

Pengaruh Katalis CaO Terhadap Degradasi Limbah Cair Batik Jambi dengan Penyinaran Matahari, Lampu UV-Ozon, dan Lampu LED

The Effect of CaO Catalyst on the Degradation of Jambi Batik Liquid Waste Using Solar Irradiation, UV-Ozone, and LED Lamps (The Title is not Bilingual if the Article is Full English)

¹Ardiansyah R*, ²Wiji Utami, ³Lidia Gusfi Marni, ⁴Aisyah

^{1,2,3}Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sulthan Thaha Saifuddin Jambi.

Jalan Lintas Jambi-Muaro Bulian KM. 16 Simpang Sungai Duren Kab. Muaro Jambi 36363

*e-mail: ardiansyah2001@gmail.com

ABSTRAK

Industri tekstil, termasuk produksi batik di Jambi, menghasilkan limbah cair signifikan yang mengandung pewarna anionik sintetik berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas degradasi fotokatalitik menggunakan katalis CaO dari cangkang kerang bambu yang dikalsinasi pada suhu 800°C untuk mengolah limbah batik Jambi. Metode ini dibandingkan dengan pendekatan konvensional seperti koagulasi, oksidasi kimia, dan filtrasi membran yang memiliki keterbatasan dalam aspek biaya dan keberlanjutan. Eksperimen dilakukan dengan variasi sumber cahaya (matahari, UV-Ozon, dan LED) serta waktu kontak 60, 90, dan 120 menit menggunakan katalis CaO optimum 0,03 g. Hasil menunjukkan bahwa penyinaran cahaya matahari dengan katalis mencapai efisiensi degradasi tertinggi sebesar 75,39%, diikuti oleh lampu LED (60,38%) dan UV-Ozon (54,15%). Spektrum cahaya matahari yang luas dan intensitas tinggi dinilai lebih efektif dalam memfasilitasi reaksi fotodegradasi. Hal ini menunjukkan bahwa metode penyinaran yang tepat, dikombinasikan dengan katalis yang efektif, dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair batik secara signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa katalis CaO dari cangkang kerang bambu merupakan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi degradasi limbah cair batik, dengan cahaya matahari sebagai sumber energi paling optimal. Temuan ini menawarkan alternatif terkait pengelolaan limbah tekstil yang lebih efektif dan ekonomis.

Kata kunci: Cahaya matahari, Cangkang kerang bambu, CaO, Degradasi, Fotokatalisis, Limbah cair batik.

ABSTRACT

The textile industry, including batik production in Jambi, produces significant liquid waste containing synthetic anionic dyes that are harmful to the environment and health. This research evaluates the effectiveness of photocatalytic degradation using a CaO catalyst from bamboo shells calcined at a temperature of 800°C to process Jambi batik waste. This method is compared with conventional approaches such as coagulation, chemical oxidation, and membrane filtration which have limitations in terms of cost and sustainability. Experiments were carried out with a variety of light sources (sun, UV-Ozone, and LED) and contact times of 60, 90, and 120 minutes using an optimum CaO catalyst of 0.03 g. The results showed that sunlight irradiation with a catalyst achieved the highest degradation efficiency of 75.39%, followed by LED light (60.38%) and UV-Ozone (54.15%). A broad spectrum and high intensity of sunlight is considered more effective in facilitating photodegradation reactions. This shows that appropriate irradiation methods, combined with effective catalysts, can significantly increase the efficiency of processing batik liquid waste. This research concludes that the CaO catalyst from bamboo shells is an environmentally friendly and sustainable solution to increase

the efficiency of batik liquid waste degradation, with sunlight as the most optimal energy source. These findings offer alternatives related to textile waste management that are more effective and economical.

Keywords: Sunlight, Bamboo shells, CaO, Degradation, Photocatalysis, Batik liquid waste.

