

PROSES FOTO FENTON DALAM REAKTOR RESIRKULASI UNTUK MENYISIHKAN BEBAN PENCEMAR PADA LINDI

William Steviano Lesa, Munawar Ali, dan Firra Rosariawari

*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Jawa Timur*

Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Kota SBY, 60294, Indonesia

Email: firra.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Air lindi dari proses rembesan air sampah organik yang ada pada rumah kompos umumnya mengandung beban pencemar yang sukar terurai. Air lindi tersebut akan menyebabkan masalah terhadap lingkungan jika dibuang langsung ke badan air apabila tanpa adanya pengolahan. Penanganan beban pencemar ini dapat dilakukan dengan metode Advanced Oxidation Process (AOP). Salah satu dari metode AOP adalah FotoFenton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan air lindi dengan metode fotofenton secara resirkulasi berdasarkan perbandingan molar $H_2O_2:FeSO_4$ dan Debit aliran resirkulasi. Pada penelitian ini, parameter yang diamati meliputi TSS, COD, BOD, Total N, dan PO_4 . Pada penelitian batch yang dilakukan dengan 5 liter air lindi ditetapkan variabel perbandingan molar $H_2O_2:FeSO_4$ dengan variasi 10:0,10, 10:0,15, 10:0,20, 10:0,25, dan 10:0,30 dan variabel Debit aliran resirkulasi dengan variasi debit 0,2, 0,25, 0,34, 0,4, dan 0,6 liter/detik. Selain secara batch, penelitian ini juga dilakukan percobaan kontinu fotofenton secara resirkulasi dengan variabel terbaik dari proses batch. Berdasarkan penelitian, efisiensi pengolahan TSS, COD, BOD, Total N, dan PO_4 pada lindi menggunakan fotofenton secara resirkulasi masing-masing sebesar 91%, 87%, 70%, 65% dan 79% pada perbandingan molar 10:0,30 dengan debit aliran 0,6 liter /detik.

Kata kunci: Air lindi, fosfat, fotofenton, limbah organik, total nitrogen, *total suspended solid* (TSS).

ABSTRACT

Leachate from seepage process of organic waste water in compost houses generally contains pollutant load which is difficult to decompose. Leachate will cause problems to the environment if it is discharged directly into water if there is no treatment. The handling of these pollutants can be done by the Advanced Oxidation Process (AOP) method. One of the AOP methods is PhotoFenton. This study aims to determine the efficiency of leachate water treatment with the photofenton method by recirculation based on $H_2O_2: FeSO_4$ molar ratio and recirculation flow discharge. In this study, the parameters observed included TSS, COD, BOD, Total N, and PO_4 . In a batch study conducted with 5 liters of leachate water, the molar ratio variables of $H_2O_2: FeSO_4$ were determined with variations of 10: 0.10, 10: 0.15, 10: 0.20, 10: 0.25, and 10: 0.30 and variable discharge of recirculation flow with discharge variations of 0,2, 0,25, 0,34, 0,4, and 0,6 liter / second. Aside from being batch, this research also carried out a continuous fotofenton recirculation experiment with the best variables from the batch process. Based on the research, the processing efficiency of TSS, COD, BOD, Total

N, and PO_4 in leachate using photofenton by recirculation were respectively 91%, 87%, 70%, 65% and 79% at a molar ratio of 10: 0.30 with discharge flow of 0.6 liters / second.

Keywords: fosfat, leachate, organic waste, photofenton, total nitrogen, TSS.

1. PENDAHULUAN

Salah satu penghasil air lindi adalah Rumah Kompos Wonorejo, Surabaya. Rumah Kompos Wonorejo merupakan tempat pengomposan bahan organik yang berasal dari sampah-sampah di TPS dan pasar-pasar Surabaya. Sebelum diolah menjadi kompos, sampah-sampah tersebut ditumpuk serta dikeringkan terlebih dahulu sehingga menghasilkan air lindi yang cukup banyak. Air lindi yang dihasilkan tersebut hanya akan dikumpulkan di bak penampung dan diserahkan ke pihak ketiga sehingga Rumah Kompos Wonorejo masih belum memiliki pengolahan air lindi sendiri sehingga menyebabkan bau dan resiko pencemaran lingkungan sekitar taman Wonorejo.

Salah satu teknologi alternatif yang telah berhasil digunakan sebagai metode pengolahan untuk mengurangi konsentrasi senyawa organik beracun yang dapat menghambat pengolahan air limbah secara biologis adalah proses oksidasi tingkat lanjut atau yang sering disebut AOPs (Advanced Oxidation Process) (Stasinakis, 2008). AOPs adalah proses generasi radikal bebas yang sangat reaktif dalam menghancurkan kimia organik. Salah satu AOPs yang efektif yaitu sistem Fenton, yang terdiri atas reaksi H_2O_2 dengan Fe^{2+} membentuk OH. Reaksi fenton melibatkan beberapa tahapan dimana radikal bebas hidroksil (OH) dan hidroksiperoksil (HO_2) merupakan hasil antara yang menjadi kunci. Sistem fenton dapat dikombinasikan dengan sinar UV menjadi proses foto-fenton, dimana sinar UV dapat mempercepat proses fenton (Sholeh & Setyorini, 2014).

