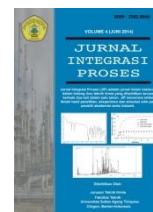




JURNAL INTEGRASI PROSES

Website: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>

Submitted : 11 February 2025

Revised : 28 April 2025

Accepted : 30 May 2025

PENGOLAHAN AIR LIMBAH *LAUNDRY* UNTUK MENURUNKAN PARAMETER PENCEMAR MENGGUNAKAN METODE FOTO-FENTON

Arrum Rinilam, Muhrinsyah Fatimura*, Rully Masriatini, Reno Fitriyanti

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang, Palembang, 30251, Indonesia

*Email: m.fatimura@univpgri-palembang.ac.id

Abstrak

Air limbah *laundry* perlu ditangani secara serius karena mengandung senyawa organik kompleks seperti detergen dan pewarna yang sulit terurai secara alami dan berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu metode untuk mengolah limbah tersebut adalah foto-Fenton yang dipilih karena memiliki waktu reaksi yang singkat, menggunakan reagen yang mudah diperoleh dan ramah lingkungan, serta prosesnya sederhana dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode foto-Fenton dalam menurunkan kandungan polutan pada air limbah *laundry*. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan pengujian terhadap beberapa parameter pencemar, yaitu TSS (*total suspended solids*), COD (*chemical oxygen demand*), BOD (*biochemical oxygen demand*), minyak dan lemak, serta surfaktan anionik. Hasil terbaik diperoleh pada rasio $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:20, dengan penurunan TSS sebesar 74,58%, COD sebesar 66,88%, BOD sebesar 72,41%, minyak dan lemak sebesar 93,64%, serta surfaktan anionik sebesar 76,69%. Air hasil pengolahan limbah *laundry* telah memenuhi baku mutu untuk TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, serta surfaktan anionik sesuai Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012.

Kata Kunci: Air limbah *laundry*; FeSO_4 ; Foto-Fenton; H_2O_2

Abstract

Laundry wastewater requires serious attention due to its content of complex organic compounds such as detergents and dyes, which are difficult to degrade naturally and pose a threat to the environment. One effective treatment method is the photo-Fenton process, selected for its short reaction time, easily accessible and environmentally friendly reagents, and a simple yet efficient procedure. This study aims to evaluate the effectiveness of the photo-Fenton method in reducing pollutants in laundry wastewater. The research was conducted experimentally by analysing several key pollution parameters, including total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), oil and grease, and anionic surfactants. The best result was obtained at a $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ ratio of 1:20, achieving reductions of 74.58% for TSS, 66.88% for COD, 72.41% for BOD, 93.64% for oil and grease, and 76.69% for anionic surfactants. The treated wastewater has met the quality standards for TSS, COD, BOD, oil and fat, and anionic surfactants per the South Sumatra Governor Regulation No. 8 of 2012.

Keywords: FeSO_4 ; H_2O_2 ; Laundry wastewater; Photo-Fenton

1. PENDAHULUAN

Pada era yang semakin maju, di mana masyarakat dituntut untuk melakukan kegiatan secara cepat mengakibatkan peningkatan signifikan dalam penggunaan layanan *laundry*, baik itu untuk kepentingan individu, bisnis skala kecil, hingga skala

besar. Layanan *laundry* menjadi pilihan praktis yang dapat memenuhi kebutuhan untuk merawat dan membersihkan pakaian.

Meskipun industri *laundry* memiliki peran penting dalam menyediakan layanan pembersihan dan perawatan pakaian, air limbah yang dihasilkan

mengandung senyawa organik kompleks seperti detergen dan pewarna. Senyawa organik ini memiliki potensi mencemari lingkungan.

Keberadaan polutan dalam air limbah *laundry* berpotensi merusak kualitas lingkungan, seperti air tanah, sungai, dan ekosistem sekitarnya. Apabila tidak ditangani dengan baik, kandungan seperti *total suspended solids* (TSS), *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD), minyak dan lemak (*oil and grease*), dan surfaktan anionik dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia. Hal ini juga dapat menjadi penyebab utama penurunan kadar oksigen terlarut, eutrofikasi, bahkan kematian organisme air. Selain itu, residu surfaktan bersifat toksik dan dapat mengganggu sistem hormonal organisme air, serta menghambat proses fotosintesis tumbuhan air.

Surfaktan anionik merupakan salah satu komponen utama dalam produk pembersih seperti detergen dan sabun. Senyawa ini sering kali terbawa ke lingkungan perairan melalui air limbah domestik dan *laundry*. Keberadaan surfaktan anionik dalam air limbah dapat menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Senyawa ini diketahui mampu menurunkan kadar oksigen terlarut, meracuni organisme akuatik, mengganggu proses reproduksi, bahkan menyebabkan kematian biota air. Selain itu, surfaktan juga dapat merusak struktur habitat dan mengganggu keseimbangan ekosistem secara menyeluruh (Handayani, 2020).

