

PENGOLAHAN LINDI MENGGUNAKAN METODE KOAGULASI FLOKULASI DENGAN KOAGULAN FeCl_3 (*Ferric Chloride*) DAN AOPs (*Advanced Oxidation Process*) DENGAN $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ Studi Kasus : TPA Jatibarang

Mia Yutika Wirandani^{*)}, Sudarno^{**)}, Purwono^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email: ^{*)} mia.yutika@gmail.com

Abstrak

Lindi TPA Jatibarang umumnya memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi dan keberadaannya yang melebihi baku mutu dapat mencemari lingkungan sekitar apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan lindi menggunakan metode koagulasi flokulasi dan teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) dapat dijadikan sebagai alternatif pengolahan lindi TPA Jatibarang. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl_3 dan teknologi AOPs dengan Fenton ($\text{Fe-H}_2\text{O}_2$) dengan tujuan untuk mengetahui dosis optimum dari koagulan FeCl_3 dan menganalisis hasil serta efisiensi pengolahan pada parameter BOD, COD, TSS dan warna. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan memvariasikan dosis FeCl_3 dan memvariasikan FeSO_4 untuk proses AOPs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum koagulan FeCl_3 berada pada dosis 12 gram/L, pada dosis tersebut nilai COD dapat tersisihkan sebesar 36,8 %, nilai BOD dapat tersisihkan sebesar 40,9, nilai TSS dapat tersisihkan sebesar 94,8 %, dan nilai warna dapat tersisihkan sebesar 87,0 %. Pada proses Fenton variasi yang paling efektif adalah dengan perbandingan 1,14 $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=1,14$ gram: 3,8 ml, efisiensi COD terbaik adalah 62,1 %, efisiensi TSS terbaik adalah 51,1 %, dan efisiensi warna terbaik mencapai 81,9 %. Sedangkan nilai BOD mengalami peningkatan setelah melalui AOPs ini. Namun jika dilihat rasio BOD5/COD pada dosis 1,14 $\text{FeSO}_4:3,8$ ml H_2O_2 , rasio BOD5/COD mengalami peningkatan dari 0,3 menjadi 0,6. Hal ini menandakan bahwa kemampuan biodegradabilitas lindi TPA Jatibarang meningkat.

Kata Kunci: Lindi, Koagulasi, Flokulasi, FeCl_3 , AOPs, Fenton, COD, BOD, TSS, pH

Abstract

[Leachate Treatment Method Using Coagulation Flocculation with FeCl_3 (*Ferric Chloride*) and AOPs (*Advanced Oxidation Process*) with $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ Case Study : Jatibarang Landfill]. Landfill leachate Jatibarang generally have a high organic matter content and presence that exceeds quality standards can pollute the environment if not done processing beforehand. Leachate treatment using flocculation and coagulation technology *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) can be used as an alternative treatment of landfill leachate Jatibarang. This research was conducted using the method of coagulation-flocculation with FeCl_3 coagulant and technology AOPs with Fenton ($\text{Fe} / \text{H}_2\text{O}_2$) in order to determine the optimum dose of coagulant FeCl_3 and analyze the results and efficiency of processing on the parameters BOD, COD, TSS and color. The study was conducted in a laboratory scale with varying doses varying FeCl_3 and FeSO_4 to AOPs process. The results of the study indicate that the optimum dose of coagulant FeCl_3 is at a dose of 12 g / L, at the dose may be excluded COD value of 36,8%, a value of 40,9 BOD can be excluded, the value of TSS can be excluded by 94,8 %, and the value colors can be excluded by 87,0%. In Fenton process variations are most effective with a ratio of 1,14 $\text{FeSO}_4: \text{H}_2\text{O}_2 = 1,14$ g: 3,8 ml, the best

COD efficiency is 62,1%, best TSS efficiency is 51,1%, and the efficiency of achieving the best color 81.9%. While the BOD value increase after going through this AOPs. However, if viewed ratio BOD5 / COD at a dose of 1,14 FeSO₄: 3,8 ml H₂O₂, the ratio of BOD5 / COD increased from 0,3 to 0,6. This indicates that the biodegradability of Jatibarang increased landfill leachate

Key Words: *Leachate, Coagulation, Flocculation, FeCl₃, AOPs, Fenton, COD, BOD, TSS, pH*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Masalah utama yang dijumpai dalam aplikasi penimbunan/pengurugan sampah atau limbah padat lainnya ke dalam tanah adalah kemungkinan pencemaran air tanah oleh lindi (Damanhuri, 2008). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik lindi, pada umumnya hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa parameter lindi yaitu mengandung BOD dan COD jauh lebih besar dari air buangan (Ali, 2011). Lindi yang berasal dari timbunan sampah yang masih baru biasanya ditandai oleh kandungan asam lemak volatile dan rasio BOD dan COD yang tinggi, sementara lindi dari timbunan sampah yang lama akan mengandung BOD dan COD dan konsentrasi pencemaran lebih rendah (Ali, 2011)

TPA Jatibarang merupakan pusat dari pembuangan sampah Kota Semarang. Lindi yang dihasilkan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Jatibarang Kota Semarang hingga saat ini masih belum terolah dengan baik, hal ini dapat dilihat dari peninjauan kondisi lapangan di TPA Jatibarang. Besarnya volume sampah yang masuk setiap harinya sangat berpotensi menghasilkan lindi dalam jumlah yang besar. Lindi yang tidak terolah dapat meresap ke dalam tanah dan memiliki potensi bercampur dengan air tanah sehingga menimbulkan pencemaran tanah, air tanah dan air permukaan. Pada umumnya lindi memiliki nilai rasio BOD₅/COD sangat rendah (<0,4). Nilai rasio yang sangat rendah ini

mengindikasikan bahwa bahan organik yang terdapat dalam air lindi bersifat sulit untuk didegradasi secara biologis. Angka perbandingan yang semakin rendah mengindikasikan bahan organik sangat sulit terurai (Alaerts, 1984). Namun, kondisi tempat pembuangan sampah yang sudah tua membuat dekomposisi limbah cukup sulit diolah dengan proses biologi, karena kehadiran zat yang beracun dan zat yang sulit terurai. Oleh karena itu penerapan proses fisika-kimia di tempat pembuangan sampah yang sudah tua wajib diterapkan menurut Carlos yang dikutip di (S.K & Tang, 2013).

Pengolahan fisika-kimia yang dipilih adalah menggunakan proses koagulasi flokulasi kemudian dilanjutkan menggunakan proses AOPs. Perlakuan awal lindi adalah melalui proses koagulasi flokulasi karena pengendapan dengan koagulan tidak cukup untuk menurunkan kadar COD, BOD, TSS dan warna dalam limbah. Proses koagulasi flokulasi dilakukan dengan penambahan koagulan FeCl₃, karena Fe³⁺ dan produk Fe³⁺ lainnya dapat bereaksi dengan koloid negatif (Rui, Daud, & Abdul Latif, 2012) dan bila koagulan ditambahkan ke dalam air atau air limbah akan terjadi destabilisasi koloid dan terbentuk partikel flokulen (Masduqi & Slamet, 2000) sedangkan proses AOPs dengan Fenton akan menghasilkan radikal bebas yang berfungsi untuk memotong (menyederhanakan) zat organik yang terdapat di lindi. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dijadikan pertimbangan untuk melakukan penelitian tentang pengolahan lindi menggunakan

metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl_3 (*Ferric Chloride*) dan AOPs (*Advanced Oxidation Process*) dengan $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ (Fenton).