Air lindi memiliki berbagai macam karakter tergantung dari proses-proses yang terjadi di dalam *landfill* atau timbunan sampah yang meliputi proses fisik, kimia dan biologis. Faktor-faktor yang memengaruhi karakter, kualitas, kuantitas dan gas dari air lindi yaitu : jenis sampah, lokasi *landfill* atau timbunan sampah, *hidrogeologi*, sistem pengoperasian, aktivitas biologis baik secara aerob maupun anaerob. faktor tersebut sangat bervariasi pada suatu tempat timbunan sampah yang satu dengan yang lainnya (Ali, 2011).

Advanced Oxidation Reaction (AOPs) merupakan suatu rangkaian pengolahan air secara oksidatif yang bertujuan untuk menanggulangi limbah-limbah toksik pada skala industri, rumah sakit, dan pabrik pengolahan air limbah. AOPs mengubah senyawa toksik pada air menjadi substansi yang *biodegradable*. Secara general, AOPs merupakan metode dengan *cost* instalasi yang murah, tetapi memiliki *operating cost* yang tinggi karena memerlukan input *chemicals* dan energi yang cukup tinggi. Oksidasi lanjut (*Advanced Oxidation*) secara general menggunakan oksidator kuat seperti hydrogen peroksida (H_2O_2) atau Ozon (O_3), katalis (ion besi, elektroda, dan logam oksida), dan penyinaran (sinar UV, sinar matahari, *ultrasounds*), baik secara terpisah atau berupa kombinasinya, dalam kondisi tekanan dan temperatur rendah. Di antara beberapa metoda AOPs, metoda dengan bantuan cahaya merupakan teknologi yang populer digunakan untuk pengolahan air limbah (Palwaguna, 2017). Terdapat tiga tahapan utama yang terjadi pada AOPs, sebagai berikut:

1. Pembentukan senyawa oksidan kuat seperti ($*OH$).

2. Reaksi antara oksidator dengan polutan organik yang menghasilkan polutan yang *Biodegradable*.

3. Reaksi yang terjadi pada AOPs menghasilkan air, COD dan garam inorganik.

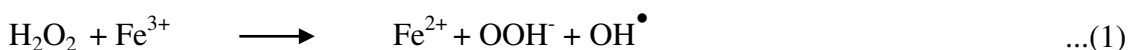
Peristiwa fotokimia dalam air, dimana terjadi penyerapan sumber energi oleh molekul senyawa kimia untuk menyelesaikan reaksi kimianya. Dalam proses dekomposisi polutan air dapat digunakan cahaya matahari dapat sebagai pemacu terjadinya reaksi kimia untuk mendapatkan seleksi transformasi yang luas. Akan tetapi tidak semua reaksi kimia tersebut terjadi bila memakai reaktan konvensional. Hal ini dapat terjadi karena selain memancarkan radiasi infra merah dan cahaya tampak, matahari juga memancarkan radiasi Ultra Violet (UV). Radiasi Ultra Violet tersebut mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyebabkan terjadinya reaksi kimia (bila dibandingkan dengan kandungan energi radiasi infra merah dan cahaya tampak). Walaupun tidak semua polutan organik menyerap cahaya, namun banyak diantaranya yang mudah terdekomposisi dengan berbagai macam cara salah satunya ditamapkannya bahan kimia seperti reagen fenton. Oleh karenanya, pengetahuan terhadap mekanisme kimia pada reaksi fotokimia akan bermanfaat dalam merencanakan sistem pengolahan secara fotokimia untuk air yang tercemar (Yulianto, Handayani, & Silviana, 2005).

Salah satu metode oksidasi kimia tingkat lanjut berbasis AOPs adalah Metode fenton. Reaksi Fenton ini ditemukan oleh H.J.H Fenton pada tahun 1894 dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa H_2O_2 (Hydrogen Peroksida) dapat diaktivasi oleh $[\text{Fe}^{2+}]$ untuk mengoksidasi asam tartaric. (Gunes, 2008) Proses Fenton adalah metode untuk degradasi senyawa organik dengan reaksi antara hydrogen peroksida dengan ion besi dalam kondisi penyinaran atau tanpa penyinaran *Ultra Violet (UV)* yang menghasilkan *hydroxyl radical* (Huang et al., 2009).

Hydroxyl radical diketahui sebagai spesies kimia yang paling reaktif kedua setelah atom fluor, dengan adanya daya oksidasi 2,8 Volt (Weast, 1977). Reagen Fenton merupakan larutan yang berisi campuran hydrogen peroksida (H_2O_2) dengan katalis garam besi [II] pada pH asam dan digunakan dalam proses Fenton sebagai sumber radikal hidroksil (OH). Proses ini didasarkan pada perpindahan elektron H_2O_2 dan aktivitas Fe^{2+} sebagai katalis homogen. Pada pH asam radikal hidroksil ini beraksi dengan cepat dalam lingkungan air. Secara umum, reaksi reagen fenton menghasilkan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang dikarenakan Fe^{2+} yang meningkat. Maka dari itu adanya sistem penerangan pada fenton yang secara signifikan meningkatkan dekomposisi organik karena pada proses foto-fenton terdapat $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ yang dapat menyerap cahaya serta memberikan tambahan radikal OH selanjutnya foto-fenton menghasilkan lebih sedikit Fe^{2+} sehingga mengurangi hasil endapan fenton (Huang et al., 2009). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi operasi optimum dan efisiensi mendegradasi kadar COD dan TSS air lindi dengan menggunakan proses pengolahan AOPs metode Foto-Fenton.