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu sektor utama yang mendukung perekonomian Indonesia, termasuk di Jambi yang terkenal sebagai sentra produksi batik. Namun, aktivitas industri ini menghasilkan limbah cair yang signifikan yaitu mencapai 220.000 ton per tahun. Kandungan zat warna pada limbah cair umumnya mengandung pewarna anionik sintetik yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia [1]. Berbagai metode penanggulangan telah diterapkan, di antaranya koagulasi dengan polielektrolit atau aluminium sulfat yang menghasilkan lumpur sebagai residu, oksidasi menggunakan hidrogen peroksida yang membutuhkan biaya tinggi, serta filtrasi melalui membran yang memerlukan investasi dan perawatan intensif [2]. Sebagai solusi alternatif, degradasi fotolisis dan fotokatalisis menawarkan pendekatan yang lebih ramah lingkungan dengan keunggulan berupa reduksi toksisitas, fleksibilitas penerapan, dan keberlanjutan dalam pengelolaan limbah [3].

Pengolahan limbah cair batik secara efisien dan efektif masih menjadi tantangan utama. Pendekatan konvensional seperti koagulasi dan oksidasi cenderung membutuhkan biaya operasional yang tinggi [2]. Untuk mengatasi kendala tersebut, diperlukan pendekatan yang lebih inovatif dan ramah lingkungan. Salah satu solusi yang menjanjikan yaitu pemanfaatan cangkang kerang yang kaya akan kandungan CaO sebagai katalis fotokatalitik dalam proses biodegradasi limbah. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan cangkang kerang sebagai katalis heterogen mampu meningkatkan efisiensi pengolahan limbah hingga 80%, menjadikannya alternatif yang potensial untuk mengatasi dampak limbah cair batik terhadap lingkungan [4]. Katalis CaO dari cangkang kerang bambu juga terbukti dapat mengadsorpsi zat warna pada limbah cair batik Jambi dengan hasil 80% menggunakan sinar UV. Selain itu, reaksi fotokatalitik menggunakan sinar LED dengan katalis CaO dari kerang Bambu juga mampu mengurangi kadar zat warna pada limbah cair Batik Jambi [3].

Katalis CaO dari cangkang kerang bambu telah menunjukkan potensi yang optimal sebagai katalis fotokatalitik untuk mengurai senyawa organik kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek katalis CaO terhadap degradasi limbah cair batik Jambi dengan menggunakan penyinaran matahari, lampu UV-Ozon, dan lampu *Light Emitting Diode* (LED). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi alternatif atau sebagai acuan untuk industri tekstil dalam mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah pewarna anionik sintetik. Selain itu, penelitian ini menawarkan solusi yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan ekonomis dalam mengatasi masalah limbah cair batik yang telah menjadi tantangan besar bagi industri, pemerintah, dan masyarakat.

BAHAN DAN METODE

Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah bubuk cangkang kerang bambu yang dikalsinasi pada suhu 800°C. Material ini merupakan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [5]. Penelitian ini diawali dengan pembuatan larutan sampel limbah cair batik jambi dengan konsentrasi 20 ppm. Pada sampel ini dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum yang berguna untuk mengetahui absorbansi tertinggi dari larutan sampel yang terdeteksi dalam spektrum. Katalis CaO ditentukan massa optimum untuk memperoleh hasil yang maksimal. Selanjutnya, masa katalis optimum yang diperoleh digunakan untuk proses degradasi dengan beberapa variabel yaitu menggunakan cahaya matahari, lampu UV-Ozon, serta cahaya LED dengan dan tanpa katalis. Proses degradasi dilakukan dengan menambahkan 20 ml limbah cair batik dan 0,03 g katalis dalam jumlah optimal, yang kemudian divariasikan dengan waktu kontak 60, 90, dan 120 menit. Setelah itu, konsentrasi limbah yang tersisa diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS dengan perhitungan % degradasi berdasarkan persamaan 1 [6].

$$\% \text{ Deg} = \frac{A_o - A_t}{A_o} \times 100\%$$

Keterangan:

A_o : Absorbansi awal

A_t : Absorbansi pada kondisi berbeda

% Deg : Persen degradasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Limbah Cair Batik Jambi

Larutan limbah cair batik Jambi dengan konsentrasi 25 ppm dipersiapkan untuk menentukan panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-600 nm. Hasil analisis panjang gelombang maksimum pada 243 nm dengan nilai absorbansi sebesar 2,519 dijelaskan pada Tabel 1. Panjang gelombang ini menunjukkan bahwa komponen zat warna dominan menyerap pada spektrum UV, yang merupakan karakteristik dari senyawa organik dalam limbah cair batik [7].

Tabel 1 Panjang Gelombang Maksimum Limbah Cair Batik Jambi

No	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (Abs)
1	241	2,502
2	243	2,519
3	245	2,510
4	247	2,477
5	249	2,411
6	251	2,323

Berdasarkan Tabel 1 panjang gelombang maksimum ini konsisten dengan penelitian sebelumnya, yang juga mencatat nilai serupa untuk zat pewarna dalam limbah cair batik Jambi [8]. Molekul zat pewarna mengalami eksitasi elektron pada panjang gelombang ini, menjadikannya parameter penting dalam mengukur efektivitas degradasi.

b. Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Menggunakan Katalis dengan Sinar Matahari

Degradasi limbah cair batik Jambi dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu tanpa katalis dan dengan penambahan katalis CaO, dengan paparan sinar matahari selama 60, 90, dan 120 menit sebagai waktu reaksi. Sebelum perlakuan, intensitas sinar matahari diukur menggunakan luximeter untuk memastikan mencapai kondisi minimal 3000 lux, karena intensitas yang cukup dapat mempercepat proses fotokatalisis dengan energi foton yang lebih besar daripada sinar UV [3]. Pada percobaan pertama, sebanyak 20 mL larutan limbah ditempatkan dalam cawan petri dan dijemur di bawah sinar matahari tanpa penambahan katalis. Sementara itu, pada percobaan kedua, katalis CaO sebanyak 0,03 gram ditambahkan ke dalam 20 mL larutan limbah, dengan jumlah katalis tersebut dipilih berdasarkan hasil optimasi sebelumnya. Kedua sampel ini dilakukan untuk membandingkan efektivitas degradasi limbah cair batik Jambi dengan dan tanpa katalis. Hasil dari kedua percobaan tersebut, termasuk absorbansi, dan tingkat degradasi, terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Katalis dengan Sinar Matahari

No	Sampel	Tanpa Katalis		Dengan Katalis	
		Abs	%	Abs	%
1	Matahari (60 menit)	1,214	51,81	0,831	67,02
2	Matahari (90 menit)	0,825	67,25	0,632	74,93
3	Matahari (120 menit)	0,706	71,93	0,620	75,38

Tabel 2 memaparkan hasil degradasi limbah cair batik Jambi yang dilakukan tanpa katalis dan dengan katalis CaO menggunakan paparan sinar matahari sebagai sumber energi utama. Sebelum perlakuan, intensitas sinar matahari diukur menggunakan luximeter hingga minimal mencapai 3000 lux, karena intensitas cahaya yang cukup dapat mempercepat proses fotokatalisis [3]. Dalam degradasi tanpa katalis, sampel larutan limbah ditempatkan dalam cawan petri berisi 20 mL dan terpapar sinar matahari selama 60, 90, dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi mencapai 51,81% dalam 60 menit, meningkat menjadi 67,25% dalam 90 menit, dan mencapai 71,93% dalam 120 menit. Peningkatan ini disebabkan oleh radikal bebas yang terbentuk akibat paparan cahaya matahari yang meradiasi larutan limbah cair [9]. Intensitas sinar matahari yang terdiri dari sekitar 5% sinar UV (200-380 nm) dan 45% sinar tampak (310-2300 nm) berkontribusi terhadap peningkatan energi foton yang memengaruhi tingkat degradasi zat warna dalam limbah cair [10]. Pada perlakuan dengan katalis, sebanyak 0,03 gram CaO ditambahkan ke dalam setiap sampel, yang juga terpapar sinar matahari dengan intensitas 3000 lux selama 60, 90, dan 120 menit. Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa degradasi meningkat menjadi 67,02% setelah 60 menit, 74,93% setelah 90 menit, dan mencapai 75,38% setelah 120 menit. Penggunaan sinar matahari dengan intensitas tinggi serta penambahan katalis CaO terbukti meningkatkan efisiensi degradasi limbah cair batik Jambi secara signifikan.

c. Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Menggunakan Katalis dengan Lampu UV-Ozon

Degradasi limbah cair batik Jambi juga dilakukan dengan menggunakan sinar lampu UV-Ozon, baik tanpa penambahan katalis maupun dengan penambahan katalis CaO sebanyak 0,03 gram. Variasi waktu yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 60, 90, dan 120 menit, dengan lampu UV-Ozon yang telah diatur sebelumnya selama 120 menit untuk memastikan kondisi yang stabil. Pada percobaan pertama, sebanyak 20 mL sampel limbah ditempatkan dalam cawan petri dan disinari langsung oleh lampu UV-Ozon tanpa penambahan katalis. Sementara itu, pada percobaan kedua, katalis CaO ditambahkan ke dalam 20 mL sampel limbah sebelum dilakukan penyinaran dengan lampu UV-Ozon. Kedua metode ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas degradasi limbah cair batik Jambi dengan dan tanpa katalis dalam kondisi penyinaran UV-Ozon. Hasil dari kedua percobaan tersebut, seperti absorbansi dan tingkat degradasi, disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Katalis dengan Sinar Lampu UV-Ozon

No	Sampel	Tanpa Katalis		Dengan Katalis	
		Abs	%	Abs	%
1	UV-Ozon (60 menit)	1,779	29,38	1,599	36,5
2	UV-Ozon (90 menit)	1,364	45,86	1,190	52,76
3	UV-Ozon (120 menit)	1,324	47,43	1,155	54,15

Tabel 3 mengungkapkan degradasi limbah cair batik Jambi yang dilakukan tanpa dan dengan katalis menggunakan sinar lampu UV-Ozon pada variasi waktu 60, 90, dan 120 menit. Sebelum perlakuan, lampu UV-Ozon disesuaikan terlebih dahulu selama 120 menit untuk memastikan stabilitas intensitas cahaya. Sampel limbah cair berukuran 20 mL ditempatkan dalam cawan petri dan disinari langsung oleh lampu UV-Ozon. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa degradasi limbah tanpa katalis mencapai 29,38% dalam 60 menit, meningkat menjadi 45,86% dalam 90 menit, dan mencapai 47,43% dalam 120 menit. Namun, efektivitas degradasi dengan sinar UV-Ozon tidak setinggi sinar matahari karena sinar UV-Ozon hanya mencakup frekuensi 200-270 nm, sedangkan sinar matahari memiliki rentang panjang gelombang yang lebih luas, yaitu 310-2300 nm [11]. Selain itu, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa degradasi pewarna indigosol biru di bawah sinar UV tanpa katalis selama tiga jam dapat mencapai 58%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian ini dalam waktu 120 menit. Variasi ini disebabkan oleh perbedaan jenis lampu UV yang digunakan, di mana penelitian sebelumnya menggunakan lampu UV-A (380-315 nm), sedangkan penelitian ini menggunakan lampu UV-Ozon (200-270 nm). Pada perlakuan dengan katalis CaO, hasil degradasi

meningkat secara signifikan dengan nilai degradasi sebesar 36,5% dalam 60 menit, 52,76% dalam 90 menit, dan 54,15% dalam 120 menit. Peningkatan ini disebabkan oleh pembentukan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang dihasilkan dari reaksi antara katalis CaO dan sinar UV-Ozon, yang kemudian berinteraksi dengan senyawa pewarna dalam limbah cair batik Jambi. Namun, karena radikal $\text{OH}\cdot$ memerlukan waktu untuk bereaksi secara optimal dengan senyawa organik dalam limbah, maka degradasi meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu penyinaran (Anggraeni, et al., 2024).

d. Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Menggunakan Katalis dengan Lampu LED

Degradasi limbah cair batik Jambi menjadi fokus penelitian ini untuk mengevaluasi efektivitas proses fotodegradasi dengan dan tanpa katalis menggunakan lampu LED sebagai sumber cahaya. Percobaan dilakukan dengan variasi waktu iradiasi 60, 90, dan 120 menit, serta menggunakan lampu LED yang telah dinyalakan selama 120 menit sebelum perlakuan. Pada metode pertama, degradasi dilakukan tanpa katalis, sedangkan pada metode kedua, digunakan katalis CaO sebanyak 0,03 gram untuk meningkatkan efisiensi degradasi. Perbedaan intensitas cahaya dan panjang gelombang dari lampu LED 50 W yang digunakan dalam penelitian ini dibandingkan dengan studi sebelumnya [13] turut memengaruhi hasil degradasi yang diperoleh. Tabel 4 menyajikan hasil degradasi limbah cair batik Jambi tanpa katalis, dan dengan penambahan katalis CaO .

Tabel 4 Data Hasil Degradasi Limbah Cair Batik Jambi Tanpa Katalis dan Katalis dengan Sinar Lampu LED

No	Sampel	Tanpa Katalis		Dengan Katalis	
		Abs	%	Abs	%
1	LED (60 menit)	1,2	49,75	1,238	50,84
2	LED (90 menit)	1,146	54,51	1,100	56,35
3	LED (120 menit)	1,126	55,29	0,998	60,38

Berdasarkan Tabel 4 degradasi limbah cair batik Jambi menggunakan lampu LED tanpa katalis menunjukkan bahwa setelah 60 menit, degradasi mencapai 49,75%, meningkat menjadi 54,51% pada menit ke-90, dan mencapai 55,29% pada menit ke-120 [14]. Efektivitas degradasi ini lebih rendah dibandingkan dengan sinar matahari karena lampu LED putih hanya memiliki panjang gelombang antara 400 dan 480 nm, sementara sinar matahari memiliki rentang frekuensi yang lebih luas, yaitu 310 hingga 2300 [13]. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya tentang Nanokomposit CuCr_2O_4 yang dihiasi Anatase TiO_2 : Fotokatalis serbaguna di bawah iradiasi lampu LED domestik dalam waktu 120 menit [14]. Dalam penelitian ini, lampu LED 50 W digunakan sebagai sumber cahaya, sementara penelitian sebelumnya menggunakan lampu LED 13 W dengan intensitas 1400 lux. Perbedaan intensitas dan panjang gelombang antara kedua jenis lampu akan memengaruhi efisiensi degradasi yang diamati. Lampu LED 50 W memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi dan rentang panjang gelombang yang lebih luas, sehingga dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik dalam degradasi limbah cair batik Jambi. Selanjutnya, penambahan katalis CaO pada degradasi limbah cair batik Jambi menggunakan sinar lampu LED menunjukkan hasil yang lebih efektif dibandingkan penggunaan lampu LED tanpa katalis. Pada waktu 60 menit, degradasi mencapai 50,84%, meningkat menjadi 56,35% pada 90 menit, dan mencapai 60,38% pada 120 menit [13]. Proses degradasi ini berlangsung secara linear dengan peningkatan waktu kontak, di mana kombinasi penambahan katalis CaO dan penyinaran lampu LED memanfaatkan energi cahaya untuk mengaktifkan katalis, sehingga meningkatkan produksi radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang berperan dalam oksidasi senyawa organik limbah cair batik Jambi. Dengan demikian, kombinasi lampu LED dan katalis CaO terbukti secara signifikan meningkatkan efisiensi degradasi limbah cair dibandingkan hanya menggunakan lampu LED atau katalis CaO secara terpisah.