Sudah banyak metode yang digunakan untuk mengatasi pencemaran air limbah *laundry*, salah satunya adalah fitoremediasi. Penelitian yang dilakukan oleh Jubaidi et al., (2022) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kiambang (*Salvinia molesta*) mampu menurunkan kadar COD sebesar 88,89%, namun efektivitasnya dalam menurunkan TSS masih terbatas, yakni hanya sebesar 17,12 dan 18,02% dalam waktu 15 hari. Metode lain menggunakan karbon aktif dan zeolit tak teraktivasi sebagaimana diteliti oleh Apriyani & Novrianti, (2020) serta Nasir & Titah (2024) menunjukkan penurunan kadar TDS, namun justru meningkatkan kadar surfaktan, yang berpotensi membahayakan lingkungan.

Metode pengolahan air limbah konvensional seperti fitoremediasi, filtrasi, dan adsorpsi memang populer karena memiliki kelebihan seperti biaya rendah dan penerapan yang mudah. Namun, kelemahan utama dari metode ini adalah kurang efektifnya dalam menguraikan senyawa organik kompleks seperti detergen dan zat pewarna yang sering ditemukan dalam limbah *laundry*. Proses biodegradasi dalam fitoremediasi prosesnya berjalan cukup lambat dan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti suhu, pH, dan keberadaan mikroorganisme. Selain itu, metode adsorpsi dengan karbon aktif atau zeolit dapat menghasilkan limbah padat (residu) yang memerlukan penanganan lebih lanjut dan beberapa senyawa surfaktan masih sulit dihilangkan secara menyeluruh (Apriyani & Novrianti, 2020). Metode pengolahan air limbah konvensional

tersebut mungkin tidak cukup efektif untuk mengurai senyawa organik kompleks yang ada dalam air limbah *laundry*. Keterbatasan ini menyebabkan metode konvensional kurang optimal dalam memenuhi standar baku mutu air limbah secara cepat dan efektif. Sebagai upaya untuk menjawab keterbatasan metode konvensional, dibutuhkan alternatif pengolahan yang memiliki efisiensi tinggi dan efektivitas yang lebih baik, salah satu teknologi yang menjanjikan adalah proses foto-Fenton.

Metode foto-Fenton merupakan salah satu teknologi *advanced oxidation process* (AOPs) yang memanfaatkan reaksi antara hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ion besi (Fe^{2+}) yang dipicu oleh sinar ultraviolet (UV) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($OH^\bullet$) yang sangat reaktif. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam menguraikan senyawa organik kompleks secara cepat dan efektif, termasuk detergen dan pewarna yang sulit diuraikan oleh metode konvensional (Oki & Widayanti, 2023). Proses foto-Fenton juga relatif ramah lingkungan karena menghasilkan produk akhir yang lebih aman dan dapat diterapkan dalam waktu yang lebih efisien bila dibandingkan dengan metode oksidasi lanjutan lainnya. Selain itu, bahan yang digunakan seperti Fe^{2+} dan H_2O_2 mudah didapatkan, tergolong ramah terhadap lingkungan dan memiliki tahapan pelaksanaan yang sederhana (Baldha & Srilatha, 2024), serta biaya operasionalnya terjangkau. Reaksi Fenton terbukti ampuh dalam mereduksi senyawa pencemar dalam air limbah, serta menghasilkan produk akhir yang cenderung tidak toksik atau minim racun. Oleh karena itu, metode ini menjadi salah satu pendekatan yang prospektif dalam pengolahan limbah cair secara berkelanjutan (Setiawan & Widayanti, 2023).

Namun demikian, metode foto-Fenton juga memiliki beberapa kelemahan, seperti kebutuhan pengaturan kondisi operasi yang ketat, termasuk pH larutan dan dosis reagen yang optimal (Rais & Setiawan, 2024). Penggunaan sinar UV mungkin dapat meningkatkan biaya investasi awal.

Metode Fenton sendiri telah banyak digunakan dalam pengolahan berbagai jenis limbah cair. Penelitian oleh Sari et al. (2021) menerapkan metode Fenton pada air limbah industri kelapa sawit dan menunjukkan efektivitas penurunan kekeruhan dan warna, meskipun nilai TDS cenderung meningkat pada dosis reagen tertentu. Sementara itu, Rais & Setiawan (2024) menerapkan metode Fenton untuk limbah cair industri sarung dan berhasil menurunkan nilai COD sebesar 89,07% pada rasio H_2O_2 /COD 10 dan pH 3, dengan dekolorisasi signifikan terhadap zat warna azo yang bersifat karsinogenik.