Pada penelitian terdahulu reagen fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$) harus tercampur secara rata sehingga menggunakan pompa sirkulasi untuk pengadukan. Pada proses foto-fenton juga menggunakan 3 lampu UV dengan panjang gelombang (λ) 365 nm yang dipasang secara vertikal sehingga mengenai sampel secara rata (Huang et al., 2009). Pada penelitian ini dilakukan dalam tahap batch, yaitu percobaan dalam sebuah reaktor *batch* dan menghasilkan data kinetika yang diperoleh dari percobaan reaktor *batch*. Lampu UV yang digunakan adalah lampu UV-C dengan λ 100-280 nm yang dipasang vertikal dan magnetic stirrer yang digunakan sebagai pengganti pompa sirkulasi untuk mengaduk reagen secara rata. Proses Fenton merupakan

reaksi yang menggunakan ion Fe^{2+} sebagai katalis dan diselenggarakan dalam suatu sistem yang homogen. Reaksi utama proses Fenton adalah sebagai berikut:



Pada proses foto-Fenton, radiasi sinar UV-Vis ($\lambda \leq 600 \text{ nm}$) akan meningkatkan produksi radikal OH melalui beberapa tahap siklus reaksi katalitik dari ion Fe(II) dan Fe(III) dengan hidrogen peroksida (Palwaguna, 2017). Terlihat pada reaksi (3) dan (4) yang dimana Sinar UV bereaksi pada reagen yang menghasilkan tambahan radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) untuk mengoksidasi polutan organik beracun pada air. Reaksi ini juga dapat mempercepat proses fenton karena membutuhkan sedikit ion besi dan muatan ion besi yang lebih tinggi akan bereaksi pada bahan kimia pada limbah (Kanakaraju et al., 2017).

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan yang digunakan diantaranya, air lindi sebanyak 5 liter, larutan H_2O_2 , larutan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30%, dan larutan H_2SO_4 . Sedangkan peralatan yang dibutuhkan adalah reaktor resirkulasi, lampu UV, aluminium foil dan pompa resirkulasi. Penelitian ini menggunakan dua perlakuan, yaitu sistem *batch* dan *continue*. Selanjutnya penelitian dilakukan dengan membuat variasi perbandingan $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ dan debit aliran untuk sistem *batch*. Sedangkan untuk sistem *continue* variasi yang digunakan adalah waktu sampling. Volume reaktor yang digunakan adalah 10 liter. Lampu UV C yang digunakan untuk proses foto-Fenton yaitu dengan panjang gelombang 254 nm dan waktu pengolahan limbah selama 120 menit. Selama penelitian, pH limbah yang digunakan dikondisikan sampai nilai pH limbah menunjukkan pH 3.

Tabel 1. Variasi Perbandingan $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ dan debit aliran (sistem *batch*)

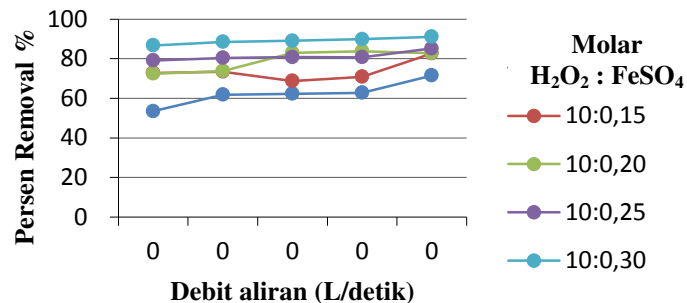
Perbandingan $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ (M/M)	Debit aliran (Q = liter/detik)				
10:0,10	0,2	0,25	0,34	0,4	0,6
10:0,15	0,2	0,25	0,34	0,4	0,6
10:0,20	0,2	0,25	0,34	0,4	0,6
10:0,25	0,2	0,25	0,34	0,4	0,6
10:0,30	0,2	0,25	0,34	0,4	0,6

Setelah penelitian dilakukan dengan sistem *batch* selesai dan ditemukan hasil terbaik, kemudian dilanjutkan untuk sistem *continue*. Variasi yang digunakan adalah waktu sampling, dengan variasi 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Setiap satu siklus proses dilakukan analisis parameter limbah. Parameter yang diuji adalah TSS, COD, BOD, Fosfat dan Total N. Hasil analisis mengacu pada baku mutu air lindi dan baku mutu air limbah. Pengambilan sampel dilakukan setelah sampel diendapkan setelah diolah pada proses fotofenton secara resirkulasi, kemudian filtrat sampel diambil untuk dilakukan pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan Debit Aliran Resirkulasi Terhadap Penyisihan TSS

Berikut adalah grafik yang menunjukkan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi terhadap TSS :

