

Pengolahan limbah cair industri sarung dengan metode fenton

Treatment of sarong industrial liquid waste by fenton method

Deviano. R. Rais, O. Setiawan*

¹Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik – Indonesia

²Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik – Indonesia

*Email: okisetiawan@umg.ac.id

Artikel histori:

Diterim 14 Januari 2024

Diterima dalam revisi 15 Januari 2024

Diterima 13 Februari 2024

Online xxx

ABSTRAK: Sektor tekstil berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah dampak limbah industri, terutama dalam pembuatan sarung. Limbah cair industri sarung mengandung zat berbahaya seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan pewarna tekstil berbahaya biasanya terbuat dari senyawa azo dan turunannya (gugus benzena). Gugus benzena sukar diuraikan dan karsinogenik. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan pendekatan baru menggunakan teknik *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), khususnya metode Fenton. Pengujian diawali dengan menambahkan $H_2SO_4/NaOH$ agar diperoleh pH 3. Ditambahkan Kalium Dikromat dan 3 tetes indikator Ferroin. Dititrasi dengan larutan FAS. Analisis awal limbah menunjukkan parameter pH 10, konsentrasi COD 1664 g/ml, dan warna merah bata. Interaksi antara hidrogen peroksida dan katalis besi menghasilkan ion hidroksida, memulai proses transfer organik yang mengurangi tingkat kebutuhan oksigen kimia (COD). Pada penelitian ini, berbagai rasio H_2O_2/COD dievaluasi, dengan efektivitas bervariasi: rasio 7 mencapai 44%, rasio 8 meningkat menjadi 72,55%, dan rasio 9 mencapai 82,42%. Rasio 10 mengalami peningkatan signifikan sebesar 89,07%, sedangkan rasio 12 memiliki efektivitas sebesar 83,79%. Pada rasio 12, terjadi penurunan kadar COD antara menit ke-30 dan ke-60 karena kelebihan H_2O_2 , yang bereaksi dengan kalium dikromat, meningkatkan jumlah bahan kimia organik. Rasio optimal yang menghasilkan penurunan kadar COD signifikan sebesar 89,07% diamati pada rasio H_2O_2/COD 10, terutama pada menit ke-50 dan ke-60. Kondisi pH 3 terbukti paling menguntungkan karena beroperasi dengan efisiensi maksimal pada tingkat keasaman ini. Radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi reagen Fenton secara selektif menyerang ikatan gugus azo dalam molekul pewarna, mengakibatkan dekolorisasi lebih lanjut.

Kata kunci: fenton; *advance oxidation process*; limbah tekstil; limbah sarung; *chemical oxygen demand*

ABSTRACT: The textile sector plays an important role in the Indonesian economy. However, the main challenge faced is the impact of industrial waste, especially in making sarongs. Sarong industry liquid waste contains dangerous substances such as *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), and dangerous textile dyes usually made from azo compounds and their derivatives (benzene groups). The benzene group is difficult to break down and is carcinogenic. To overcome this problem, a new approach is needed using *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) techniques, especially the Fenton method. The test begins by adding $H_2SO_4/NaOH$ to obtain a pH of 3. Add potassium dichromate and 3 drops of ferroin indicator. Titrate with FAS solution. Initial waste analysis showed a pH parameter of 10, a COD concentration of 1664 g/ml, and a brick red color. The interaction between

hydrogen peroxide and the iron catalyst produces hydroxide ions, initiating an organic transfer process that reduces chemical oxygen demand (COD) levels. In this study, various H_2O_2/COD ratios were evaluated, with varying effectiveness: ratio 7 reached 44%, ratio 8 increased to 72.55%, and ratio 9 reached 82.42%. Ratio 10 experienced a significant increase of 89.07%, while ratio 12 had an effectiveness of 83.79%. At a ratio of 12, there was a decrease in COD levels between the 30th and 60th minutes due to excess H_2O_2 , which reacted with potassium dichromate, increasing the amount of organic chemicals. The optimal ratio which resulted in a significant reduction in COD levels of 89.07% was observed at an H_2O_2/COD ratio of 10, especially at the 50th and 60th minutes. The pH 3 condition proves to be the most beneficial as it operates at maximum efficiency at this acidity level. Hydroxyl radicals resulting from the Fenton's reagent reaction selectively attack the azo group bonds in the dye molecule, resulting in further decolorization.