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, antara lain :

3. COD, TSS, dan warna dengan teknologi AOPs (*Advanced Oxidation Process*) kombinasi $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ pada lindi TPA Jatibarang.

METODOLOGI

Metodologi penelitian ini meliputi :

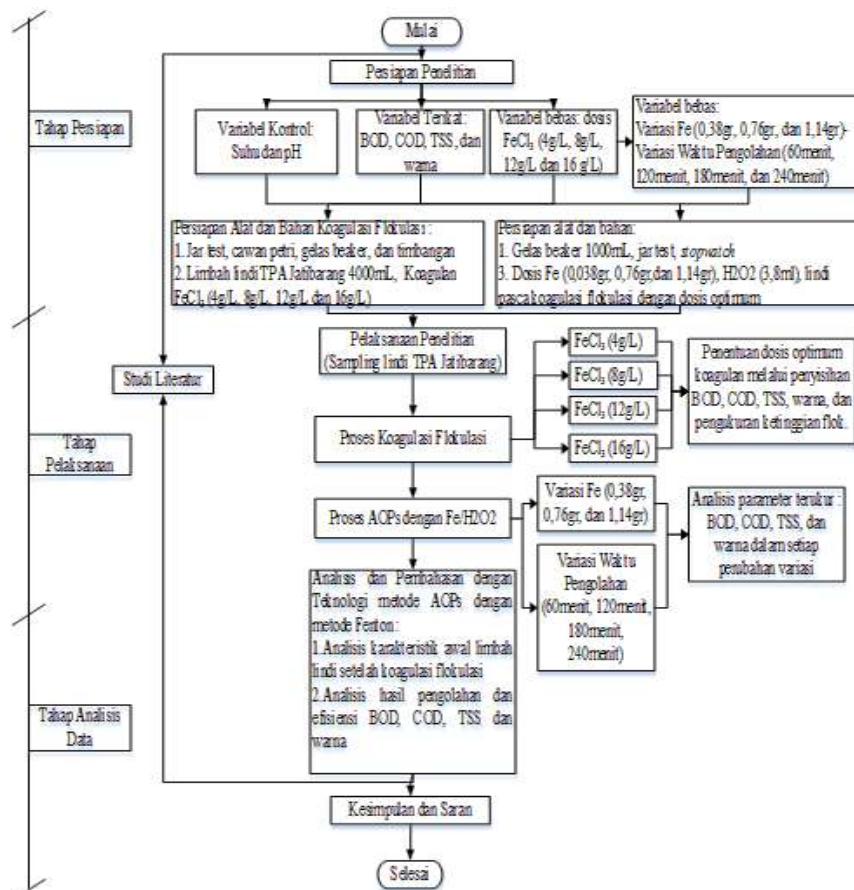
Waktu dan Tempat Penelitian

Dilaksanakan pada bulan Juni – Juli 2016 dengan lokasi penelitian di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro dengan sampel lindi yang diambil di titik outlet TPA Jatibarang pada koordinat $7^{\circ} 01' 39,04''$ S dan $110^{\circ} 21' 35,4''$ T.

Alat dan Bahan Penelitian

1. Mengetahui dosis optimum koagulan FeCl_3 berdasarkan variasi dosis yang ditentukan untuk pengolahan lindi di TPA Jatibarang.
2. Menganalisis hasil serta efisiensi pengolahan pada parameter BOD, Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
 1. *Jar test* dengan merk FC4S Velp Scientifica
 2. Gelas beker 1000mL (4buah) untuk proses koagulasi flokulasi dan AOPs dengan merk Iwaki.
 3. Cawan petri
 4. Timbangan dengan merk Ohaus
 5. Labu Erlenmayer dengan merk Iwaki
 6. FeCl_3 dengan merk Merck
 7. FeSO_4 dengan merk Merck
 8. H_2O_2 PA 30% dengan merk Merck
 9. Lindi

Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lindi TPA Jatibarang Semarang

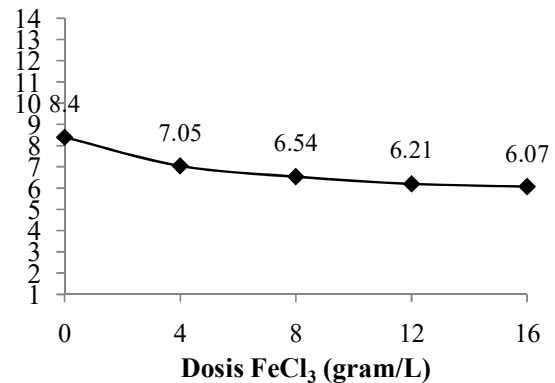
Berdasarkan hasil uji karakteristik awal lindi TPA Jatibarang dengan batasan parameter yang digunakan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 Lampiran IX (Baku Mutu Air Limbah Untuk Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Ditetapkan Baku Mutunya) golongan I dan untuk parameter warna yang tidak tercantum maka digunakan Kepmenkes No 907/Menkes/SK/VII/2002 telah didapatkan data seperti pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 4.1
Karakteristik Lindi TPA Jatibarang Kota Semarang

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu
1.	pH	-	8,4	6-9
2.	Suhu	°C	29,3	38
3.	COD	(mg/L)	3635	100
4.	BOD ₅	(mg/L)	1250	50
5.	TSS	(mg/L)	746	100
6.	Warna	Pt Co	1143	15

Hasil Pengukuran pH Lindi TPA Jatibarang Pada Proses Koagulasi Flokultasi

pH atau derajat keasamaan digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. Tujuan pengukuran pH sebelum dilakukan proses koagulasi flokulasi adalah untuk mengetahui pH lindi TPA Jatibarang agar pemilihan koagulan dapat tepat, sehingga proses koagulasi flokulasi dapat berjalan dengan optimum, reaksi koagulan FeCl₃ berlangsung pada pH optimum yaitu 4-12. Sedangkan pengukuran pH setelah proses koagulasi flokulasi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan nilai pH lindi TPA Jatibarang berdasarkan variasi dosis penambahan FeCl₃ yang diberikan di sampel lindi TPA Jatibarang. Gambar 4.3 adalah grafik penurunan pH setelah proses koagulasi flokulasi:



Gambar 2 : Grafik Penurunan pH

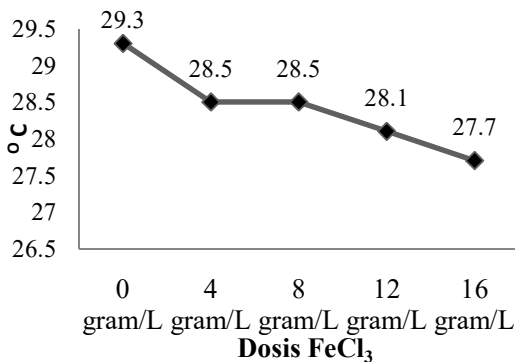
Pengukuran pH dilakukan sebelum dan sesudah diberi perlakuan dengan penambahan dosis koagulan FeCl₃. Penurunan pH menjadi asam yang terjadi pada setiap perlakuan dengan koagulan FeCl₃ disebabkan oleh FeCl₃ yang bersifat asam dan dapat menetralkan pH yang tadinya basa. Semakin tinggi penambahan dosis koagulan FeCl₃ maka semakin besar pula persentase menjadi asam yang terjadi. Seperti yang disebutkan (Asmadi & Suharno, 2012) penambahan koagulan yang semakin tinggi akan menyebabkan penurunan pH dalam kondisi asam yang semakin tinggi pula.