Penelitian dengan topik serupa sebelumnya telah dilakukan oleh Oki & Widayanti (2023) yang menggunakan metode Fenton konvensional untuk mengolah air limbah *laundry* rumah tangga. Fokus utama penelitian tersebut terletak pada optimasi rasio reagen H_2O_2 terhadap COD dan Fe^{2+} , dengan hasil terbaik berupa efisiensi penurunan COD sebesar 84% pada rasio H_2O_2/Fe^{2+} sebesar 5:1. Namun, penelitian tersebut belum melibatkan aktivasi cahaya maupun

variasi parameter lain selain COD, serta belum mencakup evaluasi terhadap zat-zat aktif lain seperti surfaktan anionik, minyak dan lemak, atau BOD yang juga terkandung dalam limbah *laundry*.

Berbeda dengan itu, penelitian ini menggunakan pendekatan metode foto-Fenton, yaitu kombinasi reagen Fenton dengan paparan sinar UV-C, yang terbukti mampu meningkatkan produksi radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) dan mempercepat degradasi senyawa organik kompleks. Penelitian ini juga mengkaji parameter yang lebih lengkap seperti, TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, serta surfaktan anionik, dengan tujuan untuk memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012. Variasi rasio molar $\text{FeSO}_4\text{:H}_2\text{O}_2$ juga diuji untuk menentukan efisiensi terbaik. Dengan demikian, penelitian ini memiliki kebaruan dari sisi metode (penggunaan aktivasi UV dalam sistem foto-Fenton), perluasan parameter uji, serta konteks aplikasi yang lebih luas pada limbah *laundry* UMKM yang belum banyak diteliti.

2. BAHAN DAN METODE

Beberapa bahan utama yang digunakan dalam proses ini mencakup besi(II)sulfat (FeSO_4) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai penyusun reagen Fenton, serta lampu UV-C jenis tabung berdaya 9 watt yang digunakan sebagai sumber radiasi.

2.1 Pembuatan Reagen Fenton

Reagen Fenton diperoleh dengan mencampurkan FeSO_4 dan H_2O_2 pada beberapa rasio molar, meliputi 1:5, 1:10, 1:15, dan 1:20.

2.2 Metode Foto-Fenton

Sebanyak 1.000 mL sampel air limbah *laundry* dengan pH 9 dan suhu 30°C dimasukkan ke dalam gelas beaker. Larutan asam (H_2SO_4) ditambahkan agar pHnya menjadi 3. Kondisi asam diperlukan untuk mengaktifkan reaksi Fenton agar menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) secara optimal. Reagen Fenton ditambahkan sebanyak 10 mL dengan perbandingan molar 1:5, 1:10, 1:15, dan 1:20. Sampel air limbah *laundry* diaduk selama 2 menit dengan *magnetic stirrer*, lalu dipaparkan dengan sinar UV-C selama 240 menit. Sampel air limbah *laundry* kemudian disaring dengan kertas saring. Sampel ini dianalisis kadar TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, serta surfaktan anioniknya.

2.3 Analisis Parameter

TSS dianalisis menggunakan metode ASTM D 3341, BOD menggunakan metode SMPA 5210 B, COD menggunakan metode ASTM D 1252, minyak dan lemak dianalisis dengan metode APHA 137 dan surfaktan anionik menggunakan metode MBAS SNI 06-6989.51-2005.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel dalam penelitian ini berasal dari air limbah kegiatan *laundry* yang berlokasi di wilayah Palembang, Provinsi Sumatera Selatan. Limbah air *laundry* yang digunakan sebagai sampel pertama selanjutnya

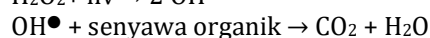
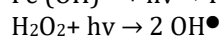
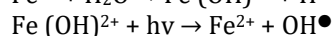
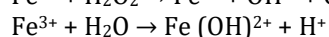
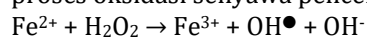
digunakan sebagai acuan untuk perbandingan dengan sampel lainnya yang telah diolah dengan metode foto-Fenton. Tabel 1 menunjukkan hasil analisis parameter untuk setiap variasi.

Tabel 1. Data hasil analisis parameter uji

Parameter	Sampel	Baku mutu*	Perbandingan reagen Fenton			
			1:5	1:10	1:15	1:20
TSS (mg/L)	177	60	143	112	98	45
COD (mg/L)	314	180	286	288	148	104
BOD (mg/L)	148	75	76	52	56	40
Minyak Lemak (mg/L)	5,678	15	5,027	1,891	1,327	0,361
MBAS (mg/L)	9,388	3	3,849	4,264	2,943	2,188

*Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012

Proses foto-Fenton bekerja dengan menggabungkan larutan FeSO_4 dan H_2O_2 dalam kondisi asam (pH rendah) serta disinari sinar UV-C. Sinar UV memicu pemecahan H_2O_2 yang lebih cepat sehingga terbentuk radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$), yang merupakan oksidator kuat terhadap senyawa organik. Radikal ini kemudian menyerang ikatan karbon dalam molekul organik kompleks seperti surfaktan, pewarna, minyak, dan bahan pencemar lainnya, sehingga menurunkan nilai TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, serta surfaktan. Menurut Ahmed et al. (2024), serangkaian reaksi dalam sistem ini memicu terbentuknya radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) yang sangat reaktif, sehingga mempercepat proses oksidasi senyawa pencemar.

