

STUDI EFEKTIVITAS PROSES FOTO FENTON DALAM MENURUNKAN ANGKA BAKTERI *COLIFORM* DI SUNGAI MARUNI KABUPATEN MANOKWARI

Study of The Effectiveness of The Foto Fenton Process in Reducing The Number of Coliform Bacteria in The Maruni River by Manokwari District

Aulia Ekamala Wakang¹, Markus Heryanto Langsa^{1*}, Jacson Victor Morin¹

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Papua, Manokwari, 98314, Indonesia
Jalan Gunung Salju Amban, Manokwari

Email korespondensi: m.langsa@unipa.ac.id

ABSTRACT

The problem of clean water is still a thing that is often found in some areas, so that an appropriate water treatment is needed. Foto fenton is a method of water treatment with Advanced Oxidation Process (AOPs) between fenton reagent (Fe^{2+}/H_2O_2) and UV radiation which is able to reduce the concentration of contaminant and kill microorganism in water. The main objective of this study was to determine the effect of irradiation power and irradiation time in reducing the number of Coliform bacteria using the Foto fenton method in Maruni River Manokwari Regency which is indicated to contain total Coliform that exceed the quality criteria. The results obtained indicate that after foto fenton process, the number of Coliform bacteria in the sample experienced a drastic decrease from the initial number of bacteria >1600/100 mL MPN to 0/100 mL MPN (meet the water quality criteria of 0/100 mL) under optimum conditions namely at 10 Watt power irradiation and time irradiation during 30 minutes. Beside decrease number of bacteria Coliform the Fe^{2+} content in the added sample also decreased so it did not damage the water quality.

Keywords: Foto fenton, Coliform bacteria, Maruni river.

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat melimpah dan memiliki banyak manfaat bagi kehidupan makhluk hidup. Di Indonesia, air sungai memegang peranan penting dalam kebutuhan air sehari-hari bagi masyarakat. Pulau papua tercatat memiliki ketersediaan air permukaan (sungai) terbesar di Indonesia sebesar 29 % (Radhika *et al*, 2017).

Salah satu sungai yang berada di pulau papua yaitu Sungai Maruni yang terletak di Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat dan digunakan oleh PDAM untuk distribusi air bersih kepada masyarakat. Akan tetapi, Sungai Maruni diindikasikan mengandung Total *Coliform*

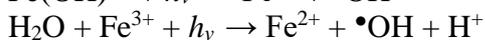
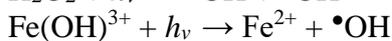
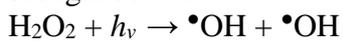
yang tidak memenuhi kriteria mutu air kelas I (Langsa *et al*, 2019).

Bakteri *Coliform* merupakan bakteri indikator adanya pencemaran air dan organisme patogen lainnya yang hidup dalam saluran pencernaan manusia ataupun jasad makhluk hidup. Bakteri *Coliform* berbentuk batang yang termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae*, bersifat aerob, dan bakteri jenis gram negatif. Kontaminasi bakteri *Coliform* pada manusia dapat menimbulkan penyakit seperti diare, gagal ginjal, bahkan kanker. Umumnya faktor utama penyebab kontaminasi bakteri *Coliform* pada manusia yaitu melalui air. Air yang

tercemar oleh bakteri biasanya dilakukan disinfeksi.

Disinfeksi adalah proses untuk membunuh atau memusnahkan mikroorganisme bersifat patogen. Terdapat berbagai jenis metode disinfeksi yang digunakan untuk mendisinfeksi air salah satunya yaitu Foto fenton. Foto fenton adalah salah satu metode pengolahan air dengan *AOPs* yang mampu mengurangi konsentrasi kontaminan dan membunuh mikroorganisme dalam air. Foto fenton merupakan perpaduan proses antara radiasi sinar UV dan reaksi fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) (Kris *et al*, 2020). Kelebihan dari metode foto fenton yaitu adanya radikal hidroksil sebagai oksidator kuat ($E^\circ = +2,8 \text{ V}$) yang dapat merusak kontaminan dalam air, membunuh mikroorganisme, prosesnya tidak membentuk senyawa berbahaya, bahkan memiliki efek oksidator lebih baik dibandingkan kaporit ($E^\circ = +1,5 \text{ V}$) (Setiawan, 2013).

