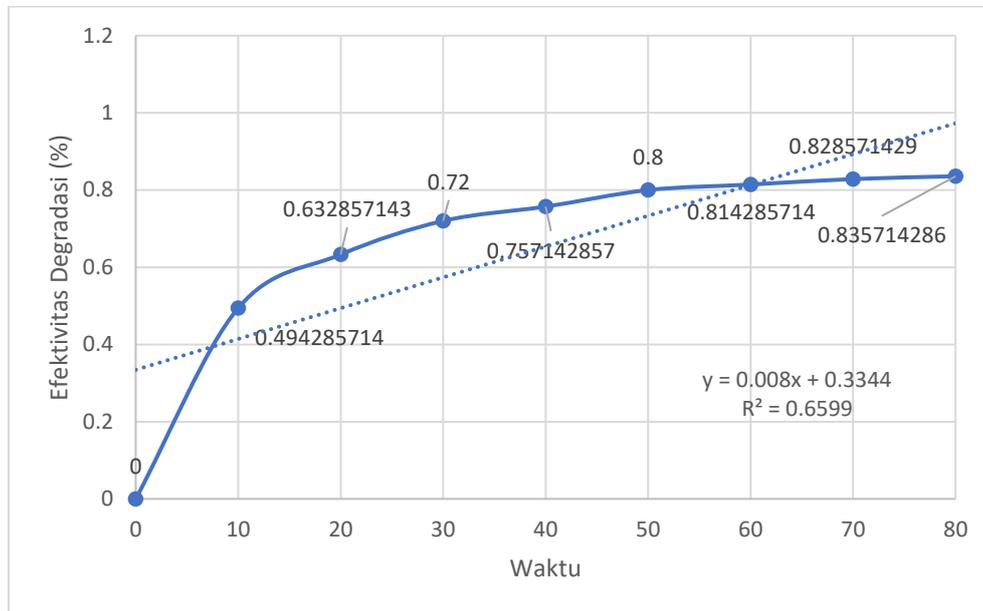
Sampel yang sudah diambil, kemudian dikarakterisasi menggunakan UV-Vis untuk mengetahui penurunan konsentrasi dari limbah MO yang menandakan keberhasilan nanokomposit AgNP/GO/PAM dalam mendegradasi atau mengurai limbah MO secara efektif. Keberhasilan dari degradasi ini ditunjukkan dalam Gambar 6. Puncak absorbansi degradasi limbah MO terjadi pada rentang panjang gelombang 400 – 500 nm.



**Gambar 6.** Penurunan puncak absorbansi pada limbah MO.

Dari Gambar 6, limbah MO murni ditandai dengan warna hitam yang memiliki puncak absorbansi tertinggi. Puncak absorbansi untuk degradasi pada 10 menit pertama (1) menunjukkan penurunan konsentrasi limbah MO yang cukup besar. Jarak penurunan yang

cukup renggang terlihat pada degradasi pada menit ke-20, ke-30, ke-40, dan ke-50. Selanjutnya, pada menit ke-60, ke-70, dan ke-80, kemampuan degradasi nanokomposit tampak menurun, ditunjukkan oleh jarak penurunan yang berhimpitan. Namun, dapat diketahui dari Gambar 7 menunjukkan peningkatan efektivitas seiring bertambahnya durasi paparan sinar UV hingga menit ke-80 selama proses fotokatalisis.



**Gambar 7.** Efektivitas degradasi limbah MO.

Pada tahap awal (0–40 menit), laju degradasi meningkat secara signifikan dengan efektivitas mencapai 75.7%. Setelah itu, peningkatan laju degradasi mulai melambat, yang menunjukkan bahwa sebagian besar molekul MO telah terdegradasi pada tahap awal, sedangkan molekul sisa memerlukan waktu lebih lama untuk terurai. Pada menit ke-80, efektivitas degradasi mencapai 83.57%, mengindikasikan bahwa nanokomposit memiliki kemampuan yang tinggi untuk mendegradasi molekul MO dalam waktu relatif singkat. Namun, nilai  $R^2 = 0.6599$  menunjukkan bahwa hubungan antara waktu dan efektivitas degradasi tidak sepenuhnya linier. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya faktor lain yang memengaruhi laju reaksi, seperti saturasi aktifitas fotokatalis, perubahan konsentrasi substrat, atau interaksi molekul dalam larutan. Efektivitas degradasi yang mendekati 84%, nanokomposit AgNP/GO/PAM dapat dianggap efektif sebagai material fotokatalis dalam proses degradasi MO. Hasil ini menunjukkan potensi aplikasinya dalam pengolahan limbah organik. Namun, untuk meningkatkan efisiensinya, diperlukan optimasi lebih lanjut, seperti pengaturan intensitas cahaya UV, konsentrasi material fotokatalis, dan durasi reaksi yang lebih panjang.

## SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, nanokomposit AgNP/GO/PAM berhasil dipreparasi menggunakan kombinasi material graphene oxide (GO), silver nanoparticles (AgNP), dan polyacrylamide (PAM), meskipun hasil karakterisasi UV-Vis tidak menunjukkan keberadaan AgNP akibat konsentrasi yang sangat kecil. Karakterisasi UV-Vis pada GO, AgNP, komposit AgNP/GO, dan nanokomposit AgNP/GO/PAM menunjukkan adanya penurunan puncak absorbansi AgNP setelah penggabungan dengan GO, dan semakin berkurang ketika ditambahkan PAM, yang diduga disebabkan oleh pengendapan AgNP dalam struktur

nanokomposit. Meski demikian, nanokomposit AgNP/GO/PAM terbukti efektif sebagai material fotokatalis dalam degradasi limbah methylene orange (MO) dengan dua indikator, yaitu perubahan warna sampel setiap 10 menit selama proses fotokatalisis dan penurunan puncak absorbansi MO melalui karakterisasi UV-Vis, dengan efektivitas degradasi mencapai 83,57% dalam 80 menit. Saran untuk penelitian selanjutnya mencakup perluasan aplikasi nanokomposit AgNP/GO/PAM seperti penggunaan sebagai material coating antibakteri, serta melakukan karakterisasi lebih lanjut menggunakan teknik X-ray diffraction (XRD), transmission electron microscope (TEM), dan Fourier transform infrared (FTIR) guna memahami struktur dan sifat nanokomposit secara lebih mendalam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dosen Pembimbing dan pihak-pihak yang telah berperan dalam pelaksanaan penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41–50
- Purwaningsih, D. Y., Wulandari, I. A., & Aditya, W. (2021). Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Sebagai Biosorben untuk Penurunan COD pada Limbah Cair Pabrik Batik. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, 1(2)
- M. S. A. Darwish, M. H. Mostafa, and L. M. Al-Harbi, *Int. J. Mol. Sci.* **23**(3), 1023 (2022).
- Zainul, R., Hermansyah, H., Arief, S., & Kurniawati, D. (2020). Fotokatalis Fototransformasi Asam Humat.
- Lee, S. Y., & Park, S. J. (2013). TiO<sub>2</sub> photocatalyst for water treatment applications. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 19(6), 1761-1769.
- Dwandaru W.S.B., Adiwino N.R., Machshuniya A.F., Susanto D., Harahap E.F.M., Saputri R.I., Yassin L.A. (2023). Two-Components Nanocomposites Consisting of Graphene Oxide, Silver Nanoparticles, and Polyacrylamide: A Short Review. Unpublished.
- Hummer, W.S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *J Am Chem Soc*, 80(6), 1339.
- Fauzi, F., Azizi, F., Musawwa, M. M., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Synthesis and Characterisations of Reduced Graphene Oxide Prepared by Microwave Irradiation with Sonication. *Journal of Physical Science*, 32(2), 1-13.
- Trandafilović, L. V., Jovanović, D. J., Zhang, X., Ptasińska, S., & Dramićanin, M. D. (2017). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue and methyl orange by ZnO: Eu nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental*, 203, 740-752.
- Rafitasari, Y., Suhendar, H., Imani, N., Luciana, F., Radean, H., & Santoso, I. (2016, October). Sintesis graphene oxide dan reduced graphene oxide. In *Prosiding seminar nasional fisika (e-journal)* (Vol. 5, pp. SNF2016-MPS).