Keywords: fenton; advance oxidation process; textile waste; sarong waste; chemical oxygen demand

1. PENDAHULUAN

Sektor tekstil mempunyai peranan penting dalam menggerakkan perekonomian Indonesia. Meskipun terdapat banyak prospek ekspor untuk produk ini, kendala yang perlu diperhatikan adalah dampak lingkungan yang diakibatkan oleh limbah yang dihasilkan oleh sektor ini. Limbah cair yang dihasilkan, dengan warna yang tidak jelas, menimbulkan bahaya jika dilepaskan ke ekosistem perairan, menyelimuti lapisan atas dan menghalangi infiltrasi sinar matahari. Pewarna tekstil biasanya terbuat dari senyawa azo dan turunannya (gugus benzena). Gugus benzena sangat sulit diuraikan sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama untuk proses degradasinya. Senyawa azo bersifat karsinogenik dan mutagenik sehingga perlu tindakan pengendalian untuk menguraikan limbah yang mengandung senyawa azo. Kandungan zat warna azo cukup dominan dalam limbah tekstil yaitu sekitar 60-70 % (Endang W, 2009). Oleh karena itu, penghapusan limbah cair dari sektor tekstil menimbulkan permasalahan ekologi yang signifikan (Rizkiah dan Luciana, 2022).

Untuk mengatasi tantangan khusus ini, pendekatan baru memerlukan pemanfaatan Proses Oksidasi Lanjutan (*Advanced Oxidation Processes/AOPs*), yang terkenal karena kemampuannya menguraikan limbah secara efisien sekaligus menghasilkan produk sampingan yang ramah lingkungan. Proses oksidasi lanjutan (AOPs) mencakup mekanisme oksidatif tangguh yang menggunakan radikal hidroksil ($*OH$). Radikal ini dihasilkan melalui aksi sinergis radiasi UV dan unsur tertentu seperti ozon (O_3), (Deng dan Zhao, 2015).

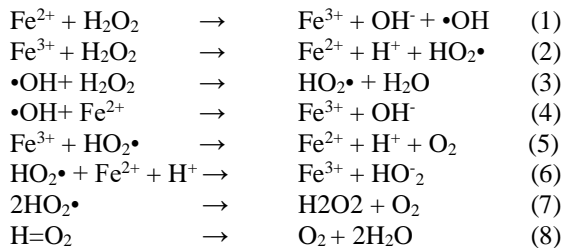
Pengolahan limbah menggunakan AOPs diterapkan oleh beberapa perusahaan industri tekstil seperti *Ecole Polytechnique de Lausanne* di Swiss. AOPs menggunakan energi tambahan maupun bahan kimia untuk menghasilkan spesies pengoksidasi yang sangat reaktif, umumnya radikal

