

Pengaruh Lama Penyinaran, Rasio H_2O_2 /COD dan Sinar UV-C pada Pengolahan Limbah Batik

Effect of Exposure Time, H_2O_2 /COD Ratio and UV-C Light on Batik Waste Processing

Airlangga Setyana^{1*}, O. Setiawan²

¹Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik – Indonesia

² Politeknik Negeri Batam, Batam – Indonesia

*Email: sinsintia0706@gmail.com

Artikel histori:

Submitted 17 Februari 2025

Revised 26 Februari 2025

Accepted 29 Juni 2025

ABSTRAK: Limbah tekstil yang dihasilkan dari proses produksi batik yang dibuang ke lingkungan menghasilkan limbah cair, gas, dan padat. Penghilangan zat lilin yang dihasilkan dari proses pewarnaan batik menjadi sumber pencemaran limbah batik di lingkungan. Lilin mengandung bahan kimia fenolik yang berbahaya untuk lingkungan. Tujuan dari pengolahan air limbah tekstil ini adalah mengetahui pengaruh sinar UV-C, pengaruh lama waktu penyinaran dan rasio hidrogen peroksida terhadap *chemical oxygen demand* H_2O_2 /COD menggunakan sistem *Advanced Oxide Processes* (AOP) berbasis metode Fenton UV-C photo-Fenton. Pengujian sampel diawali dengan menambahkan H_2SO_4 /NaOH agar diperoleh pH 3. Ditambahkan kalium dikromat dan 3 tetes indikator ferroin. Dititrasi menggunakan larutan FAS. Analisa awal limbah menunjukkan parameter pH 13, konsentrasi COD 11404,80 g/ml dan warna limbah ungu pekat kehitaman. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan sinar UV-C dengan sistem fotografi fenton efektif mendegradasi fenol pada residu batik cair. Selama proses penyinaran terjadi perubahan warna limbah dari ungu pekat kehitaman menjadi kuning keruh, disertai pembentukan endapan yang kemudian mengendap didasar wadah. Ratio H_2O_2 /COD yang optimal sangat penting. Dimana degradasi fenol meningkat seiring bertambahnya konsentrasi H_2O_2 . Rasio 15 memberikan pengurangan COD tertinggi sebesar 91,72% dalam waktu 60 menit penyinaran UV-C. Rasio yang sangat rendah (seperti pada rasio 6) tidak menghasilkan pengurangan COD yang signifikan.

Kata kunci: Limbah Cair Batik, Foto Fenton, *Advanced Oxide Processes*, *Chemical Oxygen Demand*

ABSTRACT: Textile waste produced from the batik production process that is disposed of into the environment produces liquid, gas, and solid waste. Removal of wax produced from the batik dyeing process is a source of batik waste pollution in the environment. Wax contains phenolic chemicals that are harmful to the environment. The purpose of this textile wastewater treatment is to determine the effect of UV-C light, the effect of exposure time and the ratio of hydrogen peroxide to chemical oxygen demand H_2O_2 /COD using the *Advanced Oxide Processes* (AOP) system based on the Fenton UV-C photo-Fenton method. Sample testing begins by adding H_2SO_4 /NaOH to obtain a pH of 3. Potassium dichromate and 3 drops of ferroin indicator are added. Titrated using FAS solution. Initial waste analysis shows pH parameters of 13, COD concentration of 11404.80 g/ml and dark purple to blackish waste color. The results of this study show that the use of UV-C light with the Fenton photography system is effective in degrading phenol in liquid batik residue. During the irradiation process, the color of the waste changes from dark purple to blackish

to cloudy yellow, accompanied by the formation of sediment which then settles at the bottom of the container. The optimal H₂O₂/COD ratio is very important. Where phenol degradation increases with increasing H₂O₂ concentration. A ratio of 15 provides the highest COD reduction of 91.72% within 60 minutes of UV-C irradiation. Very low ratios (such as ratio 6) do not produce significant COD reduction.