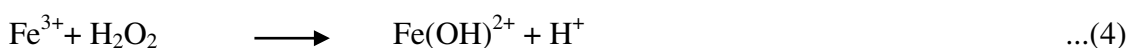
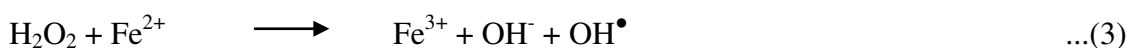


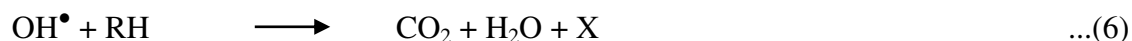
Gambar 1. Hubungan antara penyisihan kadar TSS (%) dengan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi

Berdasarkan grafik di atas diperoleh hasil penyisihan tertinggi untuk setiap variasi perbandingan molar yaitu pada perbandingan molar 10:0,30 dengan debit aliran 0,6 L/dtk yang rata-rata penyisihan sebesar 91% dari kadar TSS awal. Sedangkan penyisihan TSS terendah diperoleh pada perbandingan molar 10:0,10 dengan debit aliran 0,2 L/dtk yang rata-rata penyisihan sebesar 53% dari konsentrasi awal TSS.

Pada penelitian ini terbukti bahwa seiring bertambahnya perbandingan molar H_2O_2 : FeSO_4 , nilai TSS pada masing-masing variasi akan mengalami penyisihan. Bahan organik dan beban pencemar lainnya yang ada pada limbah lindi akan terurai menjadi unsur yang lebih sederhana karena teroksidasi oleh radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$), selanjutnya bahan organik yang sudah terurai dapat diendapkan dengan adanya pembentukan ion $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sehingga akan menurunkan nilai TSS

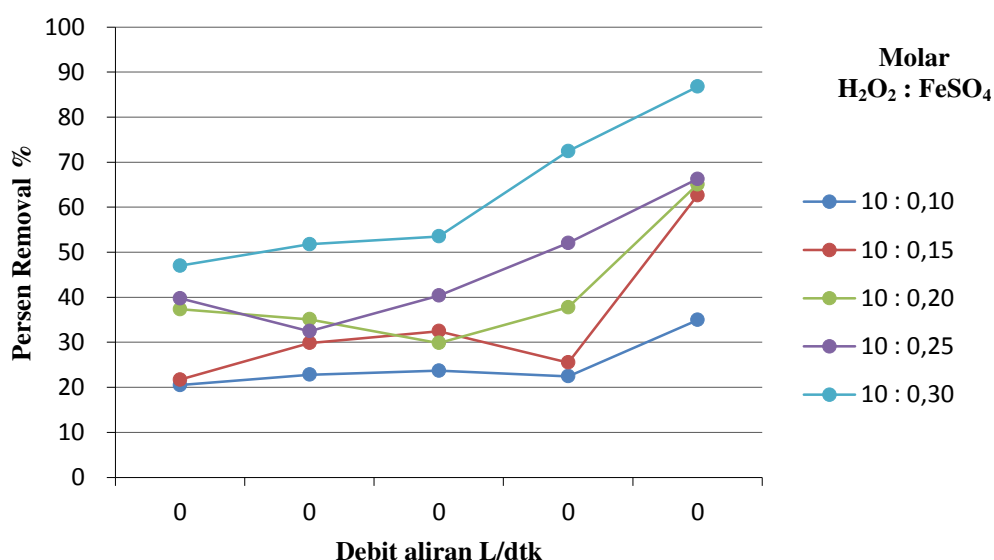
Proses oksidasi molekul organik dengan proses foto fenton terdiri dari dua tahapan proses. Pada tahap pertama, molekul organik diurai dengan cepat akibat dari kecepatan pembentukan $\text{OH}^\bullet$ radikal dari reaksi H_2O_2 dan Fe^{2+} dengan penambahan sinar UV yang dimana $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ berperan sebagai penyerap cahaya sehingga menghasilkan peningkatan jumlah $\text{OH}^\bullet$ radikal (Huang et al., 2009). Seiring molekul organik diurai dengan cepat, padatan yang tersuspensi juga akan bisa terendapkan dikarenakan adanya pembentukan ion besi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang akan mengikat padatan tersuspensi yang terurai (x) pada limbah. Sehingga padatan tersuspensi tersebut ikut terpresipitasi (Fauzi & Agung, 2018). Berikut adalah mekanisme proses penyisihan TSS pada reaksi 4.7 (Huang et al., 2009):





3.2 Pengaruh Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan Debit Aliran Resirkulasi Terhadap Penyisihan COD

Berikut adalah grafik yang menunjukkan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi terhadap penyisihan COD:

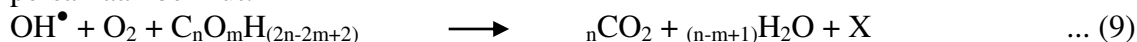


Gambar 2. Hubungan antara penyisihan kadar COD (%) dengan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi

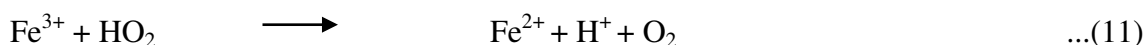
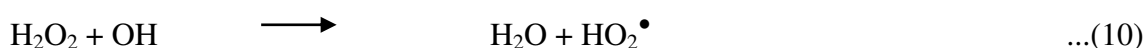
Berdasarkan grafik di atas diperoleh hasil penyisihan tertinggi untuk setiap variasi yaitu pada debit aliran 0,6 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,30 yang rata-rata penyisihannya sebesar 87% dari kadar COD awal. Sedangkan penyisihan COD terendah diperoleh pada debit aliran 0,2 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,10 yang rata-rata penyisihannya sebesar 20% dari kadar COD awal.