hidroksil ($*OH$) sebagai oksidator berbagai senyawa organik. Efisiensi produksi radikal hidroksil cukup penting sehubungan dengan penerapannya sebagai AOP. Studi terkait dengan AOPs saat ini menjadi topik hangat bagi para peneliti yang bertujuan untuk mengurangi jumlah bahan kimia yang terkandung pada limbah cair dan meningkatkan persentase penghilangan zat pewarna (Cetinkaya, dkk., 2018). AOPs adalah proses yang efektif dalam menghasilkan radikal bebas untuk mendegradasi bahan kimia organik. AOPs yang diterapkan pada penelitian ini yaitu sistem Fenton, yang terdiri dari atas reaksi H_2O_2 dengan Fe^{2+} dalam membentuk OH . Reaksi Fenton melibatkan beberapa tahapan dimana radikal bebas hidroksil (OH) dan hidroksiperoksil (HO_2) merupakan hasil antara yang menjadi kunci sistem Fenton ini (Vatanpour, dkk., 2009). Metode oksidasi Fenton dipilih dibandingkan metode lain seperti iradiasi ultrasonik atau radiasi ultraviolet karena lebih ekonomis, pengoperasian yang mudah, dan ramah lingkungan karena tidak menimbulkan dampak atau bahaya bagi lingkungan (Ertugay dan Acar, 2017).

Proses Fenton adalah metodologi yang menggunakan Ion Besi (Fe^{2+}) sebagai katalis dan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) sebagai zat pengoksidasi dalam lingkungan asam. Pendekatan ini menunjukkan kemanjuran yang besar dalam pengolahan air limbah. Dalam reagen Fenton, ion besi berfungsi sebagai katalis, mempercepat dekomposisi hidrogen peroksida untuk menghasilkan radikal hidroksil. Sepanjang proses oksidasi, ion besi mengalami oksidasi sehingga terjadi konversi menjadi ion besi (Fe^{3+}), sedangkan H_2O_2 mengalami transformasi menjadi radikal bebas hidroksil ($*OH$). Radikal ini menunjukkan peningkatan reaktivitas, memfasilitasi penguraian molekul organik melalui mekanisme yang melibatkan radikal bebas. Radikal yang dihasilkan yang berasal dari senyawa organik kemudian dapat bereaksi dengan radikal hidroksil, sehingga menghasilkan pembentukan senyawa yang lebih

stabil secara termodinamika. Sintesis molekul yang lebih stabil secara kimiawi menambah kompatibilitas ekologi metodologi ini (Qi, dkk., 2020).

Penguraian hidrogen peroksida (H₂O₂) dalam larutan asam tanpa adanya komponen organik berlangsung melalui serangkaian proses dalam mekanismenya.:



Meningkatnya konsentrasi COD dalam limbah dari sektor tekstil sarung menimbulkan kemungkinan bahaya ekologis, terutama pada ekosistem perairan. Oleh karena itu, tema pokok pembahasan penelitian ini adalah mengenai hal-hal yang berkaitan dengan pengaruh rasio H₂O₂ pada tingkat COD dan peran pH dalam membentuk proses Fenton. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak rasio Fe²⁺ dan H₂O₂ terhadap tingkat COD, sekaligus menyelidiki efek pH pada proses Fenton. Hasil yang diharapkan dari penyelidikan ini mencakup penentuan proporsi Fe²⁺ dan H₂O₂ yang optimal dan pemahaman dampak pH terhadap kemanjuran prosedur Fenton.

Pewarna tekstil biasanya terbuat dari senyawa azo dan turunannya (gugus benzena). Gusus benzena sangat sulit diuraikan sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama untuk proses degradasinya. Senyawa azo bersifat karsinogenik dan mutagenik sehingga perlu tindakan pengendalian untuk menguraikan limbah yang mengandung senyawa azo.

Tabel 1. Baku mutu air limbah usaha dan kegiatan industri tekstil

Parameter	Nilai
COD	150 mg/L
BOD	50 mg/L
TSS	50 mg/L
Fenol Total	0,5 mg/L
Krom Total (Cr)	1,0 mg/L
Amonia Total (NH ₃ -N)	8,0 mg/L
Sulfida (S)	0,3 mg/L
Minyak dan Lemak	3,0 mg/L
pH	6,0 – 9,0
Debit Limbah Maksimum	100 m ³ /ton

2. METODOLOGI PENELITIAN

Variabel penelitian yang digunakan pada pengujian COD tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Variabel penelitian