Keywords: Batik Liquid Waste, Fenton Photo, Advanced Oxide Processes, Chemical Oxygen Demand

1. PENDAHULUAN

Batik merupakan tradisi artistik yang penting bagi bangsa Indonesia, yang asal usulnya dapat di telusuri hingga era kerajaan Majapahit dan terus berkelanjutan hingga saat ini. Meskipun demikian, dibalik daya tarik estetika motif warna batik, terdapat masalah lingkungan yang signifikan, khususnya limbah cair yang dihasilkan dari produksi batik (Apriyani, 2018). Proses pewarnaan memiliki peran penting dalam industri batik dan tidak dapat diabaikan. Proses ini melibatkan penggunaan pewarna tekstil yang mengakibatkan limbah cair. Pembuangan limbah yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan sekitar dan kesehatan masyarakat (Susilo & Nugroho, 2020).

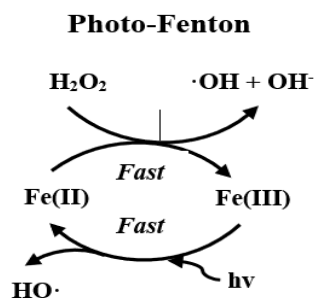
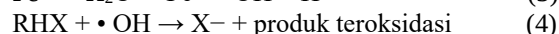
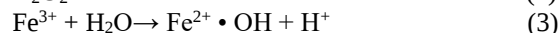
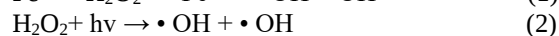
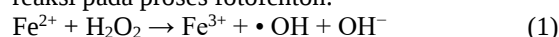
Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengatasi limbah yang dihasilkan industri batik, dengan fokus pada teknik fisik seperti adsorpsi, filtrasi juga *reverse osmosis*. Metode yang digunakan dalam pengolahan kimiawi meliputi pertukaran ion juga ekstraksi. Pemerosesan biologis terjadi melalui mekanisme aerobik dan anaerobik. metodologi ini membutuhkan beberapa tahap proses, melibatkan berbagai bahan kimia, dan mengakibatkan residu yang beresiko untuk kesehatan manusia (Aghni, 2024).

Salah satu teknologi alternatif yang lebih efisien untuk degradasi limbah batik cair adalah dengan mengintegrasikan metode proses oksidasi lanjutan ataupun *Advanced Oxidation Processes* (AOP) dengan hasil yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan. AOP adalah sebuah sistem yang memiliki sifat pengoksidasi kuat terhadap radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang berfungsi sebagai oksidator kuat untuk menguraikan senyawa-senyawa yang tidak dapat dioksidasi oleh oksidator konvensional (Wijayanti et al., 2023). Radikal bebas ini terbentuk akibat kombinasi radiasi UV juga satu diantara senyawa berikut: Ozon (O₃), hidrogen peroksida (H₂O₂) serta titanium dioksida (TiO₂). Radikal ini pula bisa diproduksi melalui kombinasi hidrogen peroksida dan ion besi (Fe²⁺), yang biasa dikenal reagen Fenton (Yanto Rahman & Sulistyowati, 2023).

Advanced Oxidation Processes memiliki beberapa jenis diantaranya adalah fotokatalis, sonolisis, fenton, ozonasi, dan masih banyak lagi. Pada penelitian ini pengolahan limbah batik

dilakukan dengan sistem AOPs berbasis fenton metode foto fenton sinar UV-C dengan tujuan mengetahui pengaruh sinar UV-C terhadap pengolahan limbah batik dan mengetahui pengaruh lama waktu penyinaran rasio H₂O₂/COD (Nabila M, 2022).