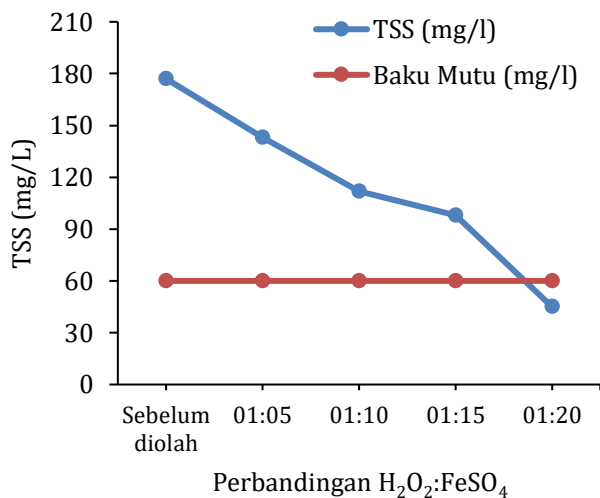


Efektivitas pengolahan meningkat seiring dengan kenaikan rasio H_2O_2 , namun konsentrasi FeSO_4 yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan efektivitas karena terbentuknya endapan lumpur besi dan reaksi *scavenging*, yakni reaksi samping yang mengonsumsi radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$), sehingga menurunkan efisiensi oksidasi.

3.1 Analisis TSS Air Limbah Laundry

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa kadar TSS awal sebesar 177 mg/L menunjukkan bahwa air limbah *laundry* belum memenuhi baku mutu ($< 60 \text{ mg/L}$). Setelah dilakukan pengolahan, terjadi penurunan TSS yang signifikan, dengan nilai terbaik sebesar 45 mg/L pada rasio $\text{FeSO}_4\text{:H}_2\text{O}_2$ 1:20. Penurunan ini disebabkan oleh penguraian partikel tersuspensi dan proses flokulasi yang dibantu oleh ion Fe^{3+} hasil oksidasi. Hasil

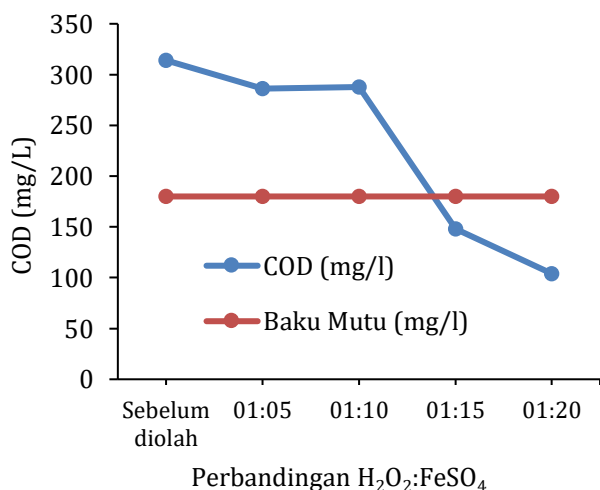
ini sejalan dengan penelitian Sari et al. (2021) pada limbah cair industri sawit yang menunjukkan penurunan kekeruhan setelah perlakuan Fenton. Hal ini membuktikan bahwa metode foto-Fenton mampu memperbaiki kualitas visual dan fisik air limbah secara signifikan.



Gambar 1. Pengaruh rasio $H_2O_2:FeSO_4$ terhadap TSS

3.2 Analisis COD Air Limbah Laundry

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kadar COD mengalami penurunan yang signifikan setelah pengolahan menggunakan metode foto-Fenton, terutama pada rasio reagen $FeSO_4:H_2O_2$ sebesar 1:20. Pengolahan ini berhasil menurunkan kadar COD hingga memenuhi ambang batas kualitas sesuai ketentuan dalam Pergub Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012, menunjukkan bahwa proses oksidasi lanjutan yang dikombinasikan dengan paparan sinar UV-C mampu menguraikan senyawa organik kompleks secara efektif.