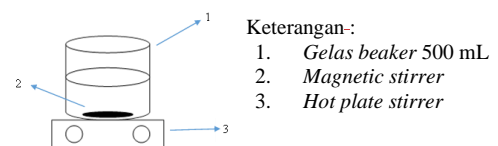
Parameter	Nilai				
H ₂ O ₂ /COD	7	8	9	10	12
Fe/H ₂ O ₂	5	5	5	5	5
FAS (ml)	60,1	70,05	82,05	87,95	88,95
Molaritas (M)	0,0083	0,0071	0,0061	0,0057	0,0056
Blanko (ml)	18,0	18,6	18,9	19,6	19,8

2.1. Bahan Penelitian

Penelitian ini mencakup pengelolaan residu tekstil berair dengan menggunakan sampel air limbah yang diperoleh dari industri rumahan sarung tenun tangan konvensional di Medangan Gresik. Bahan yang digunakan terdiri dari akuades sebagai pelarut dan pereaksi Fenton, dengan katalis FeSO₄.7H₂O merk SMART-LAB CAS No. 7781-63-0 dan H₂O₂ merk Merck KGaA CAS No. 7722-84-1. Tahap pengujian COD memerlukan penggunaan *Ferrous Ammonium Sulphate* (FAS), Kalium Dikromat (K₂Cr₂O₇), air suling, Indikator Ferroin, larutan titrasi FAS, dan larutan reagen Asam Sulfat (H₂SO₄ dan Ag₂SO₄). Selain itu, asam klorida juga diperlukan sebagai pengatur pH dalam prosedur pengujian warna.

2.2. Peralatan Penelitian

Untuk melakukan penyelidikan ini, berbagai peralatan digunakan, seperti pengaduk magnet, *stopwatch*, pH meter model 3210 set 2 (*Sentix 41*), kertas saring *Whatman 42*, gelas kimia 1000 mL dan 250 mL, pipet volume, Labu ukur 1000 mL, gelas ukur 1000 mL, timbangan analitik digital, filter vakum, dan wadah untuk penyimpanan sampel.



Gambar 1. Rangkaian alat pengolahan limbah dengan metode fenton



Gambar 2. Rangkaian alat analisa metode fenton

2.3. Penulisan Tabel

Analisa Awal Limbah Sarung

Sebelum melakukan percobaan, perlu dilakukan pemeriksaan pendahuluan yang meliputi penilaian pH, warna, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sampel limbah sebagai berikut:

Tabel 3. Analisa Awal Sampel

Parameter	Nilai
pH	10
Warna	Merah bata
COD	1664 gram/L

Percobaan Pengaturan pH Limbah

Proses fenton sangat tergantung pada pH larutan terutama karena faktor spesiasi besi dan hidrogen peroksida. pH optimal untuk reaksi Fenton ditemukan sekitar 3. Aktivitas reagen Fenton berkurang pada pH yang lebih tinggi karena adanya besi oksihidroksida yang relatif tidak aktif dan pembentukan endapan besi hidroksida. Untuk pengaturan pH limbah menjadi pH optimum 3 dengan cara penambahan H_2SO_4 atau NaOH.

Prosedur Pembuatan Reagen Fenton

Untuk menyiapkan reagen Fenton, gunakan larutan penganalisis pro H_2O_2 yang diproduksi oleh merek Merck. Memodifikasi proporsi Fe^{2+}/H_2O_2 memerlukan pengeluaran sejumlah H_2O_2 yang ditentukan oleh sifat COD yang unik pada spesimen limbah tertentu. Secara teori, sejumlah 2,125 miligram hidrogen peroksida murni (100%) berpotensi mengoksidasi 1 miligram kebutuhan oksigen biologis/kebutuhan oksigen kimia. Oleh karena itu, dosis H_2O_2 yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Konsentrasi } H_2O_2 = \text{Konsentrasi COD} \times 2,125 \quad (1)$$