Foto-fenton adalah pengembangan proses fenton dengan menambahkan sinar ultraviolet guna mempercepat juga meningkatkan radikal hidroksil yang terbentuk. Proses foto fenton (Fe²⁺/H₂O₂/UV) melibatkan pembentukan radikal hidroksil $\cdot\text{OH}$ melalui fotolisis hidrogen peroksida (H₂O₂/UV) juga reaksi Fenton (Fe²⁺/H₂O₂). Kehadiran sinar UV mengakibatkan terjadinya rekonversi ion besi (Fe³⁺) yang terbentuk atas reaksi Fenton mejadi ion besi (Fe²⁺) dan diikuti pembentukan radikal hidroksil yang baru (Lesa 2020). Berikut mekanisme sistem reaksi pada proses fotofenton:



Gambar 1. Photo-fenton

Proses foto-fenton adalah proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori, dimulai dengan kondisi reaksi seperti pH, konsentrasi kimia, dan intensitas Cahaya, hingga sifat polutan dan jenis katalis, bahkan suhu reaksi semuanya berperan dalam menentukan efisiensi proses (Kamil M, 2024). Mekanisme reaksi yang melibatkan pembentukan radikal hidroksil yang sangat reaktif juga sangat penting. Faktor-faktor lain seperti keberadaan zat

penghambat dan stabilitas katalis juga perlu diperhatikan. Untuk mengoptimalkan proses, berbagai metode seperti desain percobaan dan pemodelan matematis dapat digunakan. Dengan memahami semua faktor ini, kita dapat merancang sistem pengolahan limbah yang lebih efektif dan efisien (Ekamala Wakang et al., 2023).

UV-C adalah sinar ultraviolet dengan panjang gelombang lebih rendah dari dua jenis lainnya yaitu sebesar 200-280 nm. Semakin rendah panjang gelombang sinar UV-C, maka semakin besar keahliannya atas mendegradasi polutan organik. Energi foton sinar UV-C berkisar antara 4,43 hingga 12,4 eV. Fotodegradasi adalah proses penguraian suatu zat dengan memanfaatkan energi foton dari sinar UV (Priantoro & Agung, 2020). Karena foton UV-C memiliki energi antara 4,43 dan 12,4 eV, foton tersebut dapat digunakan untuk terus menghasilkan radikal hidroksil OH selama proses fotokatalisis (Lutfi Naufal Ramandhika, 2021). Banyak bahan organik dapat dioksidasi dengan cepat dan non-selektif oleh radikal hidroksil. Misalnya: limbah batik mengandung senyawa naphthol yaitu senyawa yang sulit larut atau diuraikan yang terdapat pada bahan pewarna batik. Dan umumnya merupakan senyawa organik yang tidak dapat terbiodegradasi.

Sinar UV-C menjadi solusi menarik untuk mengatasi permasalahan pencemaran limbah batik cair. Banyaknya manfaat menjadikan teknologi ini sebagai pilihan yang menjanjikan atas usaha mewujudkan lingkungan yang lebih bersih juga sehat. Sinar UV-C terbukti efektif dalam pengolahan limbah cair batik. Sinar UV-C memiliki banyak manfaat, termasuk degradasi warna, pengurangan muatan organik dan inaktivasi mikroorganisme dan proses. Sederhana, ramah lingkungan. Mekanisme kerja sinar UV-C terdiri dari: pembentukan radikal bebas, sinar UV-C berinteraksi dengan molekul air yang tersisa, menghasilkan radikal hidroksil (OH-) yang sangat reaktif. Radikal OH ini menyerang dan mengoksidasi molekul organik kompleks yang ada dalam limbah (Solikin M, 2021). Eksitasi elektronik, cahaya UV-C, juga dapat membangkitkan elektron dalam molekul pewarna, menyebabkan ikatan kimia putus dan akhirnya merusak molekul (Adnan et al., 2023).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Variabel penelitian yang dipakai dalam uji COD tercantum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2. Variabel penelitian

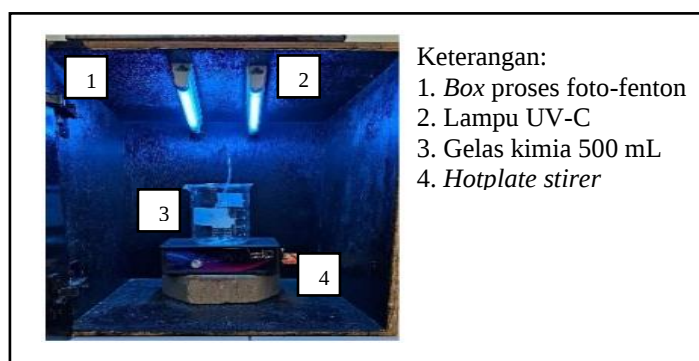
Parameter	Nilai Variabel				
H_2O_2 /COD	6	7	9	11	15
Fe/ H_2O_2	7	7	7	12	20
FAS (ml)	68.1	70.0	75.2	89.5	93.2
Molaritas (m)	73×10^{-4}	71×10^{-4}	66×10^{-4}	56×10^{-4}	54×10^{-4}
Blanko (ml)	18,0	18.6	10.6	27.7	28.8