Gambar 2. menunjukkan bahwa dengan semakin besar debit aliran maka akan meningkatkan nilai efisiensi penyisihan COD. Proses oksidasi molekul organik dengan reagen fenton terdiri dari dua tahapan proses. Pada tahap pertama, molekul organik diurai dengan cepat akibat dari kecepatan pembentukan OH radikal dari reaksi H_2O_2 dan Fe^{2+} , Selanjutnya pada tahap kedua Fe^{3+} perlahan membentuk kembali Fe^{2+} yang memperbarui sistem fenton. Proses fotofenton terdapat H_2O_2 yang bereaksi dengan sinar UV dan menghasilkan OH radikal (Babuponnusami & Muthukumar, 2014a), selain itu pada **Gambar 2.** juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan perbandingan molar 10:0,30 proses akan menaikkan efisiensi penyisihan COD.

Hal ini disebabkan karena semakin banyak FeSO_4 yang bereaksi pada H_2O_2 maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin banyak sehingga dapat mengoksidasi bahan organik menjadi unsur yang lebih sederhana dan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan. Sedangkan pada perbandingan 10:0,10 memiliki rata-rata penyisihan COD yang kecil. Hal ini disebabkan oleh besarnya penambahan konsentrasi H_2O_2 yang menyebabkan fenomena OH radikal bereaksi dengan H_2O_2 menghasilkan radikal HO_2 yang kurang reaktif dibandingkan radikal OH, Fenomena ini biasa disebut dengan *self saving OH*. (Fauzi & Agung, 2018). Proses reaksi penyisihan COD oleh radikal hidroksil juga terjadi secara bertahap, OH radikal mengoksidasi bahan-bahan organik menjadi senyawa sederhana (Yuningrat, 2012). Reaksi sesuai dengan persamaan berikut:

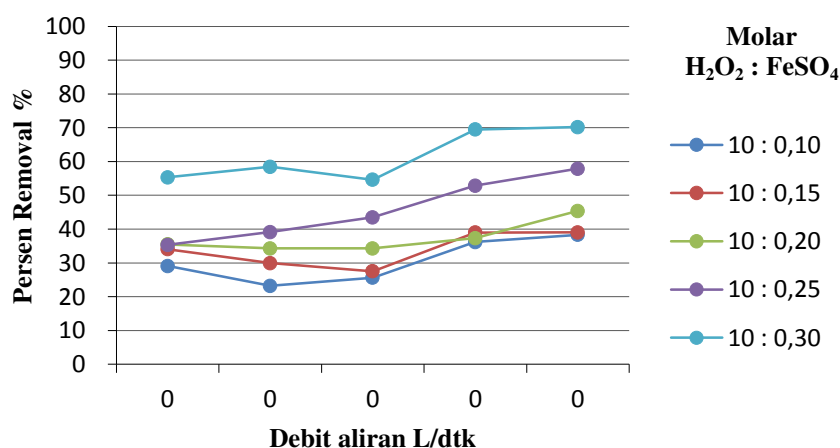


Selanjutnya reaksi memasuki pembentukan radikal hidroksil tahap kedua yakni, Fe^{3+} perlahan membentuk kembali Fe^{2+} yang memperbarui sistem fenton dan OH radikal kembali mengoksidasi bahan organik. Sesuai dengan persamaan reaksi berikut :



3.3 Pengaruh Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan Debit Aliran Resirkulasi Terhadap Penyisihan BOD

Berikut adalah grafik yang menunjukkan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi terhadap penyisihan BOD:



Gambar 3. Hubungan antara penyisihan kadar BOD (%) dengan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi

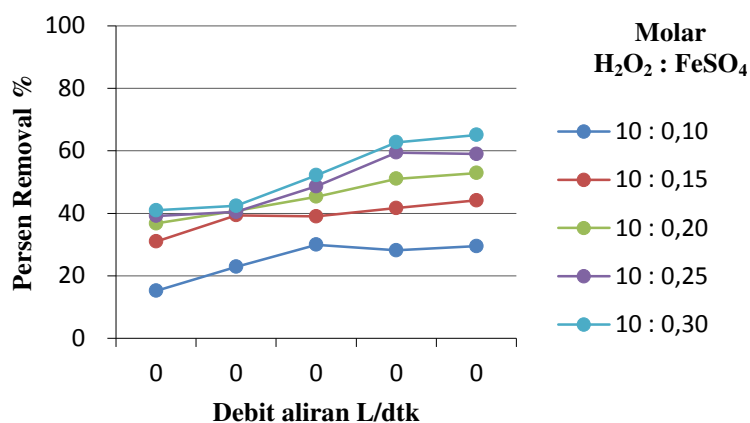
Berdasarkan grafik di atas diperoleh hasil penyisihan tertinggi untuk setiap variasi yaitu pada debit aliran 0,6 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,30 yang rata-rata penyisihannya sebesar 70% dari kadar BOD awal. Sedangkan penyisihan BOD terendah diperoleh pada debit aliran 0,25 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,10 yang rata-rata penyisihannya sebesar 23% dari kadar BOD awal.