Keberadaan radiasi sinar UV berfungsi dalam meningkatkan proses pembentukan radikal hidroksil dengan mendekomposisi H_2O_2 dan mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} . Sedangkan, Fe^{2+} bertindak sebagai katalis dalam bentuk garamnya. Adapun reaksi foto fenton sebagai berikut :



Dalam mendisinfeksi bakteri, metode foto fenton akan lebih efektif dalam menginaktivasi terhadap bakteri jenis gram negatif dibandingkan gram positif (Rodriguez, 2013). Ada beberapa parameter yang mempengaruhi proses foto fenton yaitu pH larutan, suhu, konsentrasi reagen, dan tingkat penyinaran.

Proses foto fenton akan lebih optimum pada pH asam dikarenakan nilai potensial oksidator pada radikal hidroksil menurun ketika pH meningkat. Tetapi, dalam beberapa penelitian terbaru membuktikan bahwa inaktivasi bakteri

Coliform dengan foto fenton dapat dilakukan dengan pH mendekati netral berkisar 6 – 9 (Kris *et al*, 2020).

Pada proses foto fenton, kenaikan suhu akan mendorong efek katalitik dari radikal hidroksil sehingga proses disinfeksi lebih efisien dibandingkan kinerja dari konsentrasi reagen besi. Ketika konsentrasi reagen besi lebih besar dibandingkan konsentrasi reagen hidrogen peroksida, maka akan menyebabkan efek kejenuhan radikal hidroksil yang mendorong besi terflokulasi dalam bentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Hal ini akan membuat pembentukan radikal hidroksil pada proses foto fenton tidak maksimal.

Di lain sisi, tingkat penyinaran UV atau tingkat iradiasi memiliki peran yang sangat penting dalam mengkatalis pembentukan radikal hidroksil dan dapat bekerja langsung dalam menginaktivasi bakteri. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nahim *et al* (2018), bakteri *E.coli* dapat terinaktivasi dengan daya iradiasi 10, 20, 30, 40, dan 50 W/m^2 . Menggunakan H_2O_2 10 ppm dan Fe^{2+} 5 ppm. Sedangkan pada limbah domestik, bakteri *E.coli* terinaktivasi pada tingkat iradiasi 200 – 500 W/m^2 pada menit ke 10 – 20 (Topac *et al*, 2016). Terkhusus mengenai komponen air permukaan (sungai) maupun air tanah, studi penggunaan metode foto fenton harus dilakukan kajian yang mendalam terkait bagaimana pengaruh proses foto fenton setelah *treatment* terhadap kualitas air.

Tujuan utama dari studi foto fenton pada air Sungai Maruni adalah untuk mengetahui efektivitas dari proses foto fenton dalam menurunkan angka bakteri *Coliform*. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini difokuskan pada :

- a. Menentukan daya iradiasi dan waktu penyinaran optimum pada proses foto fenton dalam menurunkan angka bakteri *Coliform* pada air Sungai Maruni.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu seperangkat reaktor foto fenton dilengkapi lampu UV tipe C, *magnetic stirrer*, erlenmeyer, botol sampel, spektrofotometer UV-Vis, gelas beaker, gelas ukur, pipet volume, mikropipet, tabung reaksi, rak tabung, tabung durham, jarum ose, bunsen, *Laminar Air Flow* (LAF), dan inkubator.

Bahan yang digunakan yaitu sampel air Sungai Maruni, Hidrogen peroksida (H_2O_2), Besi (II) sulfat pentahidrat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), Aquades, Spirtus, Media *Lactose Broth* (LB), dan Media *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB).