2.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan memanfaatkan bahan baku yang diperoleh dari sampel air limbah batik. Bahan yang digunakan meliputi air suling atas pelarut juga reagen Fenton, dan katalis $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ merk SMART-LAB CAS No. 7781-63-0 juga H_2O_2 merk Merck KGaA CAS No. 7722 -84-1. Ferrous ammonium sulphate (FAS), potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$), air suling, indikator ferroin, larutan titrasi FAS, dan larutan reagen asam sulfat (H_2SO_4) dan Ag_2SO_4 diperlukan untuk tahap pengujian COD. Selain itu, untuk memperbaiki pH selama proses pengujian warna, diperlukan asam klorida.

2.2 Peralatan Penelitian

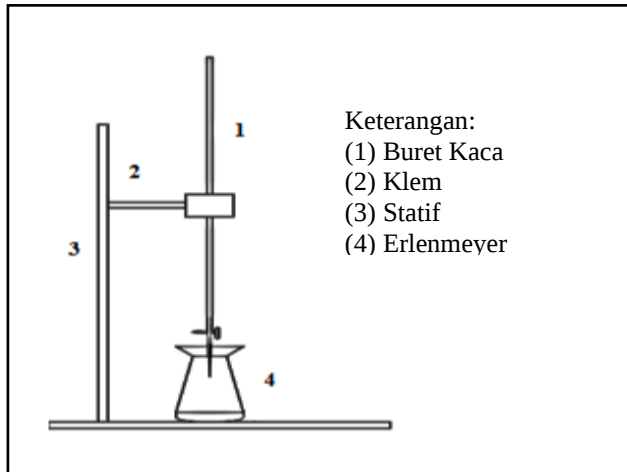
Instrument peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *stopwatch*, pH meter 3210 set 2 (Sentix 41), kertas saring *Whatman* 42, gelas kimia 1000 dan 250 mL, pipet volume, labu ukur 1000 mL, gelas ukur 1000 mL, buret kaca, statif, klem, erlenmeyer, neraca analitik digital, dan wadah untuk penyimpanan sampel.



Gambar 2. Rangkaian Alat Proses Foto-Fenton (Adnan dkk., 2023)



Gambar 3. Rangkaian Alat Analisa Foto Fenton (Rais & Setiawan, 2024)



Gambar 4. Rangkaian Alat Proses Titrasi
(Widayanti E, 2025)

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini parameter yang diukur ialah *Chemical Oxygen Demand* (COD) juga warna limbah batik.

1. Analisa Awal Limbah Batik

Sebelum melakukan percobaan, peneliti perlu melakukan pemeriksaan pendahuluan yang meliputi penilaian pH, warna, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

2. Prosedur Percobaan Pengaturan pH Limbah Batik

Mengukur pH awal Limbah batik untuk proses foto-fenton dengan menambahkan asam sulfat pekat jika pH sampel basa atau dengan menambahkan NaOH jika pH sampel terlalu asam. Menambahkan H_2SO_4 dan NaOH ini dilakukan agar pH sampel menjadi 3.

3. Prosedur Proses foto-fenton

Menambahkan reagen fenton dengan rasio H_2O_2 /COD 10 Fe^{2+} / H_2O_2 7 ke dalam limbah batik yang sudah dipreparasi, setelah itu memasukkannya ke dalam box foto-fenton dengan kondisi suhu ruang dengan variabel waktu penyinaran 10, 20, 30, 40, 50, serta 60 menit.