Gambar 3. menunjukkan bahwa dengan semakin besar debit aliran maka akan meningkatkan nilai efisiensi penyisihan BOD., selain itu pada **Gambar 3.** menunjukkan bahwa dengan menggunakan perbandingan molar 10:0,30 proses akan menaikkan efisiensi penyisihan BOD. Hal ini disebabkan karena semakin banyak FeSO_4 yang bereaksi pada H_2O_2 maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin banyak sehingga dapat mengoksidasi bahan organik menjadi unsur yang lebih sederhana dan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan. Sedangkan pada perbandingan 10:0,10 memiliki rata-rata penyisihan BOD yang kecil. Hal ini disebabkan oleh besarnya penambahan konsentrasi H_2O_2 dan sedikitnya konsentrasi FeSO_4 yang menyebabkan fenomena OH radikal bereaksi dengan H_2O_2 menghasilkan radikal HO_2 yang kurang reaktif dibandingkan radikal OH, Fenomena ini biasa disebut dengan *self saving OH*. kombinasi antara H_2O_2 dan FeSO_4 harus seimbang Untuk menghasilkan pengolahan yang optimum (Fauzi & Agung, 2018). Proses reaksi penyisihan BOD tidak jauh berbeda dari penyisihan COD karena fotofenton mengoksidasi polutan organik.

Persen penyisihan tertinggi pada debit aliran 0,6 L/dtk membuktikan bahwa pada debit aliran tersebut adalah kecepatan pengadukan optimal untuk menyisihkan polutan organik karena perpindahan massa fenton dan penyinaran UV yang optimal (Tuty E Agustina et al., 2011). Hal tersebut membuat OH radikal menjadi optimal dalam mengoksidasi bahan-bahan organik sehingga meningkatnya penyisihan BOD dan menghasilkan senyawa-senyawa sederhana .

3.4 Pengaruh Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan Debit Aliran Resirkulasi Terhadap Penyisihan Fosfat (PO_4)

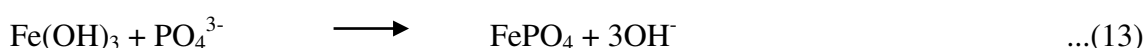
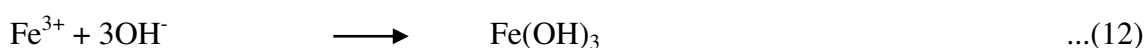
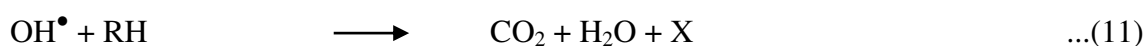
Berikut adalah grafik yang menunjukkan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi terhadap penyisihan BOD:



Gambar 4. Hubungan antara penyisihan kadar PO_4 (%) dengan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi

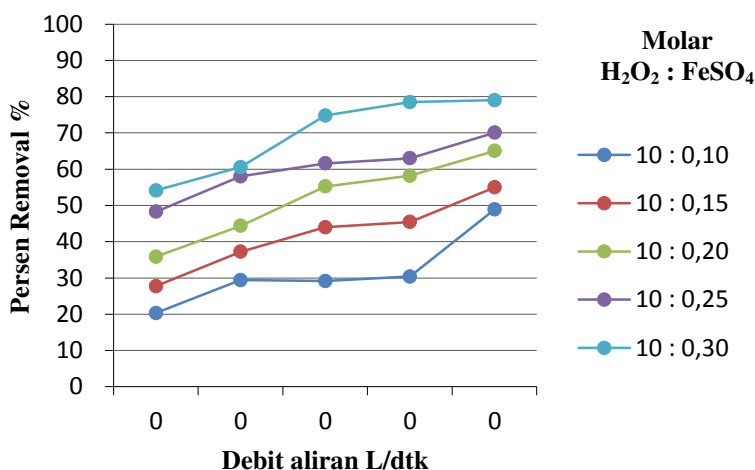
Berdasarkan grafik di atas diperoleh hasil penyisihan tertinggi untuk setiap variasi yaitu pada debit aliran 0,6 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,30 yang rata-rata penyisihannya sebesar 65% dari kadar PO_4 awal. Sedangkan penyisihan PO_4 terendah diperoleh pada debit aliran 0,2 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,10 yang rata-rata penyisihannya sebesar 15% dari kadar PO_4 awal.