FeCl₃ merupakan garam logam yang biasa digunakan sebagai koagulan. FeCl₃ digunakan sebagai koagulan karena sifatnya yang akan mengion di dalam air menjadi kation. Pada gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan pH pada setiap penambahan dosis koagulan. Penurunan pH tersebut terjadi karena alkalinitas yang ada dipakai untuk menghidrolisis kation besi menjadi padatan Fe(OH)₃ (Wulan P., Dianursanti, Gozan, & Nugroho, 2010). Koagulan FeCl₃ bersifat asam dan memiliki rentang pH yang lebih besar dibandingkan dengan koagulan lainnya (Pernitsky, 2003). Penurunan nilai pH disebabkan berdasarkan reaksi hidrolisis FeCl₃ adalah sebagai berikut:



Hasil Pengukuran Suhu Lindi TPA Jatibarang

Pengukuran suhu sebelum proses koagulasi flokulasi bertujuan untuk mengetahui kondisi awal suhu yang terdapat pada lindi TPA Jatibarang, sedangkan pengukuran suhu setelah proses koagulasi flokualsi bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan dari proses koagulasi flokulasi dengan variasi dosis FeCl_3 . Berikut dapat dilihat pada gambar 3 yang menggambarkan mengenai perubahan suhu setelah proses koagulasi flokulasi dengan variasi dosis FeCl_3 :



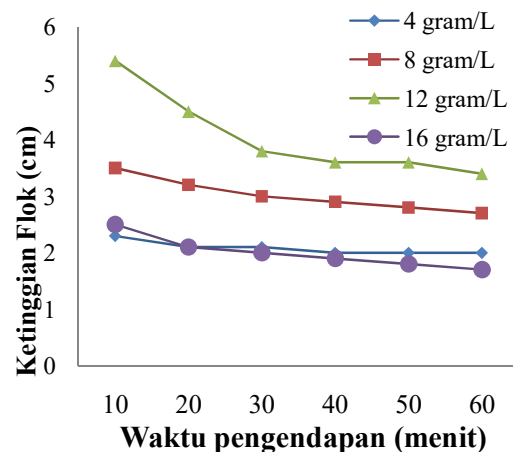
Gambar 3 : Grafik Penurunan Suhu

Suhu lindi TPA Jatibarang setelah perlakuan berada pada rentang $28,5^{\circ}\text{C}$ – $27,7^{\circ}\text{C}$ yang mana penambahan koagulan pada penelitian ini tidak mempengaruhi suhu lindi TPA Jatibarang secara signifikan. Jika dilihat dari gambar 4.3 yang menjelaskan grafik perubahan suhu lindi setelah proses koagulasi flokulasi dengan variasi dosis koagulan FeCl_3 pada dosis 4 gram/L dan 8 gram/L penurunan suhu berada pada titik yang sama. Jika koagulan FeCl_3 dilarutkan dalam air mengalami hidrolisis yang merupakan reaksi eksotermis, reaksi eksotermis ditandai dengan meningkatnya suhu. Namun pada proses ini suhu mengalami penurunan setelah mendapat perlakuan koagulasi flokulasi, penurunan suhu yang terjadi diduga karena terjadinya pelepasan panas oleh gas CO_2 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan koagulan

FeCl_3 tidak mempengaruhi perubahan suhu secara signifikan. Rentang suhu tersebut masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 lampiran IX Golongan 1 dengan kadar maksimum suhu di dalam air limbah sebesar 38°C .

Hasil Pengukuran Ketinggian Flok Lindi TPA Jatibarang

Proses koagulasi flokulasi menjelaskan mengenai sifat FeCl_3 yang akan mengion di dalam air menjadi Fe^{3+} , kation ini nantinya akan bereaksi dengan alkalinitas dan terhidrolisis menjadi padatan hidroksida logam ($2\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$). Dengan adanya padatan hidroksida logam ini, mekanisme destabilisasi partikel koloid, khususnya mekanisme pemerangkapan partikel koloid dalam endapan akan dapat terjadi (flok). Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan dosis koagulan mempunyai peran penting dalam menentukan ukuran flok yang akan dihasilkan.



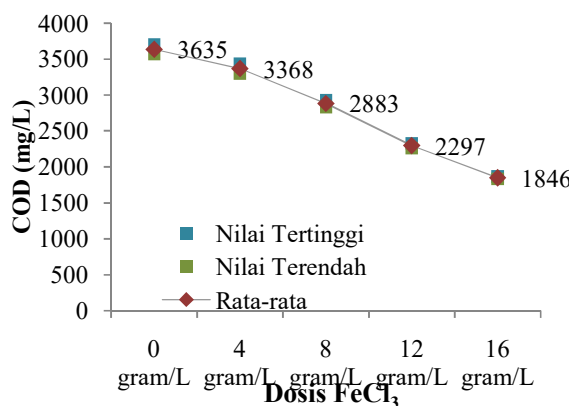
Gambar 4 : Grafik Pengukuran Ketinggian Flok

Jika dilihat dari grafik di atas pemberian dosis koagulan FeCl_3 mempengaruhi dalam terbentuknya flok. Pada pemberian dosis koagulan 4 gram/L, 8 gram/L, dan 12 gram/L terjadi peningkatan ketinggian flok yang terbentuk, hal tersebut dapat disimpulkan

bahwa semakin besar dosis yang diberikan maka semakin tinggi flok yang terbentuk. Namun hal tersebut tidak terjadi ketika pemberian dosis 16 gram/L, ketinggian flok pada dosis ini menurun jika dibandingkan dengan dosis 8 gram/L dan 12 gram/L. Pada dosis 16 gram/L peran koagulan pada proses koagulasi flokulasi menjadi semakin menurun, dan menyebabkan fungsi koagulan tidak berjalan sehingga menimbulkan sifat koagulan yang dapat menjadi pengotor pada sampel yang akan diujikan. Hal tersebut disebabkan oleh dosis koagulan yang melebihi dosis optimum dapat menyebabkan restabilisasi dari zat tersuspensi (Reynold, 1996).