4. Prosedur Proses Pengujian COD

Penentuan kadar COD berdasarkan metode SNI 6989.15:2019 terkait metode pengujian Kebutuhan Oksigen Kimia *Chemical Oxygen Demand* (COD). Analisa COD menggunakan metode *closed reflux* dengan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) untuk sumber oksigen. Analisis COD awal bertujuan untuk menentukan dosis H_2O_2 yang diperlukan selama proses fenton juga digunakan sebagai parameter guna menentukan efektivitas pengolahan limbah. Kadar yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan PP Nomor 101 Tahun 2014.

Untuk standarisasi memasukkan sampel limbah ke dalam Erlenmeyer, selanjutnya ditambahkan 5 mL larutan Kalium Dikromat

($K_2Cr_2O_7$) menggunakan pipet volume, setelah itu menambahkan *aquadest* sebanyak 2,5 mL juga 3 tetes Indikator Ferroin, selanjutnya titrasi memakai larutan FAS dan mencatat volume yang digunakan. Tahap selanjutnya dari uji COD pada sampel air limbah dengan cara mengambil sampel sebanyak 2,5 mL, kemudian menambahkan 1,5 mL larutan baku $K_2Cr_2O_7$ dan larutan peraksi $AgSO_4 + H_2SO_4$ sebanyak 3,5 mL ke dalam tabung. Memasang tabung tersebut di atas blok pemanas yang telah dipanaskan hingga 150 derajat selama dua jam.. Sampel uji yang direfluks kemudian mendinginkan sampel uji yang direfluks secara bertahap, dengan membuka tutup tabung secara berkala untuk mencegah tekanan gas terperangkap di dalam tabung. Memindahkan sampel uji ke dalam erlenmeyer untuk titrasi, menambahkan dua hingga tiga tetes indikator ferroin sebelum titrasi, dan menambahkan larutan FAS 0,05 M standar hingga warnanya berubah menjadi merah kecoklatan.

$$COD = \frac{N(B-A)8000}{V_s} \quad (5)$$

Dengan,

A : Volume FAS untuk titrasi kosong, mL

B : Volume Fas untuk titrasi sampel, mL

N : Normalitas sampel, mL

COD : Kadar Oksigen Kimia, mg/ LO_2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter penting dalam penilaian baku mutu air limbah. Kandungan COD maksimum yang diamati pada air limbah dari industri tekstil adalah 150 mg/L. Kadar *chemical oxygen demand* (COD) pada air limbah yang dihasilkan oleh industri batik yang digunakan pada penelitian kali ini terukur sebesar 11.404,80 mg/L. Penelitian ini menyelidiki pengolahan limbah cair dari industri batik dengan menggunakan metode foto fenton pengaruh rasio H_2O_2 /COD terhadap kadar COD.

Jumlah H_2O_2 yang ditambahkan merupakan pertimbangan penting yang perlu mendapat perhatian, karena jumlah yang berlebihan dapat menghilangkan radikal hidroksil, sehingga berdampak pada efisiensi ekonomi pengolahan limbah dan meningkatkan biaya operasional. Sebaliknya, kekurangan hidrogen peroksida dapat menyebabkan kekurangan radikal hidroksil, sehingga menghambat keberadaan ion hidroksida, yang penting untuk proses Fenton (Rais & Setiawan, 2024).

Dalam penelitian kali ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan rasio H_2O_2 /COD bervariasi yaitu 6,7,9 dan 15. rasio pertama yang digunakan adalah rasio 6 karena kadar cod awal limbah yang digunakan tinggi sehingga rasio H_2O_2 yang digunakan juga besar. Selain itu data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Setiawan

& Pradipta, 2024) menunjukkan bahwa pada rasio 6 terdapat penurunan kadar COD yang cukup optimal. Kuantitas H_2O_2 yang ditambahkan perlu disesuaikan dengan kadar COD limbah. Apabila kadar COD awal tinggi maka H_2O_2 yang ditambahkan juga semakin banyak. Oleh karena itu, penentuan rasio H_2O_2 /COD yang optimal sangat penting untuk memastikan jumlah H_2O sama dengan yang dibutuhkan dan juga mempertimbangkan