Prosedur Persiapan Reaktor

Wadah yang dipilih untuk reaksi adalah gelas beaker 500 mL, yang telah dibersihkan menggunakan larutan asam sulfat 10% untuk meminimalkan potensi kontaminasi yang dapat menghambat proses analisis limbah. Selama operasi, pengaduk magnetik disuntikkan ke dalam reaktor untuk menjamin homogenitas larutan. Kecepatan rotasi ditetapkan pada 200 putaran per menit selama 60 menit, dengan spesimen dikumpulkan pada interval 10 menit. Untuk melindungi reaktor dari gangguan cahaya luar selama proses analisis limbah, lapisan aluminium foil dibungkus di sekelilingnya.

Prosedur Proses Fenton

Sebanyak 500 mL air limbah dimasukkan ke dalam gelas kimia 500 mL dan diaduk menggunakan pengaduk magnet. Prosedur pengadukan berlangsung selama 60 menit, di mana sampel

dikumpulkan dengan interval 10 menit, sehingga menghasilkan total 6 sampel. Masing-masing spesimen tersebut menjalani pemeriksaan tambahan.

Prosedur Pengujian

(a) Pengujian COD

Penentuan kadar COD mengikuti metodologi yang ditentukan dalam SNI 6989.15:2019, khususnya protokol penilaian Chemical Oxygen Demand (COD) sebagaimana dijelaskan oleh Royani S. dkk. pada tahun 2021. Analisis kebutuhan oksigen kimia (COD) menggunakan teknik reflus tertutup, memanfaatkan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai sumber oksigen.

Selama metode ini, sejumlah 2,5 ml sampel uji diekstraksi menggunakan pipet volumetrik. Selanjutnya, 1,5 ml larutan destruksi dan 3,5 ml larutan reagen asam sulfat dimasukkan ke dalam tabung yang berisi sampel uji. Setelah menutup tabung dan memverifikasi homogenitasnya, tabung kemudian ditempatkan pada *Heating Block* yang diatur pada suhu 150 °C selama 120 menit. Setelah proses selesai, larutan sampel dibiarkan dingin hingga mencapai suhu sekitar. Kemudian secara hati-hati dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer, dan tepat 3 tetes indikator ferroin dimasukkan sampai terjadi transisi warna dari warna hijau-biru ke warna coklat kemerahan. Jumlah larutan *Ferrous Ammonium Sulphate* (FAS) yang digunakan untuk proses titrasi telah didokumentasikan dengan baik.

Kebutuhan oksigen kimiawi (COD) sampel air limbah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$COD (mg/L O_2) = (A - B) \times M \times 100 mL \quad (12)$$

A = Volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (mL)

B = Volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk sampel uji (mL)

M = Molaritas larutan FAS dan angka 100 menyatakan berat mili ekuivalen oksigen x 1000 mL/Liter

Penentuan penurunan nilai yang diuji menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{penurunan} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (11)$$

A= Nilai (COD) sebelum penambahan reagen fenton

B= Nilai (COD) sesudah penambahan reagen fenton

(b) Pengujian Warna

Pengujian warna memerlukan pemeriksaan visual sebelum dan sesudah tahap pemrosesan. Prosedur ini dilakukan untuk memastikan analisis

warna yang tepat, dan penting untuk mencatat atribut yang diamati dengan cermat.

Prosedurnya mencakup persiapan larutan yang dirancang untuk analisis warna, pemeriksaan visual untuk memverifikasi setiap modifikasi, dan kemudian mendokumentasikan karakteristik unik sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