Pengambilan Sampel

Proses sampling dilakukan sesuai dengan metode SNI 6989.57:2008 tentang metode pengambilan air permukaan. Adapun titik koordinat lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Titik Pengambilan Sampel

Lokasi Sampel	Titik Koordinat
Sampel A	0°59'38"S 134°01'39"E
Sampel B	1°00'02"S 134°01'14"E

Analisis Parameter Biologi

Penentuan kadar Bakteri *Coliform* mengacu pada SNI ISO 7251:2012 dengan teknik *Most Probable Number* (MPN) seri 5 tabung. Teknik uji MPN *Coliform* meliputi uji praduga dan uji penegasan.

1. Uji praduga

Siapkan 5 buah tabung berisi 10 mL media LB (*Lactose Broth*) *double strength* dan 10 buah tabung berisi 5 mL media LB *single strength*. Sampel dikocok dengan kuat supaya homogen, kemudian dimasukan secara aseptik masing-masing 10 mL sampel ke dalam 5 tabung media LB *double strength*, 1 mL sampel ke dalam 5 buah tabung media LB *single strength*, dan 0,1 mL ke dalam 5 buah tabung media LB *single strength*. Setelah itu

tabung diinkubasi pada suhu 35 - 37°C selama 24 - 48 jam. Setelah proses inkubasi selesai, amati perubahan warna dan diperiksa pertumbuhan *Coliform* yang ditunjukkan adanya gas (gelembung udara) di dalam tabung durham, kemudian dicatat setiap tabung yang menunjukkan hasil positif (terdapat gas) dan hasil negatif (tidak ada gas). Setiap tabung yang menunjukkan hasil positif dari uji praduga akan dilakukan uji penegasan.

2. Uji Penegasan

Tabung menunjukkan hasil positif kemudian dikocok dan dipindahkan 1 - 2 ose secara aseptik ke dalam tabung berisi 10 mL media BGLB (*Brilliant Green Lactose Broth*). Tabung media BLGB tersebut diinkubasi selama 24 - 48 jam pada suhu 35°C - 37°C. Setelah proses inkubasi selesai, tabung diamati ada atau tidaknya gas yang terbentuk pada media BGLB. Kalkulasi MPN dilihat dari jumlah tabung BGLB positif dan disesuaikan dengan tabel MPN.

Preparasi Reagen Foto Fenton

Siapkan larutan induk Fe^{2+} 1000 ppm dari padatan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, kemudian encerkan dengan aquades menjadi Fe^{2+} 5 ppm sebanyak 500 mL (larutan kerja Fe^{2+}).

Siapkan larutan induk H_2O_2 1000 ppm, kemudian encerkan dengan aquades menjadi H_2O_2 10 ppm sebanyak 500 mL (larutan kerja H_2O_2).

Variasi Daya Iradiasi

Variasi daya iradisi dapat dilihat pada Tabel 2 selama 30 menit.

Tabel 2. Variasi Daya Iradiasi

Tabung	Daya (Watt)
1	10
2	20
3	30
4	40

Variasi Waktu Penyinaran

Variasi waktu penyinaran dapat dilihat pada Tabel 3 dan daya iradiasi dipilih dari hasil optimum dari variasi sebelumnya (Tabel 2).

Tabel 3. Variasi Waktu Penyinaran

Tabung	Waktu (menit)
1	5
2	10
3	15
4	30
5	60

Proses Foto Fenton

Sampel air sebanyak 200 mL dimasukan kedalam erlenmeyer 250 mL, tambahkan masing-masing 10 mL larutan Fe²⁺ 5 ppm dan H₂O₂ 10 ppm. Masukan kedalam reaktor foto fenton lalu *stirer* dengan kecepatan 1000 rpm. Variasikan sesuai Tabel 2 dan Tabel 3.

Setelah *treatment*, sampel air kemudian dianalisis parameter biologinya. Efektivitas proses foto fenton ditentukan dengan cara membandingkan hasil bakteri yang terbunuh paling optimal setelah proses variasi dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang disajikan pada bab ini adalah perpaduan antara data primer berupa hasil pengukuran jumlah bakteri *Coliform* setelah perlakuan dan data sekunder berupa hasil pengukuran jumlah bakteri *Coliform* sebelum perlakuan. Data sekunder yang digunakan hanya sebagai pembanding untuk menentukan pengaruh variasi parameter terhadap penurunan angka bakteri *Coliform*. Selain itu, hasil akhir yang diharapkan dapat pula memisahkan logam Fe dari sampel air agar tidak merusak kualitas air.