Gambar 4. menunjukan bahwa dengan semakin besar debit aliran maka akan meningkatkan nilai efisiensi penyisihan PO_4 . Selain itu grafik di atas juga menunjukan bahwa dengan menggunakan perbandingan molar 10:0,30 proses akan menaikkan efisiensi penyisihan PO_4 . Hal ini disebabkan karena semakin banyak FeSO_4 yang bereaksi pada H_2O_2 maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin banyak sehingga dapat mengoksidasi senyawa organik dan membentuk koagulan berupa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang dapat menyisihkan fosfat. Sedangkan pada perbandingan 10:0,10 memiliki rata-rata penyisihan PO_4 yang kecil. Hal ini disebabkan karena kurang ketersediaan ion Fe dalam proses fotofenton (Fauzi & Agung, 2018). Proses reaksi penyisihan PO_4 oleh proses fotofenton yaitu dengan mengoksidasi polutan organik dan mengendapkan fosfat. Reaksi sesuai dengan persamaan berikut:



3.5 Pengaruh Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan Debit Aliran Resirkulasi Terhadap Penyisihan Total N

Berikut adalah grafik yang menunjukan Perbandingan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi terhadap penyisihan total N:



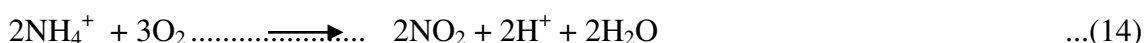
Gambar 5. Hubungan antara penyisihan kadar Total N (%) dengan H_2O_2 : FeSO_4 dan debit aliran resirkulasi

Berdasarkan grafik di atas diperoleh hasil penyisihan tertinggi untuk setiap variasi yaitu pada debit aliran 0,6 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,30 yang rata-rata penyisihannya sebesar 79% dari kadar Total N awal. Sedangkan penyisihan Total N terendah diperoleh pada debit aliran 0,2 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,10 yang rata-rata penyisihannya sebesar 20% dari kadar Total N awal.

Gambar 5. menunjukan bahwa dengan semakin besar debit aliran maka akan meningkatkan nilai efisiensi penyisihan Total N. Pada debit aliran 0,2 L/dtk dengan perbandingan molar 10:0,10 yang rata-rata penyisihan sebesar 20 % dari konsentrasi awal merupakan penyisihan

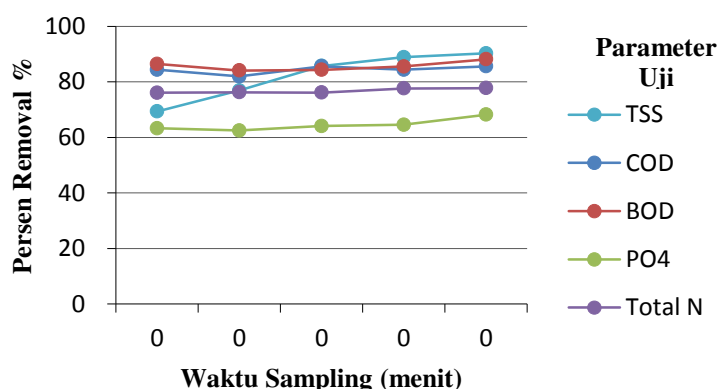
konsentrasi Total N terendah hal ini disebabkan oleh kurang optimumnya H_2O_2 dan FeSO_4 dengan sinar UV membentuk radikal OH karena debit aliran yang kecil maka kecepatan pengadukan semakin lambat yang membuat perpindahan massa fenton dan penyinaran UV kurang optimal. (Tuty E Agustina et al., 2011). Selain itu pada **Gambar 5.** juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan perbandingan molar 10:0,30 proses akan menaikkan efisiensi penyisihan Total N. Hal ini disebabkan karena semakin banyak FeSO_4 yang bereaksi pada H_2O_2 maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin banyak sehingga dapat mengoksidasi total N menjadi unsur yang lebih sederhana dan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan (Fauzi & Agung, 2018).

Proses reaksi penyisihan Total N oleh proses fotofenton yaitu dengan mengoksidasi ammonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) yang biasa disebut proses nitrifikasi. Selanjutnya nitrat (NO_3^-) akan terpresipitasi oleh $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari proses fotofenton (Safitri, Sulistyaningsih, & Kusumastuti, 2019). Reaksi sesuai dengan persamaan berikut:



3.6 Penelitian Secara Kontinu

Berikut adalah grafik yang menunjukkan pengaruh waktu sampling pada debit resirkulasi 0,6 L/detik dan molar fenton 10:0,30 terhadap penyisihan beban pencemar pada lindi :



Gambar 6. Hubungan antara penyisihan kadar beban pencemar(%) dengan Waktu sampling pada debit resirkulasi 0,6 L/detik dan molar fenton 10:0,30.

Berdasarkan grafik diperoleh hasil penyisihan beban pencemar tertinggi pada proses kontinu pada waktu sampling dimenit ke-120 dengan persentase penyisihan TSS sebesar 90%, COD sebesar 86%, BOD sebesar 88%, PO_4 sebesar 68% dan Total N sebesar 78% dari konsentrasi awal. Sedangkan untuk persen penyisihan terkecil pada waktu sampling dimenit ke-0 dengan penyisihan TSS sebesar 69%, Total N sebesar 76%, dan waktu sampling dimenit ke-30 COD sebesar 82%, BOD sebesar 84%, dan PO_4 sebesar 62%. Pada **Gambar 6.** menunjukkan

percobaan kontinu fotofenton secara resirkulasi terhadap penyisihan beban pencemar air lindi dan berbagai waktu sampling.