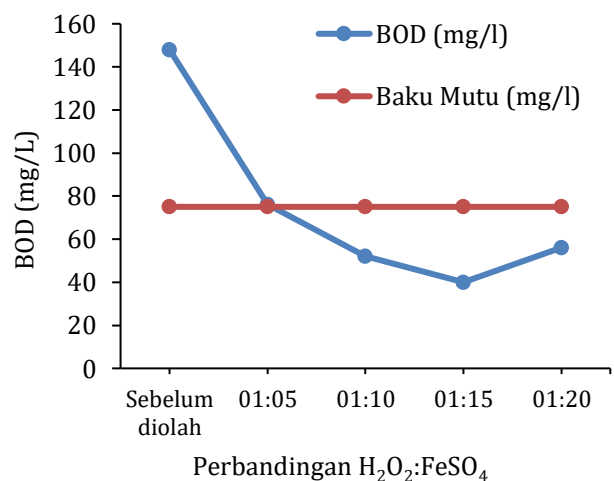
Gambar 2. Pengaruh rasio $H_2O_2:FeSO_4$ terhadap COD

Pada parameter COD, penelitian ini menunjukkan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 66,88% pada rasio reagen Fenton $Fe^{2+}:H_2O_2$ sebesar 1:20. Nilai efisiensi yang diperoleh dalam penelitian ini belum melampaui capaian studi Rais & Setiawan (2024), yang berhasil mencapai tingkat efektivitas sebesar 89,07% pada limbah industri sarung. Perbedaan ini

kemungkinan disebabkan oleh perbedaan karakteristik limbah, di mana limbah industri *laundry* memiliki kandungan detergen yang kompleks dan lebih sulit dioksidasi dibanding limbah tekstil. Selain itu, rasio reagen Fenton terhadap polutan juga dapat menjadi penyebab, karena penelitian tersebut menggunakan pendekatan berdasarkan rasio COD/ H_2O_2 sebesar 10 g/g, sementara penelitian ini hanya mengatur berdasarkan rasio antara Fe^{2+} dan H_2O_2 , bukan terhadap konsentrasi polutan, yang bisa menyebabkan pembentukan radikal hidroksil tidak maksimal.

3.3 Analisis BOD Air Limbah Laundry

Pada Gambar 3 dapat dilihat BOD₅ awal sebesar 148 mg/L menurun hingga 40 mg/L pada rasio 1:20, dengan penurunan signifikan mulai terlihat sejak rasio 1:10. Hal ini menunjukkan bahwa metode foto-Fenton tidak hanya mengoksidasi senyawa organik, tetapi juga meningkatkan biodegradabilitas air limbah. Penurunan BOD ini mengindikasikan bahwa proses oksidasi yang terjadi melalui radikal hidroksil ($OH^\bullet$) berhasil menguraikan senyawa organik *biodegradable* yang menjadi penyumbang beban oksigen biologis dalam air.



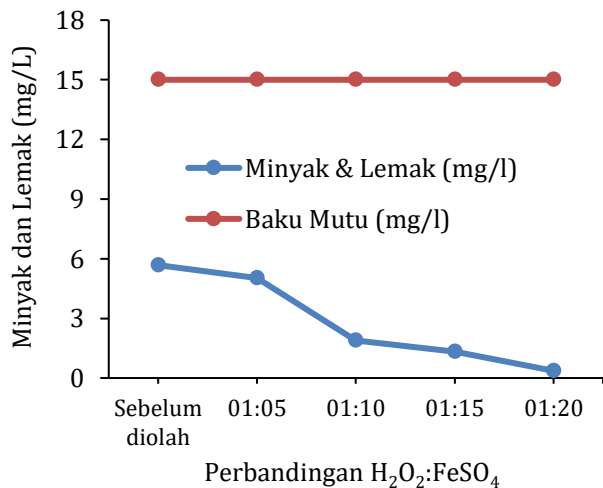
Gambar 3. Pengaruh rasio $H_2O_2:FeSO_4$ terhadap BOD

Pada parameter BOD, penelitian ini menunjukkan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 72,41% pada rasio reagen Fenton 1:20, sedangkan penelitian Lesa et al. (2020) mencatat efisiensi lebih tinggi, yaitu 88%, dengan metode foto-Fenton secara resirkulasi. Selisih sebesar 15,59% diakibatkan beberapa variabel yang turut berkontribusi terhadap perbedaan ini, salah satunya jenis limbah, di mana penelitian ini menggunakan limbah *laundry* yang mengandung surfaktan kompleks, sedangkan pada penelitian Lesa et al. (2020) mengolah air lindi yang lebih kaya senyawa organik mudah terurai. Selain itu, penggunaan sistem resirkulasi dalam penelitian tersebut meningkatkan efisiensi pembentukan radikal hidroksil. Hasil ini sejalan dengan pernyataan Babuponnusami & Muthukumar (2014) bahwa rasio reagen yang seimbang menghasilkan jumlah radikal hidroksil yang cukup untuk mendegradasi senyawa organik. Oleh karena itu, meskipun sama-sama efektif, efisiensi

proses sangat dipengaruhi oleh karakteristik limbah, rasio reagen, dan desain sistem reaksi.