Analisis Parameter Biologi Awal

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, hasil pengukuran bakteri *Coliform* pada sampel A yaitu 920/100 mL MPN, sedangkan sampel B sebanyak >1600/100 mL MPN. Tingginya jumlah bakteri *Coliform* mengindikasikan bahwa adanya pencemaran di daerah aliran sungai (DAS). Secara fisik, tampilan kedua sampel air tidak berwarna dan tidak beraroma. Sampel air yang memiliki

jumlah bakteri lebih besar dipilih untuk proses selanjutnya.

Hasil Optimasi Variasi Daya Iradiasi

Variasi daya dilakukan untuk menentukan daya optimum dalam menurunkan angka bakteri *Coliform* pada air dengan menggunakan metode foto fenton. Pada variasi daya iradiasi dilakukan selama 30 menit. Hasil perlakuan variasi daya iradiasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil MPN *Coliform* Variasi Daya Iradiasi

Daya (Watt)	Jumlah Tabung Positif			MP N/100 mL
	5 Tabun g 10 mL	5 Tabun g 1 mL	5 Tabun g 0,1 mL	
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0	0
40	0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4., dapat dilihat bahwa pada daya 10 Watt penurunan angka bakteri telah mencapai 0/100 mL MPN. Hal ini menunjukkan bakteri yang terdapat pada sampel telah terinaktivasi secara sempurna, begitu juga dengan daya 20, 30, dan 40 Watt. Penentuan daya 10 Watt sebagai daya optimum dipilih karena jumlah bakteri yang terinaktivasi telah turun secara sempurna, dan juga mempertimbangkan keberadaan Fe²⁺ yang terdapat dalam sampel perlu terpresipitaskan karena semakin bertambah daya iradiasi maka akan semakin besar pula intensitas sinar UV yang masuk ke dalam sampel dan mempengaruhi proses regenerasi dari besi dan radikal hidroksil. Pengaruh dari daya iradiasi terhadap proses foto fenton yaitu membantu dalam pemecahan H₂O₂ secara homolisis membentuk •OH dan radiasi sinar UV juga memiliki kemampuan dalam merusak struktur sel pada bakteri.

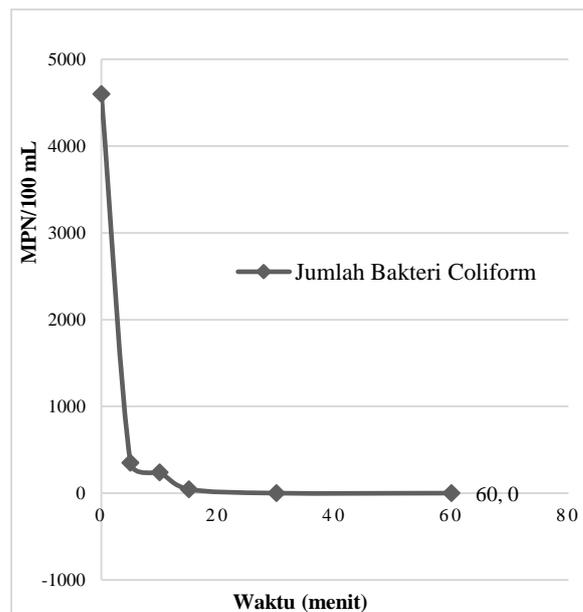
Hasil Optimasi Variasi Waktu Penyinaran

Variasi waktu dilakukan untuk mengetahui waktu optimum pada metode foto fenton dalam menurunkan angka bakteri *Coliform* dalam air. Hasil perlakuan variasi waktu penyinaran dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil MPN *Coliform* Variasi Waktu Penyinaran

Waktu (menit)	Jumlah Tabung Positif			MPN/100 mL
	5 Tabung 10 mL	5 Tabung 1 mL	5 Tabung 0,1 mL	
5	5	5	1	350
10	5	5	0	240
15	5	1	1	46
30	0	0	0	0
60	0	0	0	0