Hasil Penurunan Konsentrasi COD Setelah Melalui Proses Koagulasi Flokulasi

Nilai COD tinggi mengindikasikan semakin besar tingkat pencemaran air yang terjadi oleh bahan-bahan organik. Tujuan penyisihan nilai COD dalam lindi adalah untuk mengurangi pencemaran air oleh zat organik yang dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Berikut gambar 4.5 dan tabel 4.4 berupa hasil penyisihan COD dengan variasi dosis FeCl_3



Gambar 5 : Grafik Penurunan COD

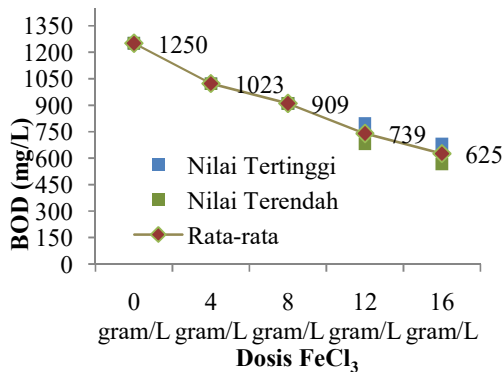
Penggunaan keempat variasi kadar FeCl_3 telah dapat menurunkan kadar COD yang bervariasi, penurunan nilai COD yang paling tinggi adalah pada pemberian dosis FeCl_3 pada dosis 16 gr/L. Adanya

penurunan kadar COD disebabkan oleh penambahan FeCl_3 sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi. Pada proses koagulasi flokulasi pada sampel lindi dengan penambahan variasi konsentrasi koagulan FeCl_3 yang disertai dengan pengadukan cepat 150 rpm selama 3 menit menghasilkan dispersi seragam dan meningkatkan kontak serta tumbukan antar partikel-partikel koloid, zat organik, dan *suspended solid*. Tumbukan-tumbukan tersebut menghasilkan reaksi kimia, dimana muatan negatif partikel-partikel koloid yang saling tolak menolak dalam lindi ternetralisasi oleh ion-ion positif larutan koagulan dan akhirnya partikel-partikel koloid saling tarik-menarik dan menggumpal membentuk flok. Pengolahan lindi TPA Jatibarang menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl_3 dapat menurunkan nilai COD dengan adanya hasil samping yaitu pembentukan koloidal ($2\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$) yang dapat dilihat pada reaksi (4.1) dari bahan organik yang bergabung menjadi partikel yang lebih besar dan kemudian mengendap. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pengolahan lindi TPA Jatibarang menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl_3 dengan variasi dosis dapat menyisihkan nilai COD yang dihasilkan namun nilai COD tersebut masih belum sesuai persyaratan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 Lampiran IX Golongan 1 sebesar 100mg/L. Oleh sebab itu maka akan dilakukan pengolahan lindi TPA Jatibarang lebih lanjut dengan metode AOPs dengan $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$.

Hasil Penurunan Konsentrasi BOD Setelah Melalui Proses Koagulasi Flokulasi

Nilai BOD yang tinggi dalam lindi TPA Jatibarang menunjukkan bahwa jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dalam air tersebut tinggi, berarti dalam air sudah terjadi defisit

oksigen. Banyaknya mikroorganisme yang tumbuh dalam air disebabkan banyaknya makanan yang tersedia (bahan organik), oleh karena itu secara tidak langsung BOD selalu dikaitkan dengan kadar bahan organik dalam air. Grafik penyisihan BOD dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini:



Gambar 6 : Grafik Penurunan BOD

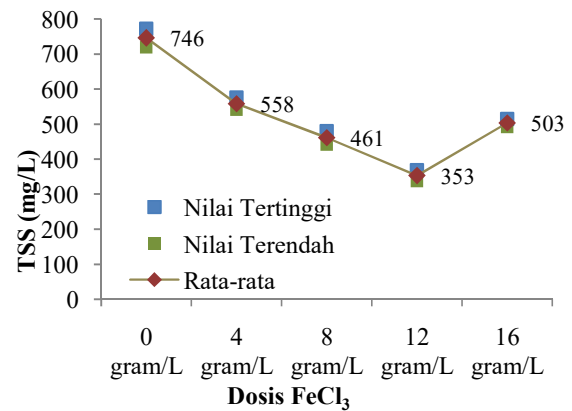
FeCl₃ sebagai koagulan mempunyai peran penting dalam penyisihan BOD pada lindi TPA Jatibarang. Penggunaan variasi dosis koagulan yakni 4 gram/L, 8 gram/L, 12 gram/L, dan 16 gram/L, penyisihan BOD pada pada dosis 16 gram/L memiliki nilai penyisihan terbesar yakni dapat menurunkan nilai BOD dari 1250 mg/L hingga 625 mg/L.

Pengolahan lindi TPA Jatibarang menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl₃ dapat menurunkan nilai BOD, hal ini disebabkan adanya Adanya penurunan kadar BOD disebabkan oleh penambahan FeCl₃ sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi. Pada proses koagulasi-flokulasi lindi dengan penambahan variasi konsentrasi koagulan FeCl₃ yang disertai dengan pengadukan cepat 150 rpm selama 3 menit menghasilkan dispersi seragam dan meningkatkan kontak serta tumbukan antar partikel-partikel koloid, zat organik, dan *suspended solid*. Tumbukan-tumbukan tersebut menghasilkan reaksi kimia, dimana muatan negatif partikel-partikel koloid yang saling tolak menolak dalam lindi ternetralisasi oleh ion-ion positif

larutan koagulan dan akhirnya partikel-partikel koloid saling tarikmenarik dan menggumpal membentuk flok.

Hasil Penurunan Konsentrasi TSS Setelah Melalui Proses Koagulasi Flokulasi

TSS (*Total Suspended Solid*) atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas milipore berpori-pori 0,45 µm. Materi yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena membatasi penetrasi matahari ke badan air. Gambar 7 merupakan grafik penyisihan nilai TSS dengan variasi dosis koagulan FeCl₃:



Gambar 7 : Grafik Penurunan TSS

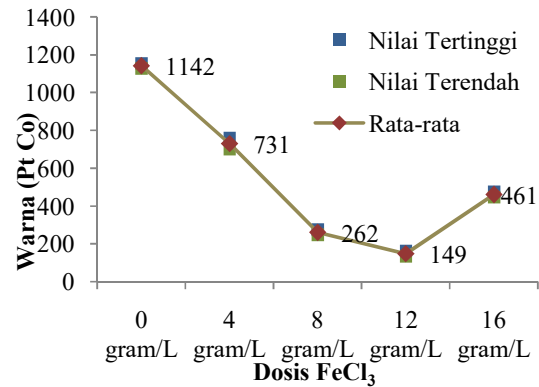
Pada gambar 7 di atas menunjukkan perubahan TSS akibat variasi dosis FeCl₃ sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi. Perubahan ini terjadi pada dosis 4 gram/L, 8 gram/L, 12 gram/L, dan 16 gram/L. *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan parameter penting dalam kualitas air minum untuk keberlangsungan hidup manusia dan kehidupan air (Ginting & Mamo, 2006). Pada dosis FeCl₃ 12 gram/L TSS memiliki nilai penyisihan yang paling besar yaitu sebesar 353 mg/L, sedangkan pada dosis 16 gram/L terjadi kenaikan nilai TSS dari dosis sebelumnya mencapai sehingga mengalami peningkatan menjadi 503 mg/L. Adanya penurunan kadar TSS

disebabkan oleh penambahan FeCl_3 sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi yang melebihi batas optimum.