3.4 Analisis Minyak & Lemak Air Limbah Laundry

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa kadar minyak & lemak sebelum pengolahan tercatat sebesar 5,678 mg/L, masih berada di bawah batas baku mutu sebesar 15 mg/L menurut Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012. Setelah pengolahan dengan metode foto-Fenton, terjadi penurunan signifikan hingga mencapai kadar optimal sebesar 0,361 mg/L pada rasio reagen $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:20.



Gambar 4. Pengaruh rasio $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ terhadap kadar minyak & lemak

Pada penelitian ini, penurunan minyak dan lemak berhasil mencapai efisiensi penyisihan 93,64% pada rasio $\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:20. Menurut Wahyuni et al. (2019), keberhasilan proses foto-Fenton dalam menurunkan kandungan minyak dan lemak berkaitan dengan pembentukan radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) dalam jumlah tinggi, yang berfungsi sebagai oksidator kuat untuk memecah senyawa organik dalam limbah cair laundry. Penggunaan cahaya meningkatkan pembentukan radikal hidroksil yang efektif menguraikan minyak dan lemak.

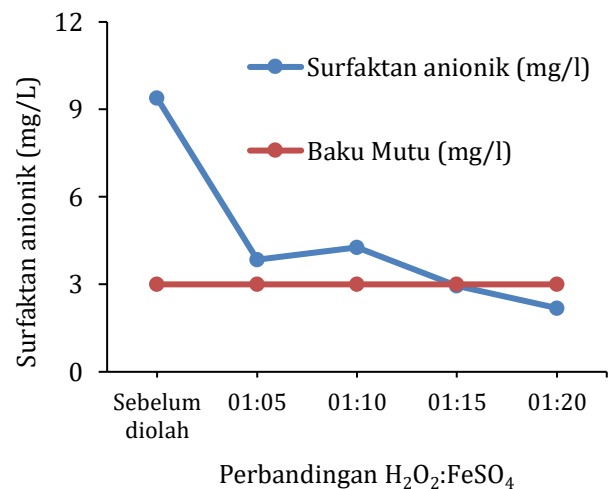
Namun, efisiensi ini masih lebih rendah dibandingkan penelitian Ayoub (2022) yang mencapai 99,8% dengan metode Fenton konvensional pada limbah minyak goreng. Perbedaan ini bisa disebabkan karena limbah minyak goreng cenderung memiliki kandungan minyak dan lemak yang lebih sederhana dan mudah diurai, sedangkan limbah laundry memiliki komposisi yang lebih kompleks karena mengandung surfaktan dan bahan organik lain yang dapat menghambat proses oksidasi dan dapat juga disebabkan pengaturan parameter proses yang lebih sederhana dalam penelitian ini.

3.5 Analisis Surfaktan Anionik Air Limbah Laundry

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa kadar surfaktan anionik pada air limbah laundry sebelum pengolahan tercatat sebesar 9,388 mg/L, jauh di atas batas baku mutu yang ditetapkan Peraturan Gubernur

Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012, yaitu 3 mg/L. Setelah pengolahan menggunakan metode foto-Fenton, terjadi penurunan signifikan hingga mencapai kadar optimal 2,188 mg/L pada rasio $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:20.

Penurunan ini terjadi akibat peningkatan jumlah radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) yang terbentuk dari reaksi antara FeSO_4 dan H_2O_2 , yang dipercepat oleh paparan sinar UV-C. Radikal hidroksil ini berperan sebagai oksidator kuat yang mampu menghancurkan senyawa surfaktan anionik dalam limbah laundry secara efektif. Rasio 1:20 dianggap optimal karena memberikan keseimbangan ideal antara konsentrasi Fe^{2+} dan H_2O_2 , sehingga memaksimalkan pembentukan radikal hidroksil tanpa menimbulkan efek *scavenging* yang mengurangi efisiensi oksidasi.