Berdasarkan hasil perlakuan variasi waktu penyinaran pada Tabel 5, pada waktu 5 menit pertama sampel diberi perlakuan, jumlah bakteri *Coliform* masih sangat tinggi. Hal ini dibuktikan oleh adanya 11 tabung yang positif pada uji penegasan. Ini menunjukkan bahwa waktu penyinaran sangat mempengaruhi proses foto fenton dalam mereduksi bakteri yang ada. Semakin cepat waktu kontak antara sinar UV dan reagen foto fenton, maka akan mempengaruhi pembentukan radikal hidroksil sehingga proses perusakan sel bakteri oleh radikal hidroksil belum bekerja secara maksimal (Sarinaningsih, 2018). Semakin bertambahnya waktu pada perlakuan 10 menit sampai 15 menit, terjadi penurunan angka bakteri yang signifikan. Hingga pada 30 menit dan 60 menit perlakuan, jumlah bakteri menurun drastis menjadi 0/100 mL MPN dikarenakan semua tabung menunjukkan hasil negatif. Hubungan variasi waktu penyinaran terhadap penurunan angka bakteri disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Jumlah Bakteri *Coliform* Variasi Waktu Penyinaran

Dari Gambar 2., dapat diketahui bahwa semakin bertambah waktu maka akan semakin banyak bakteri yang terinaktivasi. Hal ini ditunjukkan oleh menurunnya grafik seiring bertambahnya waktu. Semakin bertambahnya waktu kontak maka interaksi antara sinar UV dan reagen foto fenton dalam pembentukan radikal hidroksil semakin maksimal sehingga terjadi proses kerusakan sel bakteri.

Radikal hidroksil akan menyerang dinding sel pada bakteri hingga tereduksi dan terinaktivasi. Semakin banyak radikal hidroksil yang terbentuk maka akan semakin banyak bakteri *Coliform* yang mati akibat kerusakan sel pada jaringannya (Kris *et al*, 2020).

Reaksi Foto Fenton terhadap Sel Bakteri

Pengaruh sinar UV dan reagen fenton memiliki efek yang berbeda terhadap sel bakteri. Menurut Giannakis *et al* (2018), penambahan Fe²⁺ mampu mengganggu sistem pertahanan tubuh bakteri akibat gangguan yang terjadi pada protein sideroforik. Protein sideroforik membutuhkan reseptor spesifik untuk menjaga keseimbangan akibat jumlah Fe yang masuk tidak dapat dikendalikan.

Sedangkan, H₂O₂ secara simultan dapat menginaktivasi karena mampu menghasilkan radikal hidroksil pada reaksi Haber-Weiss (reaksi intraselular). Dengan bantuan sinar UV, proses inaktivasi bakteri akan melibatkan enzim antioksidan seperti katalase dan peroksidase yang kemudian diikuti akumulasi ROS (*Reactive Oxygen Species*) yang dapat bereaksi dengan DNA. ROS akan menyebabkan pelepasan besi dan H₂O₂ yang menghasilkan •OH lebih lanjut sehingga terjadi proses fenton internal oleh besi intraselular dan akumulasi oksidan. Perpaduan reaksi inilah yang akan mereduksi struktur DNA dan mengaktivasi bakteri yang terdapat di dalam sampel air.