Hal tersebut disebabkan oleh dosis koagulan FeCl_3 yang diberikan sudah tidak optimal, sehingga peran dosis yang awalnya sebagai penyisihan TSS dapat menjadi pengotor dari sampel yang diujikan. Hal tersebut disebabkan oleh dosis koagulan yang melebihi dosis optimum dapat menyebabkan restabilisasi dari zat tersuspensi (Reynold, 1996). Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pengolahan lindi TPA Jatibarang menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan koagulan FeCl_3 dengan variasi dosis dapat menyisihkan nilai TSS yang dihasilkan namun nilai COD tersebut masih belum sesuai persyaratan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 Golongan 1 sebesar 100 mg/L. Oleh sebab itu maka akan dilakukan pengolahan lindi TPA Jatibarang lebih lanjut dengan metode AOPs dengan $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$.

Hasil Penurunan Nilai Warna Setelah Melalui Proses Koagulasi Flokulasi

Warna sebenarnya (*true colour*) biasanya disebabkan oleh adanya kehadiran zat organik terlarut dan koloid. Sebelum pengukuran warna sebenarnya dilakukan penghilangan padatan tersuspensi dengan penyaringan. Pengujian warna skala laboratorium menggunakan metode pengujian duplo (metode pengujian dengan pengulangan, atau pengujian sebanyak dua kali pada sampel yang sama. Tujuan dari penyisihan warna adalah untuk mengurangi kehadiran zat organik terlarut dan koloid dalam lindi TPA Jatibarang. Grafik penyisihan warna berdasarkan variasi dosis koagulan FeCl_3 dapat dilihat pada gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 8 : Grafik Penurunan Warna

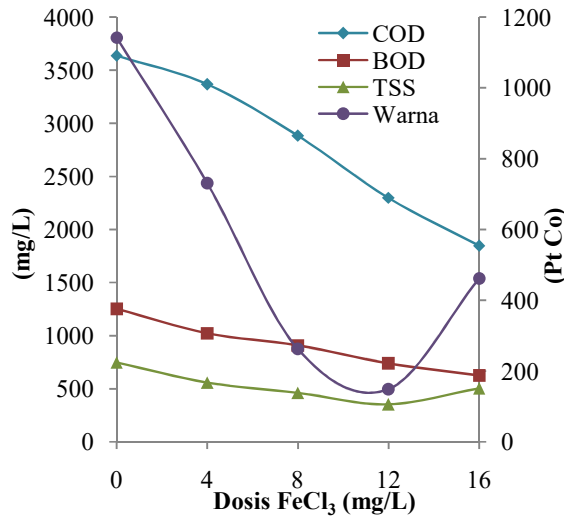
Gambar merupakan hasil dari penyisihan warna melalui metode koagulasi flokulasi menggunakan FeCl_3 sebagai koagulan dengan nilai penyisihan terbesar yaitu pada dosis 12 gram/L mampu menyisihkan 1142 Pt Co menjadi 149 Pt Co, sedangkan pada variasi dosis 16 gram/L hanya mampu menyisihkan 1142 Pt Co menjadi 461 Pt Co. Pada dosis 16 gram/L kemampuan dari koagulan FeCl_3 tidak dapat berjalan dengan baik sehingga menurunkan fungsi dari koagulan tersebut dalam menyisihkan menurunkan nilai warna.

Pada gambar 8 terlihat bahwa seiring bertambahnya dosis koagulan dalam proses koagulasi flokulasi, maka nilai warna setelah proses semakin menurun dan efisiensi penurunan warna semakin besar. Penurunan warna disebabkan oleh adanya pembentukan muatan positif hidroksida akibat reaksi hidrolisis oksida dengan air sehingga yang menyerap zat organik penyebab warna (zat asam humat dan fulvat) sebelum hidroksida mengendap (Hendricks, 2005). Namun, ada beberapa terjadinya peningkatan nilai warna setelah proses resirkulasi, hal tersebut disebabkan oleh adanya muatan positif hidroksida berlebih (Amir & Isnaniawardhana, 2009).

Penentuan Dosis Optimum Pada Proses Koagulasi Flokulasi

Penentuan dosis optimum pada proses koagulasi flokulasi berdasarkan

pada hasil penyisihan nilai COD, BOD, TSS, dan warna yang terdapat pada lindi. Grafik nilai COD, BOD, TSS, dan warna berdasarkan pada variasi dosis FeCl_3 terdapat pada gambar 4.10 di bawah ini:



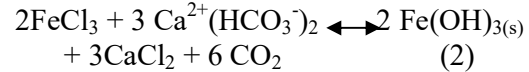
Gambar 9 :Grafik Nilai COD, BOD, TSS, dan Warna dengan Variasi Dosis FeCl_3

Lindi TPA Jatibarang yang digunakan berwarna hitam kecoklatan. Lindi tersebut mengalami penurunan COD terbaik pada dosis koagulan FeCl_3 sebesar 16 gram/L, pada dosis tersebut COD yang terkandung pada lindi sebesar 3635 mg/L mampu tersisihkan hingga mencapai 1846 mg/L, sedangkan pada dosis 12 gram/L mampu menyisihkan nilai COD hingga mencapai 2297 mg/L. Sedangkan untuk nilai BOD mengalami penurunan terbaik pada dosis koagulan FeCl_3 sebesar 16 gram/L, pada dosis tersebut BOD yang terkandung pada lindi sebesar 1250 mg/L mampu tersisihkan hingga mencapai 625 mg/L, sedangkan pada dosis 12 gram/L mampu menyisihkan nilai BOD hingga mencapai 739 mg/L.

Namun dalam penyisihan TSS dan warna dosis koagulan FeCl_3 sebesar 16 gram/L tidak dapat menyisihkan lebih baik jika dibandingkan dengan dosis koagulan 12 gram/L. Pada dosis koagulan FeCl_3 12 gram/L mampu menyisihkan nilai TSS

sebesar 353 mg/L dari nilai TSS lindi sebesar 746 mg/L, sedangkan pada dosis FeCl_3 16 gram/L mampu menyisihkan TSS mencapai 503 mg/L. Pada dosis koagulan FeCl_3 12 gram/L mampu menurunkan nilai warna sebesar 149 Pt Co dari nilai warna lindi sebesar 2856 Pt Co, sedangkan pada dosis FeCl_3 16 gram/L mampu menurunkan warna mencapai 461 Pt Co.

Pada pemberian dosis FeCl_3 4 gram/L, 8 gram/L, 12 gram/L, dan 16 gram/L ke lindi TPA Jatibarang mulai terbentuk buih. Dilihat pada gambar 9 semakin banyak dosis FeCl_3 yang ditambahkan maka akan semakin banyak buih yang dihasilkan, buih yang paling banyak dihasilkan sehingga mengurangi volume lindi sampai tumpah ke luar gelas beaker adalah ketika penambahan FeCl_3 sebesar 16 gram/L. Terbentuknya buih yang adalah hasil reaksi dari koagulan sesuai dengan reaksi di bawah ini:



Dari reaksi 2 dimana hasil samping proses koagulasi flokulasi menggunakan FeCl_3 adalah terbentuknya CO_2 . Apabila dosis FeCl_3 yang diberikan terlalu kecil maka akan mengakibatkan rendahnya pemerangkapan partikel koloid sehingga menurunkan efisiensi mekanisme *sweep flocc*, jika dosis FeCl_3 yang diberikan terlalu besar maka akan mengakibatkan kelebihan (Fe^{3+}) pada suspensi yang menyebabkan restabilisasi muatan partikel koloid karena terjadinya adsorpsi *counter ion* dalam kasus ini adalah kation besi, bila *counter ion* berlebih maka muatan partikel koloid akan menjadi + dan partikel-prtikel ini justru akan saling menjauh sehingga mengakibatkan gaya van der waals tidak terbentuk (Wulan P., Dianursanti, Gozan, & Nugroho, 2010). Pada dosis 16 gram/L FeCl_3 koagulan tidak berfungsi secara optimal, sehingga menjadi pengotor untuk lindi yang diberi

dosis tersebut. Pernyataan tersebut dibuktikan dengan meningkatnya nilai TSS dan warna. Oleh sebab itu, dosis optimum yang dipilih pada penelitian ini adalah sebesar 12 gram/L.