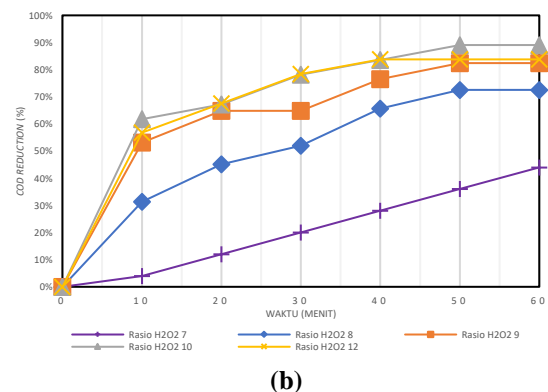
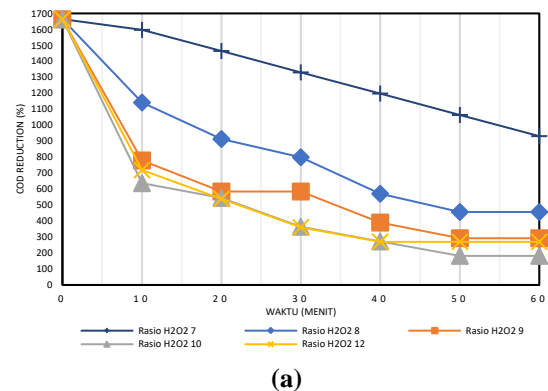
Penelitian ini dilakukan menggunakan proses oksidasi lanjutan atau *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) yaitu salah satu metode pengolahan limbah yang efektif untuk oksidasi zat organik. Metode yang cukup dikenal adalah metode Fenton (Martini, dkk., 2020).

Jumlah H_2O_2 yang disuntikkan 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 (Hakika dkk., 2019).

Kuantitas H_2O_2 sangat terkait dengan nilai COD awal limbah, dimana nilai COD awal yang lebih tinggi secara teoritis memerlukan kuantitas H_2O_2 yang lebih besar. Oleh karena itu, penetapan konsentrasi rasio H_2O_2/COD yang ideal sangat penting untuk menyediakan jumlah H_2O_2 yang diperlukan, dengan tetap mempertimbangkan pengaruhnya terhadap biaya yang terkait dengan pengelolaan limbah. Dalam penelitian ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan rasio COD/ H_2O_2 berkisar antara 7 hingga 12 pada pH 3, sambil menjaga jumlah Fe^{2+} pada rasio konstan 5. Temuan penelitian tentang pengaruh rasio COD/ H_2O_2 disajikan pada tabel berikutnya.

Tabel 4. Hasil pengujian COD

t (menit)	Nilai COD (mg/L)				
	1	2	3	4	5
10	1597.3378	1142.0414	780.0122	636.7254	719.5053
20	1464.2263	913.6331	585.0091	545.7646	539.6290
30	1331.1148	799.4290	585.0091	363.8431	359.7527
40	1198.0033	571.0207	390.0061	272.8823	269.8145
50	1064.8918	456.8166	292.5046	181.9215	269.8145
60	931.7804	456.8166	292.5046	181.9215	269.8145



Gambar 3. (a) Hasil pengujian COD berbagai rasio H_2O_2/COD pada pH 3 (b) Efisiensi penurunan COD berbagai rasio H_2O_2/COD pada pH 3

Setelah analisis data yang diperoleh, menjadi jelas bahwa kemanjuran pengurangan kebutuhan oksigen kimia (COD) berfluktuasi pada berbagai rasio hidrogen peroksida (H_2O_2) terhadap COD. Dengan rasio 7 penurunan COD hanya sebesar 44%, namun dengan rasio 8 meningkat menjadi 72,55%. Peningkatan tambahan dicatat dengan rasio 9, 10, dan 12, yang mencapai efisiensi masing-masing sebesar 82,42%, 89,07%, dan 83,79%. Secara signifikan, ketika rasio H_2O_2/COD ditetapkan sebesar 10, penurunan COD yang cukup besar sebesar 181,9215 mg/L dicapai dengan efisiensi sebesar 89,07% dalam jangka waktu 50 hingga 60 menit. Dalam jangka waktu ini, hidrogen peroksida (H_2O_2) mengalami reaksi dengan katalis besi (Fe^{2+}) menghasilkan ion hidroksida (OH^-). Tahap transferensi organik lebih lanjut terjadi, sehingga memperlambat penurunan tingkat COD. Sebaliknya, ketika rasionya 12, terjadi kenaikan kadar COD dalam kurun waktu 30 hingga 60 menit. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan konsentrasi hidrogen peroksida (H_2O_2), yang berdampak buruk pada efektivitas pengurangan kebutuhan oksigen kimia (COD). Kelebihan hidrogen peroksida bergabung dengan kalium