e. Efek Katalis CaO pada Degradasi Limbah Cair Batik Jambi

Tabel 5 Efisiensi Degradasi dengan Metode Penyinaran

Metode Penyinaran	Tanpa Katalis (%)	Dengan Katalis (%)
-------------------	-------------------	--------------------

Matahari	71,93	75,39
UV-Ozon	47,43	54,15
LED	55,29	60,38

Hasil Tabel 5 menunjukkan bahwa penyinaran cahaya matahari memberikan efisiensi degradasi tertinggi sebesar 75,39% dengan penambahan katalis. Spektrum cahaya matahari yang luas dan intensitas tinggi memfasilitasi reaksi fotodegradasi yang lebih efektif. Lampu UV-Ozon menghasilkan efisiensi degradasi sebesar 54,15%, yang lebih rendah dibandingkan cahaya matahari, karena spektrum UV memiliki cakupan lebih sempit. Penyinaran dengan lampu LED menunjukkan peningkatan degradasi sebesar 60,38%, menjadikannya alternatif hemat energi meskipun efisiensinya tidak seoptimal matahari.



Gambar 1 Matahari katalis 120 menit

Perubahan warna pada limbah cair batik setelah proses degradasi mencerminkan penguraian komponen zat warna. Penambahan katalis CaO dari cangkang kerang bambu meningkatkan efisiensi reaksi fotodegradasi dengan mempercepat oksidasi senyawa organik. Penambahan 0,03 gram katalis meningkatkan degradasi hingga 75,39%, menunjukkan bahwa katalis ini efektif dalam mengoksidasi zat warna lebih cepat [15]. Durasi dan jenis penyinaran sangat memengaruhi efektivitas degradasi cahaya matahari dengan durasi 120 menit memberikan hasil terbaik dibandingkan UV-Ozon dan LED. Hal ini menunjukkan bahwa metode penyinaran yang tepat, dikombinasikan dengan katalis yang efektif, dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair batik secara signifikan.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini mengungkapkan bahwa penggunaan katalis CaO yang berasal dari cangkang kerang bambu terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi degradasi limbah cair batik Jambi. Dalam durasi penyinaran selama 120 menit, penambahan katalis CaO sebanyak 0,03 gram mampu meningkatkan laju degradasi hingga mencapai 75,38%. Metode penyinaran yang digunakan dalam penelitian ini, yakni menggunakan cahaya matahari, lampu UV-Ozon, dan lampu LED. Cahaya matahari menunjukkan efektivitas tertinggi dibandingkan dengan dua metode penyinaran lainnya, dengan degradasi limbah mencapai 75,38%, sementara lampu UV-Ozon dan lampu LED menghasilkan degradasi masing-masing sebesar 54,15% dan 60,38%. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun lampu UV-Ozon dan LED menawarkan keunggulan dalam kontrol intensitas dan durasi iradiasi, spektrum cahaya matahari yang lebih luas dan intensitas tinggi memberikan hasil degradasi yang lebih optimal. Waktu iradiasi juga memegang peranan penting dalam keberhasilan proses degradasi, di mana penyinaran selama 120 menit dengan sinar matahari terbukti paling efektif dalam mengoksidasi komponen zat warna pada limbah cair batik. Dengan demikian, kombinasi antara penggunaan katalis CaO dan metode penyinaran yang tepat, terutama sinar matahari, sangat dianjurkan untuk mengoptimalkan proses pengolahan limbah cair batik secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ridhawati, T. Hidayat Rs, and Nurindah, "Overview of Indonesian national cotton varieties (Kanesia) in supporting national textile industri," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 743, no. 1, pp. 4–8, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/743/1/012066.
- [2] P. Prastowo, L. Destiarti, and T. A. Zaharah, "Penggunaan Kulit Kerang Sebagai Koagulasi Air Gambut," *J. Kaji. Komun.*, vol. 6, no. 4, pp. 65–68, 2017.