Gambar 10: Penambahan Dosis $FeCl_3$ untuk Lindi TPA Jatibarang

Karakteristik Lindi TPA Jatibarang Setelah Proses Koagulasi Flokulasi dengan Dosis $FeCl_3$ yang Optimum

Karakteristik lindi TPA Jatibarang setelah mendapatkan dosis optimum dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 2: Data Hasil Uji Karakteristik Lindi Setelah Koagulasi Flokulasi dengan Dosis Optimum

No	Parameter	Satuan	Hasil *	Hasil **	Baku Mutu
1.	pH	-	8,3	6,3	6-9
2.	Suhu	°C	29,2	28,1	38
3.	COD	(mg/L)	3468	2398	100
4.	BOD ₅	(mg/L)	1193	625	50
5.	TSS	(mg/L)	696	393	100
6.	Warna	Pt Co	2963	589	15

*= Analisis Lindi

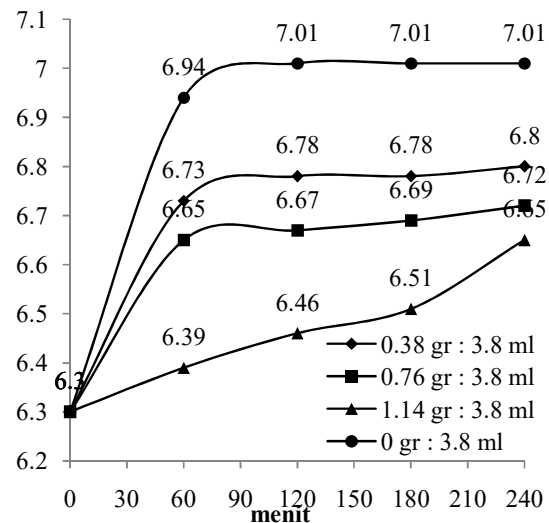
**= Analisis Setelah Koagulasi Flokulasi dengan Dosis Optimum

Efisiensi penyisihan yang dibahas dalam penelitian ini adalah COD, BOD, TSS, dan warna setelah lindi TPA Jatibarang memperoleh dosis optimum dari proses koagulasi flokulasi yakni sebesar 12 gram/L. Karakteristik limbah setelah proses koagulasi flokulasi belum memenuhi baku mutu limbah sesuai dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 Lampiran IX Golongan 1 dan Kepmenkes No 907/Menkes/SK/VII/2002, sehingga lindi TPA Jatibarang masih membutuhkan

pengolahan lebih lanjut. Untuk pengolahan lebih lanjut akan menggunakan proses AOPs dengan $Fe-H_2O_2$. Proses AOPs menggunakan $Fe-H_2O_2$ mempunyai kelebihan dalam mereduksi kontaminan secara signifikan, efisiensi tinggi, meningkatkan biodegradabilitas, dapat menghilangkan warna, COD, BOD, TSS, minyak dan bau dari limbah yang sederhana serta kemampuan pengolahan berbagai zat (Tisa, 2014).

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Nilai pH Pada AOPs dengan Variasi $FeSO_4$

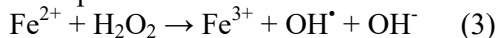
Nilai pH proses AOPs dengan variasi dosis dapat dilihat pada gambar 11 di bawah :



Gambar 11: Grafik Perubahan pH Melalui Proses AOPs dengan Variasi $FeSO_4$

Pada proses AOPs nilai pH cenderung mengalami peningkatan dari kondisi sebelumnya dan masih dalam baku mutu yang disyaratkan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 nilai pH mengalami kenaikan setelah diberi perlakuan AOPs. Menurut (Babuponnusami & Karrupan, 2013) pH di bawah 3 dapat menurunkan efisiensi degradasi karena terdapat senyawa besi kompleks yang dapat bereaksi lebih lambat dengan hidrogen peroksida daripada senyawa lainnya serta dapat menghasilkan

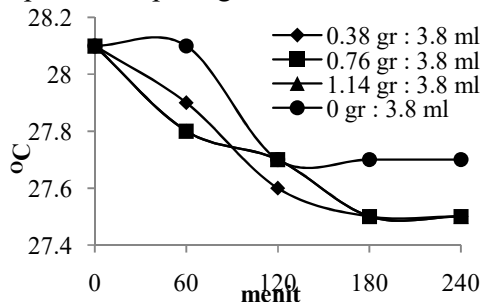
ion oxonium yang membuat hidrogen peroksida lebih stabil dan mengakibatkan reaktifitas dengan ion Fe(II) berkurang. Potensial oksidasi radikal hidroksil juga dapat menurun dengan bertambahnya pH. Pada pH 5-9 proses Fenton tidak efektif dilakukan untuk limbah cair karena pada pH basa tersebut akan semakin banyak terbentuk endapan/lumpur (Fe^{3+}) yang dapat mengganggu efisiensi penyisihan warna (Mukaromah, Ana, Yusrin, & Endah, 2012). Pada proses degradasi senyawa organik, pH larutan sangat menentukan, karena reaksi pembentukan radikal bebas dipengaruhi oleh pH larutan. Pembentukan ion Ferrous dan dekomposisi H_2O_2 akan terjadi pada kondisi asam (Wardiyati, 2012). Kenaikan nilai pH disebabkan oleh reaksi (2) karena menghasilkan OH^- yang dapat menekan nilai pH pada lindi TPA Jatibarang sehingga mengalami peningkatan, reaksi terbentuknya OH^- dilihat pada reaksi di bawah ini:



Sesuai reaksi (2) tertuliskan bahwa hasil reaksi antar Fe^{2+} dan H_2O_2 adalah terbentuknya OH^- . Dengan terbentuknya OH^- tersebut maka dapat menjadi faktor nilai pH dapat mengalami peningkatan dari nilai sebelumnya.