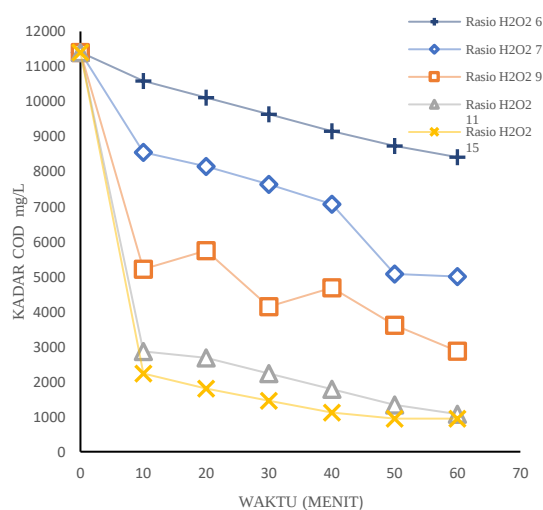
dampaknya terhadap pengelolaan limbah (Amalia Putri Sarto Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah et al., 2020). Dalam penelitian ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan rasio H_2O_2 /COD bervariasi antara 6 hingga 15 pada pH 3, sedangkan jumlah Fe^{2+} dijaga konstan pada rasio 5. Hasil pengolahan air limbah industri batik menggunakan metode Foto Fenton pengaruh rasio H_2O_2 /COD terhadap kadar COD limbah dapat dilihat pada tabel

dibawah ini.

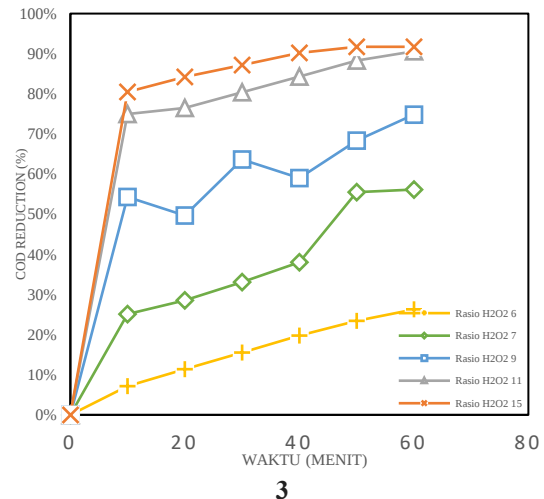
Tabel 3. Hasil Pengujian COD

t (menit)	Nilai COD (mg/L)				
	1	2	3	4	5
0	11.404,80	11.404,80	11.404,80	11.404,80	11.404,80
10	10.589	8.546	5.209	2.858,	2.231
20	10.111,00	8.150,00	5.740,863	2.680,067	1.802,575
30	9.632,000	7.634,00	4.146,179	2.233,389	1.459,227
40	9.150,000	7.071,00	4.677,740	1.786,711	1.115,879
50	8.734,000	5.074,00	3.614,617	1.340,033	944,206
60	8.409,00	5.001,00	2.870,431	1.072,026	944,206

Data penelitian pengaruh rasio H_2O_2 /COD terhadap kadar COD yang diperoleh ditampilkan pada gambar grafik 5 dan 6.



Gambar 5. Pengujian COD berbagai rasio H_2O_2 /COD pada pH



Gambar 6. Efisiensi penurunan COD berbagai rasio H_2O_2 /COD pada pH 3

Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pengurangan kebutuhan oksigen kimia (COD) berfluktuasi dalam berbagai rasio hidrogen peroksida H_2O_2 terhadap COD. Dimulai dari rasio 6 Pada rasio 6 didapat penurunan kadar COD sebesar 26,27%, sedangkan pada rasio 7,9,11 dan 15 mencapai efisiensi masing-masing sebesar 56,15%, 74,83%, 90,72% dan 91,72%. Dari percobaan variabel tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar rasio H_2O_2 /COD maka persen yang didapat juga semakin besar. Dikarenakan sampel uji limbah batik hanya terbatas maka penelitian ini didapatkan hasil yang kurang optimal, dimana penurunan COD yang paling optimal yaitu 100%. Penurunan kadar COD yang didapat mengalami reaksi dengan katalis besi (Fe^{2+}) menghasilkan ion hidroksida (OH). Tahap transferensi organik lebih lanjut terjadi, sehingga memperlambat penurunan tingkat COD.