Kualitas Air setelah Proses Foto Fenton

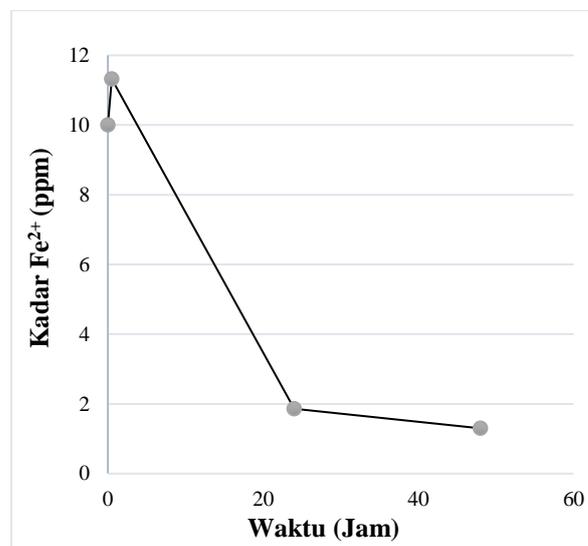
Foto fenton (Fe²⁺/H₂O₂) memiliki daya oksidasi lebih baik dibandingkan klorinasi (kaporit), dikarenakan nilai potensial sel (oksidasi) pada radikal hidroksil (E^o = +2,8 V) lebih besar dibandingkan kaporit (E^o = +1,5 V) (Setiawan, 2013). Akan tetapi, keberadaan ion Fe²⁺ dalam air dikhawatirkan dapat menurunkan kualitas air tersebut. Oleh karena itu, dilakukan uji kadar Fe²⁺ pada sampel setelah *treatment* foto fenton. Pengujian dilakukan secara terpisah dengan perbandingan konsentrasi reagen fenton 1:2 (Fe²⁺ 10 ppm dan H₂O₂ 20 ppm) selama 30 menit daya iradiasi UV 10 Watt. Kadar Fe²⁺ dalam sampel diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kadar Fe²⁺ dalam Sampel Air Sungai Maruni

Waktu (Jam)	Kadar Fe ²⁺ (ppm)
0	10
0,5	11,32
24	1,86
48	1,30

Berdasarkan hasil pada Tabel 6., dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya waktu maka kadar Fe²⁺

semakin menurun. Hubungan antara waktu dengan kadar Fe²⁺ dapat dilihat pada Gambar 3.



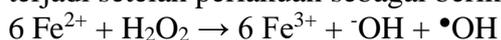
Gambar 2. Kurva Kadar Fe²⁺ setelah Proses Foto Fenton

Dari Gambar 3. menunjukkan bahwa pada 0 jam (sebelum perlakuan) adalah 10 ppm. Pada selang 30 menit (setelah perlakuan), kadar Fe²⁺ pada sampel diukur dan mengalami kenaikan menjadi 11,32 ppm. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh kadar besi awal pada sampel air Sungai Maruni sebelum ditambahkan reagen fenton yang teraktivasi karena keberadaan radikal hidroksil.

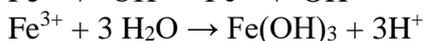
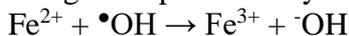
Kemudian sampel didiamkan selama 24 jam dan diukur kadarnya kembali. Terjadi penurunan kadar Fe²⁺ dari 11,32 ppm menjadi 1,86 ppm. Setelah diamati, tampilan fisik pada sampel mengalami perubahan warna menjadi kekuningan dan terbentuk flok yang mengendap. Hal ini menunjukkan adanya ion Fe²⁺ yang teroksidasi menjadi Fe(OH)₃ setelah 24 jam dan H₂O₂ yang terdegradasi menjadi O₂ dan H₂O sehingga produksi radikal hidroksil menurun dan tidak terjadi reduksi balik Fe³⁺ menjadi Fe²⁺. Terbentuknya flok ini disebabkan reaksi foto fenton yang berlangsung berada pada pH mendekati netral. Setelah 48 jam didiamkan,

diperoleh kadar Fe^{2+} semakin menurun dan flok yang mengendap semakin banyak.

Percobaan dilakukan pada konsentrasi awal Fe^{2+} sebesar 10 ppm dalam sampel 200 mL dan ditambahkan 10 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 20 ppm, sehingga didapat nilai perbandingan mol $\text{Fe}^{2+} : \text{mol H}_2\text{O}_2 = 6 : 1$. Besarnya perbandingan mol inilah yang mempengaruhi kadar Fe^{2+} pada sampel tidak seimbang dengan radikal hidroksil yang terbentuk sehingga Fe^{2+} yang teroksidasi menjadi Fe^{3+} tidak dapat diregenerasi. Semakin banyak Fe^{3+} yang tidak diregenerasi atau direduksi balik maka akan semakin banyak flok yang terbentuk dikarenakan radikal hidroksil telah habis bereaksi. Adapun reaksi yang terjadi setelah perlakuan sebagai berikut :



Akibat radikal hidroksil yang telah habis bereaksi mengakibatkan Fe^{3+} tidak tereduksi dan bereaksi dengan air membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Kadar Fe^{2+} yang semula tinggi telah berubah menjadi Fe^{3+} sehingga setelah 24 jam dan 48 jam mengalami penurunan yang drastis.