-
- [3] A. Saputra, W. Utami, and S. N. Deliza, "Degradasi Fotokatalitik Limbah Cair Batik Jambi Menggunakan Katalis Heterogen Cao dari Cangkang Kerang Bambu ENSIS SP.," vol. 17, no. 2, 2023.
- [4] R. B. de Assis Filho *et al.*, "Removal of textile dyes by benefited marine shells wastes: From circular economy to multi-phenomenological modeling," *J. Environ. Manage.*, vol. 296, no. July, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113222.
- [5] W. Utami, "Sintesis dan Karakterisasi Heterogen: Limbah Cangkang Kerang ENSIS SP.," *γ787*, vol. 3, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.
- [6] J. Chen *et al.*, *Functional nanomaterials for photocatalysis*, no. March 2021. 2020. doi: 10.1142/9789811222405_0001.
- [7] T. Mawarni, H. C. Fadarina, M. Aznury, and M. Taufik, "Degradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Sintesis Fotokatalis ZnO/NiFe₂O₄ dan Diaplikasikan pada Limbah Cair Industri Pulp dan Kertas," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 03, pp. 44–50, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/indexTelp>.
- [8] R. Fatonah, S. Mulyaningsih, and C. Ardiana, "Penentuan kadar total tanin dari ekstrak daun binahong (Anredera cordifolia)," *J. Life Sci. J. Pendidik. Dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 3, no. 2, pp. 38–46, 2021.
- [9] S. R. Ayunda, R. Zainul, B. Oktavia, and A. Putra, "Degradasi Asam Humat Dengan Katalis TiO₂/N Menggunakan Cahaya Matahari," *J. Period. Jur. Kim. UNP*, vol. 11, no. 2, pp. 84–88, 2022.
- [10] F. Istiqomah, V. A. Fabiani, and A. Adisyahputra, "Synthesis and Characterization of Cual Batik Waste Dyes From Photocatalysis Using TiO₂ From Ilmenite Bangka," *Stannum J. Sains dan Terap. Kim.*, vol. 3, no. 2, pp. 34–40, 2021.
- [11] S. Safni, V. Wulanda, K. Khoiriah, and D. V. Wellia, "Degradasi senyawa fenol secara fotokatalisis dengan menggunakan katalis C-doped TiO₂," *Indones. J. Ind. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 51–57, 2019.
- [12] A. . Anggraeni, H. A. Rosanti and F. Hidayat, "Study Of The Influence Of Variations In Catalyst Mass On The Degradation Of Methyl Orange Dyes By Zno/Kj-Ctab Under Uv- Led Illumination", *SPIN*, vol. 6, no. 1, pp. 10–18, 2024, doi: 10.20414/spin.v6i1.7344.
- [13] S. Wardhani, H. A. Mardiansyah, and D. Purwonugroho, "Fe₃O₄-SiO₂-Alginate Photocatalyst for Textile Dyes Waste Degradation," vol. 8, no. 1, pp. 2–9, 2023.
- [14] K. Ghorai *et al.*, "Anatase TiO₂ decorated CuCr₂O₄ nanocomposite: A versatile photocatalyst under domestic LED light irradiation," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 568, no. July, p. 150838, 2021, doi: 10.1016/j.apsusc.2021.150838.
- [15] M. Maryudi, A. Aktawan, and S. Amelia, "Pengolahan Limbah Pewarna Metilen Biru Menggunakan Arang Aktif dan Zeolit Aktif dengan Katalis Fe dan Oksidator Hidrogen Peroksida," *J. Ris. Kim.*, vol. 12, no. 2, 2021, doi: 10.25077/jrk.v12i2.414.