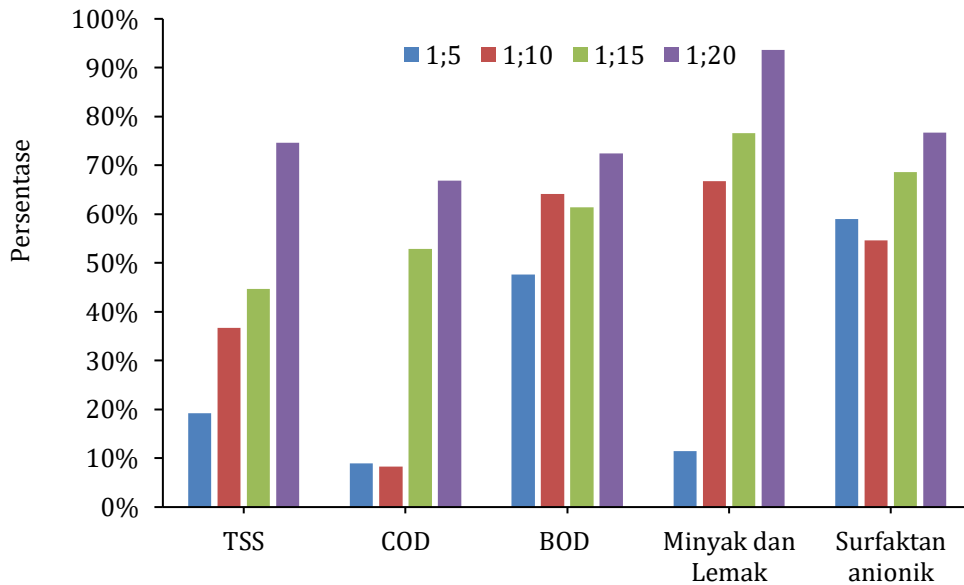


Gambar 5. Pengaruh rasio $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ terhadap kadar surfaktan anionik

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode foto-Fenton mampu menurunkan kadar surfaktan anionik sebesar 76,69%. Meskipun hasil ini lebih rendah dibandingkan penelitian Rizki & Agung (2020) yang melaporkan efisiensi penyisihan LAS sebesar 97–99% menggunakan kombinasi fotokatalis dan foto-Fenton, terdapat beberapa kemungkinan penyebab perbedaan tersebut. Jenis surfaktan dalam penelitian ini merupakan campuran surfaktan anionik, sedangkan pada penelitian Rizki & Agung (2020) menggunakan LAS secara spesifik, yang struktur kimianya relatif lebih mudah terurai. Selain itu, tidak digunakannya fotokatalis tambahan dalam sistem ini juga dapat mempengaruhi efisiensi degradasi karena jumlah radikal hidroksil yang terbentuk lebih terbatas. Faktor lain seperti rasio molar Fe^{2+} terhadap H_2O_2 , kondisi pH, serta karakteristik limbah yang digunakan juga turut memengaruhi hasil.

3.6 Persentase Perbandingan Reagen Fenton

Gambar 6 menunjukkan efektivitas proses foto-Fenton dalam mengolah air limbah laundry yang terlihat dari kemampuannya menurunkan berbagai parameter pencemar, seperti TSS, COD, BOD, kandungan minyak dan lemak, serta surfaktan anionik. Metode ini memanfaatkan interaksi antara reagen FeSO_4 dan H_2O_2 yang diaktivasi oleh sinar UV-C,



Gambar 6. Pengaruh rasio $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ terhadap parameter uji

sehingga mempercepat pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) melalui proses dekomposisi H_2O_2 menghasilkan oksidator kuat berupa radikal hidroksil ($\text{OH}\bullet$) (Setyaingtyas et al., 2018). Radikal hidroksil ini mampu mendegradasi senyawa organik dalam air limbah *laundry*. Hal ini juga terlihat pada variasi rasio FeSO_4 terhadap H_2O_2 perbandingan 1:20 adalah yang paling baik dalam pengolahan air limbah *laundry*. Pada parameter yang diuji telah memenuhi ambang batas sesuai regulasi yang tercantum dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. Rasio molar 1:20 menghasilkan konsentrasi FeSO_4 terendah, namun justru memberikan efisiensi tertinggi dalam penurunan lima parameter utama. Hal ini disebabkan oleh tingginya frekuensi reaksi antara ion Fe^{2+} dan H_2O_2 , yang menghasilkan lebih banyak radikal hidroksil ($\text{OH}\bullet$) sebagai agen oksidasi utama.

Metode foto-Fenton terbukti efektif dalam menurunkan berbagai parameter pencemar pada air limbah *laundry*. Namun, efektivitas tersebut perlu dianalisis lebih lanjut dari sisi teknis dan kelayakan implementasi. Salah satu tantangan utama dari metode ini adalah kebutuhan energi listrik tambahan untuk mengoperasikan sumber cahaya UV. Hal ini tentu berimplikasi pada peningkatan biaya operasional, terutama bila diterapkan dalam skala besar. Efisiensi energi menjadi aspek penting yang harus dipertimbangkan dalam desain sistem pengolahan.

Selain itu, proses foto-Fenton menghasilkan lumpur besi ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) sebagai produk samping yang memerlukan penanganan khusus. Jika tidak dikelola dengan baik, lumpur ini dapat menimbulkan masalah pencemaran sekunder serta meningkatkan kompleksitas pengoperasian instalasi.

Metode ini juga sensitif terhadap rasio antara reagen H_2O_2 dan Fe^{2+} . Ketidakseimbangan rasio dapat memicu efek *scavenging*, yaitu reaksi samping yang justru menghambat pembentukan radikal hidroksil yang dibutuhkan untuk oksidasi. Oleh karena itu,

pengaturan dosis dan kondisi operasi harus dirancang secara cermat untuk mencapai hasil optimal.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan energi tambahan, potensi residu lumpur, serta sensitivitas reaksi terhadap komposisi reagen, penerapan metode foto-Fenton perlu dikaji secara menyeluruh. Pemilihan metode pengolahan harus mempertimbangkan keseimbangan antara efektivitas teknis, efisiensi energi, dan kemudahan operasional.