Endapan besi yang terbentuk dapat dipisahkan sehingga kualitas air setelah perlakuan tidak menurun karena adanya besi yang tersisa. Proses pengendapan besi juga sangat dibantu oleh pH larutan pada sampel yang mendekati netral. Ketika pH mendekati netral maka ion Fe^{3+} akan terendapkan menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang ditandai dengan perubahan warna pada air. Perubahan warna tersebut karena ion besi mengalami oksidasi. Semakin tinggi pH akan semakin banyak flok yang terendapkan (Nafis, 2016).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa daya iradiasi dan waktu optimum pada proses foto fenton dalam menurunkan angka bakteri

Coliform di air Sungai Maruni efektif pada daya 10 Watt dan waktu penyinaran selama 30 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- B.S. Topac, U. Alkan. 2016. Comparison of Solar/ H_2O_2 and Solar Photo-Fenton Processes for The Disinfection Of Domestic Wastewaters, *Ksce J. Civ. Eng.* 20 (7) (2016) 2632–2639.
- J. Rodriguez-Chueca, M. Morales, R. Mosteo, M.O. Ormad, J.L. Ovelleiro. 2013. Inactivation of *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* Present in Treated Urban Wastewater by Coagulation-Flocculation and Photo-Fenton Process. *Photochemical & Photobiological Sciences.* 12 (5) (2013) 864–871.
- Giannakis S., M. Voumard, S. Rtimi, C. Pulgarin. 2018. Bacterial Disinfection by The Photo-Fenton Process: Extracellular-Oxidation or Intracellular Photo-Catalysis?. *Applied Catalysis B: Environmental. Science Direct* 227 (2018) 285-295.
- ISO 7251:2005. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs- Horizontal Method for the Detection and Enumeration of Presumptive *Escherichia coli* Most Probable Number Technique.
- Kris, O'Dowd dan Suresh C. Pillai. 2020. Photo-Fenton Disinfection at Near Neutral pH: Process, Parameter Optimization and Recent Advances. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8 (2020) 104063. Elsevier.

Langsa, M. H, J. Marwa, F.L.Hematang. 2019. Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Provinsi Papua Barat 2019. Deepublish : Yogyakarta.

Nafis, M. Husen. 2016. Degradasi Diklorometana dalam Air dengan Metode *Advance Oxidation Treatment* (AOT). Surabaya : ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga.

Radhika, R. Firmansyah, W. Hatmoko. 2017. Perhitungan Ketersediaan Air Permukaan di Indonesia Berdasarkan Data Satelit. Jurnal Sumber Daya Air Vol.13 No. 2 November 2017: 115 –130.

Sarinaningsih. 2018. Pengaruh Intensitas, Lama Waktu Penyinaran dan Posisi Sumber Sinar Ultraviolet terhadap Reduksi Jumlah Bakteri *E.coli* pada Air Sumur. Universitas Mataram : Mataram.

S. Nahim-Granados, J.A.S. Perez, M.I. Polo-Lopez. 2018. Effective Solar Processes in Freshcut Wastewater Disinfection: Inactivation of Pathogenic *E. coli* O₁₅₇:H₇ and *Salmonella enteritidis*, Catal. Today 313 (2018) 79–85.

Setiawan, D. James Sibarani, I. E. Suprihatin. 2013. Perbandingan Efektifitas Disinfektan Kaporit, Hidrogen Peroksida, dan Pereaksi Fenton. Cakra Kimia : Indonesian E-Journal of Applied Chemistry. Volume 1, Nomor 2.