Fungsi penambahan H_2O_2 berguna untuk memberikan kondisi maksimum dalam proses reaksi fenton, penambahan H_2O_2 perlu dilakukan perhitungan rasio. Jumlah H_2O_2 yang digunakan perlu disesuaikan dengan kadar COD awal limbah. Namun dapat dilihat pada hasil diatas bahwa pada rasio 6 tidak mendapat penguatan nilai COD limbah. Akan tetapi, apabila menggunakan rasio yang paling tinggi yaitu pada rasio 15 terjadi pengurangan nilai COD limbah yang cukup signifikan hingga 91.72%.

Dibandingkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Lesa dkk., 2020). Pada laju aliran 0,6 L/s dan rasio molar 10:0,30, rata-rata penyisihan kadar COD awal adalah 87%; pada laju aliran 0,2 L/s dan rasio molar 10:0,10, penurunan COD terendah dicapai, dengan rata-rata penyisihan 20% dari tingkat COD awal. Terdapat penelitian (Putri dkk., 2020). Bahwa hasil yang didapat tentang

limbah rumah sakit dengan rasio H_2O_2 /COD yang dipakai sejumlah 10 hanya mendapatkan *persentase* sebesar 89,29%. Dari kedua penelitian tersebut *persentase* yang didapat dengan perbandingan penelitian kali ini masih jauh lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan kontaminan dalam air limbah perlu dilakukan kenaikan konsentrasi OH^- supaya penguraian limbah jauh lebih efisien.