dikromat, menyebabkan peningkatan jumlah senyawa organik.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Setiawan dkk. 2020) tentang limbah rumah sakit dimana dengan rasio COD/H₂O₂ 10 hanya mendapatkan presentase penurunan sebesar 55,07%. Hal ini menunjukkan adanya kontaminan dalam air limbah rumah sakit yang memerlukan peningkatan konsentrasi OH⁻ agar penguraian limbah lebih efisien.

Hidrogen peroksida berfungsi sebagai penyedia ion hidroksida, memainkan peran penting dalam degradasi kontaminan organik. Dalam proses Fenton yang diteliti, diilustrasikan pada Gambar 4, hanya terdapat 44% efisiensi dalam mengurangi nilai COD limbah yang terdeteksi pada rasio 7. Namun demikian, ketika rasio meningkat menjadi 10, terdapat peningkatan yang nyata dalam efisiensi pengurangan COD limbah, mencapai 89,07% yang mengesankan.

Sehubungan dengan perubahan kromatik pada spesimen limbah, pertama kali ditampilkan warna merah bata yang secara bertahap berkurang selama periode waktu tertentu. Selama 10 menit awal, sampel mengalami perubahan warna menjadi rona kemerahan, kemudian berubah menjadi rona coklat kekuningan pada menit ke-20 dan ke-30. Akibatnya, pada menit ke-40 dan ke-50, sampel memperoleh rona kecoklatan yang nyata. Pada akhirnya, setelah 60 menit berlalu, warnanya berubah menjadi kuning samar.

Penggabungan Fe²⁺ dan H₂O₂ menyebabkan penurunan intensitas kromatik yang semakin intensif. Radikal hidroksil, yang dihasilkan melalui interaksi antara ion besi (Fe²⁺) dan hidrogen peroksida (H₂O₂), terlibat dalam degradasi molekul pewarna, sehingga mengurangi ukurannya, seperti yang ditunjukkan oleh Fu dkk. pada tahun 2010.

Pigmen yang terkandung dalam limbah buatan ini tergolong pigmen turunan Azo. Pewarna azo dibedakan berdasarkan ikatan tertentu yang disebut sebagai ikatan rangkap nitrogen (-N=N-). Radikal hidroksil yang dihasilkan sebagai konsekuensi dari reaksi reagen Fenton secara selektif dan aktif menyerang ikatan gugus azo yang ada dalam molekul pewarna, sehingga menyebabkan penurunan intensitas warna secara bertahap, konsisten dengan pengamatan yang dilakukan oleh Tunç dkk. tahun 2012.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa reaksi Fenton mempunyai potensi yang cukup besar dalam pengolahan limbah industri sarung. pendekatan Fenton dalam menurunkan kadar COD limbah industri sarung sangat ditentukan oleh rasio COD/H₂O₂. Kondisi yang paling menguntungkan untuk mencapai efektivitas maksimum reaksi Fenton melibatkan lingkungan asam yang ditandai dengan tingkat pH 3

dan rasio COD/H₂O₂ sebesar 10 (g/g). Dengan memenuhi kriteria tersebut, reaksi Fenton mampu mencapai penurunan limbah COD secara signifikan sebesar 89,07% lebih efisien dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya. Rasio COD terhadap H₂O₂ yang tidak mencukupi mengakibatkan sedikit penurunan limbah COD karena kurangnya radikal OH, yang diperlukan untuk mendegradasi molekul organik. Sebaliknya, rasio COD/H₂O₂ yang terlalu tinggi tidak disarankan karena akan menambah biaya pengolahan limbah dan mengganggu analisis COD. Gangguan ini terjadi karena sisa hidrogen peroksida dapat bereaksi dengan kalium dikromat sehingga menyebabkan peningkatan nilai kebutuhan oksigen kimia (COD) limbah.