4. KESIMPULAN

Metode foto-Fenton terbukti efektif menurunkan kadar pencemar air limbah *laundry*. Hasil terbaik pada rasio reagen $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ sebesar 1:20. Penurunan tertinggi dicapai pada parameter minyak dan lemak (93,64%), diikuti oleh TSS (74,58%), BOD (72,41%), surfaktan anionik (76,69%), dan COD (66,88%). Semua parameter telah memenuhi baku mutu yang diatur dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012. Meskipun hasil ini menunjukkan efektivitas yang baik, capaian yang diperoleh masih sedikit lebih rendah dibandingkan beberapa studi sebelumnya yang menggunakan kondisi operasi berbeda. Hal ini menegaskan pentingnya karakteristik limbah serta pengaturan reagen terhadap hasil akhir proses. Metode ini tetap layak dipertimbangkan sebagai alternatif pengolahan limbah skala kecil hingga menengah, karena menggunakan bahan yang mudah didapat dan proses yang ramah lingkungan. Namun, untuk penerapan skala besar, perlu memperhatikan konsumsi energi UV dan pengelolaan lumpur hasil reaksi agar tetap efisien dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Gogina, E., & Makisha, N. (2024). Photodegradation of phenol using UVC-activated persulfate and chelated-Fe(III) combined system: RSM modeling, mechanism, effect of coexisting ions, and effect of heavy species. *Journal of Water Process Engineering*, 60, 105104.

- <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105104>
 Apriyani, N., & Novrianti, N. (2020). Penggunaan karbon aktif dan zeolit tak teraktivasi dalam alat penyaring air limbah laundry. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 66–76. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i1.8240>
- Ayoub, M. (2022). Fenton process for the treatment of wastewater effluent from the edible oil industry. *Water Science And Technology*, 86(6), 1388–1401. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.283>
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557–572.
- Baldha, M., & Srilatha, K. (2024). Fenton process for removing organic pollutants from industrial wastewater. 14(10), 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-14107378>
- Handayani, L. (2020). Pengaruh kandungan deterjen pada limbah rumah tangga terhadap kelangsungan hidup udang galah (*Macrobrachium Rosenbergii*). *Sebatik*, 24(1), 75–80. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v24i1.937>
- Jubaidi, J., Maulana, I., & Ihwan Saputra, A. (2022). Fitoremediasi COD Dan TSS menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipess*) dan kiambang (*Salvinia Molesta*) pada limbah laundry. *Jurnal Sanitasi Profesional Indonesia*, 3(2), 63–71. <https://doi.org/10.33088/jspi.3.2.63-71>
- Lesi, W. S., Ali, M., & Rosariawari, F. (2020). Proses foto Fenton dalam reaktor resirkulasi untuk menyisihkan beban pencemar pada lindi. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1).
- Nasir, F. N., & Titah, H. S. (2024). The use of granular activated carbon and zeolite as an adsorbent to reduce the concentration of phosphate, chemical oxygen demand and total suspended solid in laundry wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, 25(4), 170–183. <https://doi.org/10.12911/22998993/184089>
- Oki, S., & Widayanti, E. Q. (2023). Pengolahan limbah laundry dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu. 11(101), 71–77.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. (N.D.).
- 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.
- Rizki, M. N., & Agung, T. (2020). Kombinasi AOPs (Advanced Oxidation Processes) fotokatalis-fotoFenton dalam mendegradasi surfaktan las (linier alkylbenzene sulfonate) pada limbah laundry. *Prosiding Esec*, 2, 114–120.
- Sari, D. N., Amelia, D., Ramadhon, M. D., & Tiandho, Y. (2021, December). Pemanfaatan metode Fenton dalam pengolahan limbah cair industri sawit. In *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service* (Vol. 5, pp. 145–148).
- Setiawan, O., & Widayanti, E. Q. (2023). Pengolahan limbah laundry dengan metode Fenton. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 11(2), 71–77.
- Setyaingtyas, T., Riyani, K., Dwiasi, D. W., & Rahayu, E. B. (2018). Degradasi fenol pada limbah cair batik menggunakan reagen Fenton dengan sinar UV. *Jurnal Kimia Valensi*, 4(1), 26–33. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i1.7054>
- Wahyuni, E. T., Supraba, D., Raharjo, S., & Siswanta, D. (2019). A study on photo-Fenton method for simultaenous and synergic decreasing concentration of Pb(II) and Cu(II) in the solution. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(5), 192–199. <https://doi.org/10.14710/jksa.22.5.192-199>