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Nilai Suhu pada Variasi Fe-H₂O₂

Nilai suhu dengan variasi dosis dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini:

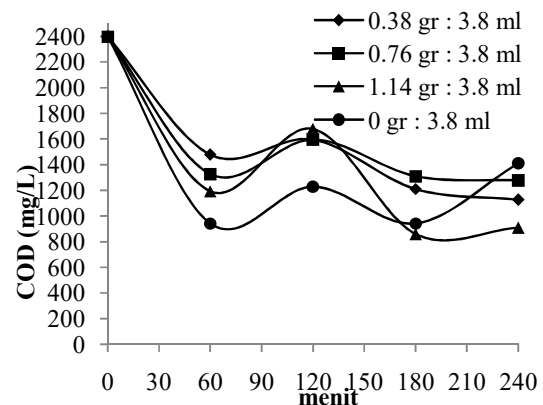


Gambar 12: Grafik Perubahan Suhu Melalui Proses AOPs dengan Variasi FeSO₄

Sesuai dengan gambar 12 maka nilai suhu mengalami cenderung mengalami penurunan yang signifikan. Proses AOPs dengan Fenton merupakan gabungan dari katalis berupa FeSO_4 dan oksidator kuat berupa H_2O_2 . Pada saat H_2O_2 mengalami dekomposisi maka akan terurai menjadi air dan gas oksigen, dengan mengikuti reaksi eksotermis. Reaksi eksotermis ditandai dengan meningkatnya suhu, namun pada proses ini suhu mengalami penurunan setelah mendapat perlakuan AOPs dengan Fenton, penurunan suhu yang terjadi diduga karena terjadinya transfer panas secara konveksi (transfer panas yang terjadi melalui aliran gas maupun cair), hal tersebut diduga menjadi salah satu faktor dalam terjadinya penurunan suhu.

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan COD pada Variasi Fe-H₂O₂

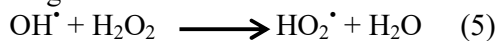
Hasil penyisihan COD dengan variasi dosis FeSO_4 pada AOPs dapat dilihat pada gambar 13 di bawah ini:



Gambar 13: Grafik Penyisihan COD Melalui Proses AOPs dengan Variasi FeSO₄

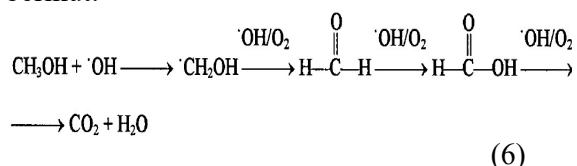
Pada proses AOPs ini juga memungkinkan terjadinya radikal scavenger, dimana OH^\bullet yang sudah terbentuk dari reaksi hidrogen peroksida (H_2O_2) dapat bereaksi kembali dengan konsentrasi H_2O_2 yang berlebih sehingga membentuk oksidator lain yaitu

HO_2^\bullet (*hidroperoxyl radical*). HO_2^\bullet ini memiliki sifat yang kurang reaktif sehingga tidak dapat bereaksi cepat dengan senyawa organik atau komponen-komponen lain. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



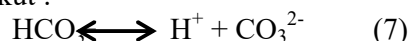
Penggunaan H_2O_2 berlebih berbahaya bagi banyak organisme dan akan mempengaruhi efisiensi degradasi keseluruhan secara signifikan. Jumlah hidrogen peroksida yang berlebih sehingga tidak terpakai selama proses pengolahan tidak dianjurkan (Babuponnusami & Karrupan, 2013).

Data hasil pengolahan juga menunjukkan bahwa secara keseluruhan dari masing-masing perlakuan, penyisihan COD mengalami fluktuasi. Nilai COD yang fluktuatif diduga disebabkan oleh radikal hidroksil yang berkerja sebagai pemotong/penyederhana rantai organik bekerja belum optimal, sehingga proses dekomposisi rantai organik belum berjalan dengan sempurna (Munter, 2001). Contoh proses dekomposisi organik (methanol) oleh radikal hidroksi adalah sebagai berikut:

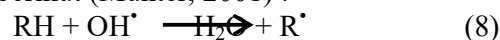


Menurut (Snoeyink & D., 1980), dalam pH asam menghasilkan CO_2 yang akan bereaksi dengan air menghasilkan asam karbonat (H_2CO_3). Asam karbonat akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion bikarbonat. Ion bikarbonat akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion karbonat. Ion bikarbonat dan karbonat berperan sebagai inhibitor dimana radikal hidroksil akan berikatan dengan ion tersebut dan membentuk karbonat radikal yang dapat bereaksi pula dengan senyawa organik. Pada kondisi ini dapat terjadi persaingan pengikatan senyawa oleh radikal hidroksil yaitu persaingan antara ion bikarbonat, karbonat dan senyawa organik. Kehadiran

ion bikarbonat dan karbonat dapat menghambat pendekomposisian senyawa organik. Pada pH basa dapat terjadi pembentukan ion karbonat yang lebih cepat. Ion karbonat 20-30 kali lebih kuat daripada bikarbonat dalam menghilangkan radikal bebas. Oleh karena itu, pada pH > 10 perlu dihindari karena ion bikarbonat akan berubah menjadi ion karbonat (Salama, 2000), sesuai dengan persamaan berikut :



Setelah melalui proses pengolahan AOPs dengan variasi Fenton, terjadi penurunan COD. Hal ini tidak lepas dari adanya radikal hidroksil yang berikatan dengan senyawa organik sesuai reaksi berikut (Munter, 2001) :



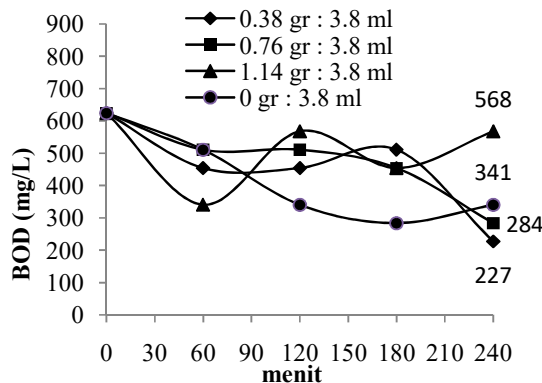
Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses Fenton dengan penambahan Fe 1,14 gr menit ke-180 menunjukkan efisiensi penyisihan COD tertinggi yaitu mencapai 64,2 %. Belum maksimalnya pengolahan lindi pada proses ini disebabkan oleh lindi TPA Jatibarang setelah proses koagulasi flokulasi dengan FeCl_3 tidak berada dalam kondisi pH asam. Sehingga kemampuan radikal hidroksil yang terbentuk sulit untuk mendegradasi senyawa organik secara keseluruhan.

Seperti studi yang dilakukan (Kurniawan & A, 2006) menyebutkan dalam proses Fenton keadaan asam yaitu dengan pH optimum, kehadiran ion H^+ dibutuhkan untuk proses dekomposisi H_2O_2 sehingga menghasilkan radikal hidroksil yang banyak untuk meningkatkan efisiensi oksidasi. Ketika pH 5-9 kecepatan dekomposisi H_2O_2 menurun karena pada pH basa tersebut akan semakin banyak terbentuk endapan/lumpur (Fe^{3+}) yang dapat mengganggu penyisihan (Mukaromah, Ana, Yusrin, & Endah, 2012). Reaksi hanya dengan H_2O_2 saja tidak efektif untuk mendegradasi kontaminan dengan

kandungan organik tinggi dan akan berjalan lambat untuk dekomposisi (Kurniawan & A, 2006).