Hubungan simbiosis antara Fe²⁺ dan H₂O₂ memungkinkan penurunan intensitas kromatik yang lebih nyata. Interaksi antara ion besi (Fe²⁺) dan H₂O₂ mengganggu molekul pewarna yang sudah ada sebelumnya, sehingga mengurangi dimensinya. Radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi reagen Fenton secara khusus berfokus pada ikatan gugus azo di dalam molekul pewarna, yang menyebabkan penurunan intensitas kromatik secara stabil.

DAFTAR PUSTAKA

Referensi yang bersumber pada *journal publication*:

- Endang Widjajanti, Regina Tutik P, dan M. Pranjoto Utomo. Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA*, Universitas Negeri Yogyakarta, 2011.
- Hakika DC, Sarto S, Mindaryani A, Hidayat M. Decreasing COD in sugarcane vinasse using the fenton reaction : The effect of processing parameters. *Catalysts*. 2019; 9 (11): 881.
- Martini, S., Yuliwati, D., Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). pembuatan teknologi pengolahan limbah cair industri (Vol. 5, Issue 2).
- Setiawan, O., Sarto, Rochim B.C. Pengaruh pH Umpan dan Rasio COD/H₂O₂ terhadap Penurunan COD pada Limbah Cair Rumah Sakit Melalui Metode Fenton. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" ISSN 1693-4393 Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 2020.
- Riza Rizkiah, dan L. (2022). 388-Article Text-2294-2-10-20220329. Optimasi Pengolahan Limbah Cair Tekstil Menggunakan Metode Sono-Fenton, 4, 1–2.
- Tunç, S., Gürkan, T., & Duman, O. (2012). OnLine Spectrophotometric Method For The Determination Of Optimum Operation Parameters On The Decolorization Of Acid Red 66 And Direct Blue 71 From Aqueous

Solution By Fenton Process. *Chemical Engineering Journal*, 181, 431 - 442.

Vatanpour, V., Daneshvar, N., & Rasoulifard, M. H. (2009). *Electro-Fenton Degradation Of Synthetic Dye Mixture: Influence Of Intermediates. cell*, 15, 16.

Referensi yang bersumber pada conference publication:

Cetinkaya, S. G., Morcali, M. H., Akarsu, S., Ziba, C. A., & Dolaz, M. (2018). Comparison of classic Fenton with ultrasound Fenton processes on industrial textile wastewater. *Sustainable Environment Research*, 28(4), 165–170.

<https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.02.001>

Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. In *Current Pollution Reports* (Vol. 1, Issue 3, pp. 167–176). Springer.

<https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>

Ertugay N, Acar FN. Removal of COD and color from direct blue 71 azo dye wastewater by Fenton's oxidation: kinetic study. *Arabian Journal of Chemistry* 2017; 10: S1158–S1163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.02.009>.

Fu, F., Wang, Q., & Tang, B. (2010). Effective degradation of CI Acid Red 73 by advanced Fenton process. *Journal of hazardous materials*, 174(1-3), 17-22

Kang SF, Liao CH, Chen MC. Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process. *Chemosphere*. 2002; 46 (6): 923-928. DOI: 10.1016/s0045-6535(01)00159-x.

Qi, L., Lu, W., Tian, G., Sun, Y., Han, J., & Xu, L. (2020). Enhancement of sono fenton by p25-mediated visible light photocatalysis: Analysis of synergistic effect and influence of emerging contaminant properties. *Catalysts*, 10(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/catal10111297>