Data hasil analisa di atas merupakan hasil dari analisa air sampel yang merupakan effluent dari pengolahan secara kontinu. Bila dibandingkan dengan Baku Mutu Air Lindi menurut “Peraturan Menteri LHK No. 59 TAHUN 2016” dan pada PERMEN LH RI No.5 Tahun 2014 Tentang “Baku Mutu Air Limbah”, karakteristik air lindi dapat dilihat konsentrasi beban pencemar pada effluent masih diatas batas maksimum pembuangan walaupun persen penyisihan beban pencemar sudah cukup tinggi. Belum maksimalnya pengolahan lindi pada proses ini disebabkan beban pencemar yang terlalu tinggi sehingga kemampuan radikal hidroksil yang terbentuk sulit untuk menyisihkan senyawa organik secara keseluruhan. maka pengolahan dengan metode ini belum dapat direkomendasikan karena masih berbahaya apabila dibuang langsung ke badan air. Namun dapat direkomendasikan sebagai pengolahan *pre-treatment* untuk sebuah instalasi pengolahan air lindi atau ditambahkan pengolahan lanjutan untuk memenuhi baku mutu.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil tertinggi pada parameter pengolahan air lindi menggunakan FotoFenton secara resirkulasi sebesar TSS=90%(290mg/L), COD=86%(1680 mg/L), BOD=88%(1164 mg/L), PO₄=68%(449,72 mg/L), dan Total N=78%(1494,96 mg/L). Sementara Baku Mutu Air Lindi menurut “PERATURAN MENTERI LHK No. 59 TAHUN 2016” beban maksimum untuk TSS= 100 mg/L, COD= 300 mg/L, BOD= 150 mg/L, dan Total N=0,005 mg/L dan pada PERMEN LH RI No.5 Tahun 2014 Tentang “Baku Mutu Air Limbah” Beban maksimum untuk PO₄= 2 mg/L. Hal ini membuktikan jika pengolahan menggunakan fotofenton secara resirkulasi belum efisien untuk menurunkan pencemar pada air lindi rumah kompos karena beban pencemar yang terlalu tinggi namun proses ini dapat dijadikan *pre-treatment* untuk pengolahan biologis ataupun perlu ditambahkan pengolahan lanjutan untuk mencapai standar baku mutu air lindi.
2. Hasil penelitian menunjukkan pada proses fotofenton secara resirkulasi menunjukkan bahwa penyisihan beban pencemar terbaik pada debit resirkulasi 0,6 L/detik dengan perbandingan molar H₂O₂:FeSO₄ yaitu 10:0,30.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E., Nurisman, E., Haryani, N., Cundari, L., Novisa, A., & Khristina, O. (2011). Pengolahan air limbah pewarna sintesis dengan menggunakan reagen fenton.
- Ali, M. (2011). Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan. *Surabaya: UPN “Veteran” Jawa Timur*.
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014a). A Review On Fenton And Improvements To The Fenton Process For Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557-572.

- Fauzi, A. R., & Agung, R. T. (2018). Kombinasi Fenton dan Fotokatalis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Batik. *Jurnal Envirotek*, 10(1).
- Gunes, Y. (2008). Removal Of COD From Oil Recovery Industry Wastewater By The Advanced Oxidation Processes (AOP) Based On H₂O₂.
- Huang, Y.-H., Su, H.-T., & Lin, L.-W. (2009). Removal of citrate and hypophosphite binary components using Fenton, photo-Fenton and electro-Fenton processes. *Journal of environmental sciences*, 21(1), 35-40.
- Kanakaraju, D., Ahmad, N. L. B., Sedik, N. B. M., Long, S. G. H., Guan, T. M., & Chin, L. Y. (2017). Performance Of Solar Photocatalysis And Photo-Fenton Degradation Of Palm Oil Mill Effluent. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(5), 996-1007.
- Palwaguna, G. (2017). Proses Fotokatalisis Tio₂ dan Foto-Fenton untuk Penyisihan Patogen dan Polutan Kimiawi pada Pengolahan Air. *Bandung Institute of Technology*.
- Safitri, T., Sulistyaningsih, T., & Kusumastuti, E. (2019). Preparasi Mg/Al/Fe-NO₃ Hidrotalsit Secara Kopresipitasi. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 41-46.
- Sholeh, M., & Setyorini, I. (2014). *A Review On Application Of Advanced Oxidation Processes (Aops) For Tannery Wastewater Treatment*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik.
- Stasinakis, A. (2008). Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment—a mini review. *Global NEST journal*, 10(3), 376-385.
- Weast, R. C. (1977). CRC handbook of chemistry and physics (Ohio).
- Yulianto, M. E., Handayani, D., & Silviana, S. (2005). KAJIAN PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI FATTY ALCOHOL DENGAN TEKNOLOGI FOTOKATALITIK MENGGUNAKAN ENERGI SURYA. *Gema Teknologi*, 14(2), 20-25.
- Yuningrat, N. (2012). Degradasi Pencemar Organik dalam Lindi dengan Proses Oksidasi Lanjut. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 1(2).