4. KESIMPULAN

Atas temuan dari penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan sinar UV-C dengan sistem foto fenton efektif mendegradasi fenol pada limbah batik cair. Degradasi fenol meningkat seiring dengan tingkatan konsentrasi H_2O_2 dan berat $FeSO_4$ ke pH optimal.
2. Pendekatan Fenton untuk pengurangan COD limbah industri batik sangat bergantung pada rasio COD/ H_2O_2 . Menentukan rasio yang tepat sangat penting untuk memastikan efektivitas perawatan yang maksimal. Semakin tinggi rasionya, semakin besar pula *persentase* penurunan COD yang dicapai, hingga mencapai rasio 11. Rasio 15 memberikan penurunan COD tertinggi sebesar 91,72% pada UV-C 60 menit penyinaran UV-C. Rasio yang terlalu rendah (seperti pada rasio 6) tidak memberikan penurunan COD yang signifikan.
3. Selama proses penyinaran, terjadi perubahan warna limbah dari ungu pekat kehitaman menjadi kuning keruh, disertai pembentukan endapan yang kemudian mengendap didasar wadah. Perubahan ini menunjukkan terjadinya degradasi warna azo dalam limbah. Radikal ($OH^\cdot$) yang dihasilkan dalam reaksi fenton secara selektif menyerang gugus azo ($-N=N-$) pada molekul pewarna, memicu degradasi bertahap dan mengurangi intensitas warna limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, F., Meicahayanti, I., & Singgih, M. (2023). Foto Fenton UVC dengan Menggunakan $H_2O_2/FeSO_4$ dalam Mendegradasi Variasi pH dan Konsentrasi Asam Humat (Vol. 1, Issue 1).
- Aghni, N. (2024). Pemantauan Kualitas Fisika Kimia Limbah Cair Industri Batik Giriloyo Wukisari Imogiri Bantul Tahun 2024.
- Amalia Putri Sarto Ahmad Tawfieurrahman Yuliansyah, F., Amalia Putri, F., & Tawfieurrahman Yuliansyah, A. (2020). Pengaruh Variasi Rasio H_2O_2 /COD dan Tegangan Terhadap Penurunan COD Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Elektro-Fenton Pengaruh Variasi Rasio H_2O_2 /COD dan Tegangan Terhadap Penurunan COD Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Elektro-Fenton The Effect Variation of H_2O_2 /COD Ratio and Voltage on COD Reduction in Hospital Wastewater by Using Electro-Fenton Method. In *Jurnal Chemurgy* (Vol. 04, Issue 2).
- Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. In *MITL Media Ilmiah Teknik Lingkungan* (Vol. 3, Issue 1).
- Ekamala Wakang, A., Heryanto Langsa, M., Victor Morin, J., & Gunung Salju Amban, J. (2023). Studi Efektivitas Proses Foto Fenton Dalam Menurunkan Angka Bakteri Coliform Di Sungai Maruni Kabupaten Manokwari. In *Jurnal Natural* (Vol. 19).
- Kamil M. (2024). *Pengolahan Limbah Farmasi Sulfanilamida Menggunakan Metode Fotokatalisis Berbasis Material Besi (II) Oksalat*.
- Lesu, W. S., Ali, M., & Rosariawari, F. (2020a). Proses Foto Fenton Dalam Reaktor Resirkulasi Untuk Menyisihkan Beban Pencemar Pada Lindi. *Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Kota SBY*, 6(1), 54–65.
- Lesu, W. S., Ali, M., & Rosariawari, F. (2020b). Veteran. *Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Kota SBY*, 6(1), 54–65.
- Lutfi Naufal Ramandhika, A. A., L. S. (2021). Studi Preparasi Senyawa $ZnO:TiO_2$ Sebagai Material Fotokatalisis. In *Jurnal Material dan Energi Indonesia* (Vol. 11, Issue 02).
- Nabila M. (2022). *Kajian Penerapan Metode Advanced Oxidation Process (AOPs) Pada Pengolahan Limbah Cair Di Indonesia*.
- Priantoro, B., & Agung, T. (2020). *Seminar Nasional (ESEC) 2020 Efektivitas Intensitas Cahaya UV-C Untuk Menurunkan Parameter Pencemar Limbah Batik*.
- Putri, F. A., Sarto, S., & Yuliansyah, A. T. (2020). Pengaruh Variasi Rasio H_2O_2 /COD dan Tegangan Terhadap Penurunan COD Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Elektro – Fenton. *Jurnal Chemurgy*, 4(2), 15. <https://doi.org/10.30872/cmg.v4i2.4736>
- Rais, D. R., & Setiawan, O. (2024). Pengolahan limbah cair industri sarung dengan metode fenton Treatment of sarong industrial liquid waste by fenton method. *Jurnal Integrasi Proses Dan Lingkungan*, 1(2), 55–61. <http://ejournal.ft.umg.ac.id/index.php/jtk>
- Setiawan, O., & Pradipta, A. T. (2024). Penggunaan Metode Response Surface Methodology Box Behnken Untuk Pemodelan dan Optimasi Proses Fenton pada Pengolahan Limbah Cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik. *METANA*, 20(2), 97–107. <https://doi.org/10.14710/metana.v20i2.66413>

- Solikin M. (2021). *Pengaruh Sinar UV-C Dan Ekstrak Daun Sirsak Sebagai Biolarvasida Nyamuk (Aedes Aegypti)*.
- Susilo, A. J., & Nugroho, T. S. (2020). Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Di Yogyakarta (Literatur Review). In *Teknik Industri UMS*.
- Widayanti E. (2025). *Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Fenton*.
- Wijayanti, M. S., Agustina, T. E., Dahlan, M. H., & Teguh, D. (2023). Pengolahan Air Limbah Laboratorium Menggunakan AOPs Secara Terintegrasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 142–149. <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.142-149>
- Yanto Rahman, D., & Sulistyowati, R. (2023). *Environmental Science Journal (ESJo): Jurnal Ilmu Lingkungan Aplikasi Fotokatalis Tio2 Dan Alternatifnya Untuk Degradasi Pewarna Sintesis Dalam Limbah Cair* (Vol. 1, Issue 2). <http://journal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/esjo>