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan BOD pada Variasi Fe-H₂O₂

Hasil pengolahan BOD melalui AOPs dengan variasi FeSO₄ dapat dilihat pada gambar 14 berikut:



Gambar 14 :Grafik Penyisihan BOD Melalui Proses AOPs dengan Variasi FeSO₄

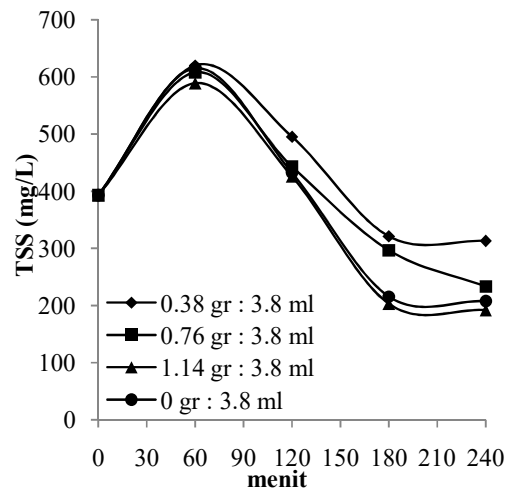
Jika dilihat terhadap waktu kontak pengolahan, efisiensi penyisihan BOD pada AOPs kombinasi Fenton variasi FeSO₄ dengan waktu kontak pengolahan 60 menit efisiensi penyisihan berkisar 18,2 % sampai dengan 45,5 %, pada waktu kontak pengolahan 120 menit efisiensi penyisihan berkisar 9,1 % sampai dengan 45,5 %, pada waktu kontak pengolahan 180 menit efisiensi penyisihan berkisar 18,2 % sampai dengan 54,5 %, sedangkan pada waktu kontak pengolahan 240 menit efisiensi penyisihan berkisar 9,1 % sampai dengan 63,6 %. Pada dosis 1,14 gram FeSO₄ : 3,8 ml H₂O₂ menit ke-180 dan ke-240 nilai BOD mengalami peningkatan yang cukup tinggi, hal ini menunjukkan bahwa proses AOPs menghasilkan radikal hidroksil yang mampu meningkatkan biodegradabilitas lindi TPA Jatibarang.

Kehadiran H₂O₂ berbahaya bagi kehidupan organisme, ketika jumlah H₂O₂ berlebih (Kurniawan & A, 2006). Menurut studi yang dilakukan (Sururi & Mohamad,

2014) disebutkan bahwa senyawa H₂O₂ diduga dapat berperan sebagai senyawa pengganggu terhadap pengukuran BOD. Jika sampel BOD mengandung zat racun, maka pertumbuhan bakteri rendah dan mengakibatkan angka BOD tinggi. Namun, hal ini tidak mempengaruhi analisis COD yang tidak tergantung dari pertumbuhan bakteri. Peningkatan nilai biodegradabilitas pada lindi TPA Jatibarang akan memudahkan limbah untuk diolah secara biologis pada proses selanjutnya.

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan TSS pada Variasi Fe-H₂O₂

Hasil pengolahan TSS pada lindi TPA Jatibarang dapat dilihat pada gambar 15 berikut:



Gambar 15 :Grafik Penyisihan TSS Melalui Proses AOPs dengan Variasi FeSO₄

Pada proses AOPs Fe-H₂O₂ penyisihan TSS dengan penambahan 0,38 gram FeSO₄ mengalami peningkatan pada menit ke-60 yaitu sebesar 620 mg/L, pada menit ke-120 mengalami penurunan hingga mencapai 495 mg/L untuk menit ke-180 mengalami penurunan mencapai 321 mg/L, dan pada menit ke-240 mengalami penurunan mencapai 313 mg/L. Pada penambahan 0,76 gram FeSO₄ mengalami peningkatan pada menit ke-60

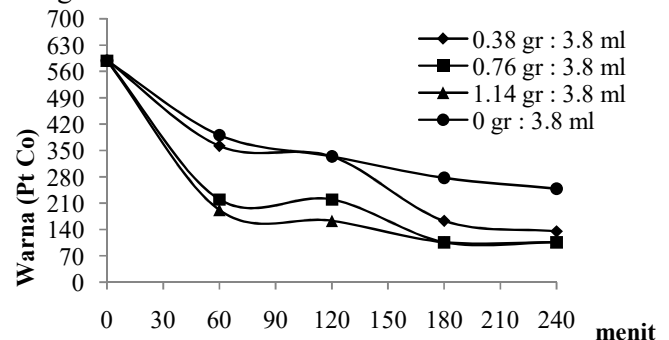
yaitu sebesar 608 mg/L, pada menit ke-120 mengalami penurunan hingga mencapai 443 mg/L untuk menit ke-180 mengalami penurunan mencapai 297 mg/L, dan pada menit ke-240 mengalami penurunan mencapai 233 mg/L. Pada variasi penambahan 1,14 gram FeSO_4 mengalami peningkatan pada menit ke-60 yaitu sebesar 589 mg/L, pada menit ke-120 mengalami penurunan hingga mencapai 426 mg/L untuk menit ke-180 mengalami penurunan mencapai 203 mg/L, dan pada menit ke-240 mengalami penurunan mencapai 192 mg/L. Sedangkan untuk proses AOPs tanpa penambahan FeSO_4 nilai TSS mengalami peningkatan sebesar 615 mg/L pada menit ke-60, kemudian mengalami penurunan pada menit ke-120 yaitu sebesar 432 mg/L, untuk menit ke-180 mengalami penurunan mencapai 216 mg/L dan pada menit ke-240 mengalami penurunan hingga mencapai 208 mg/L, menurut (Mukaromah, Ana, Yusrin, & Endah, 2012) pada pH 5-9 proses Fenton tidak efektif dilakukan untuk limbah cair karena pada pH basa tersebut akan semakin banyak terbentuk endapan/lumpur (Fe^{3+}) yang dapat mengganggu efisiensi penyisihan warna dan TSS. Pada proses kombinasi $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ dengan variasi FeSO_4 1,14 gr menit ke-240 nilai TSS mengalami penurunan yang signifikan terhadap TSS, hal tersebut sebanding dengan nilai COD yang mengalami penurunan terbaik pada menit ke-240 dengan nilai FeSO_4 1,14 gr.

Berdasarkan penelitian (Isyuniarto, 2006) penurunan partikulat TSS dikarenakan radikal hidroksil langsung bertumbukan dengan zat organik dalam air limbah sehingga dapat mengoksidasi parameter pencemar dalam air limbah. Terbentuknya Fe^{3+} dihasilkan melalui reaksi (3), hasil samping dari Fe^{2+} dan H_2O_2 adalah terbentuknya Fe^{3+} . Fe^{3+} merupakan kation golongan IIIA yang mudah larut dalam suasana asam, jika laurtan tidak berada dalam suasana asam maka Fe^{3+} akan membentuk endapan

berwarna merah. Pada proses Fenton, Penyisihan TSS terbaik terjadi pada menit ke-240 dengan penambahan Fe 1,14 gr yaitu mencapai 192 mg/l. Jika dibandingkan dengan penambahan Fe 0,38 gr dan Fe 0,76 gr, nilai penyisihan TSS dosis Fe 1,14 gr seiring waktu proses pengamatan selama 4 jam. Pada penambahan Fe 1,14 gr menghasilkan penyisihan organik yang paling besar. Hal ini dikarenakan telah terjadi peningkatan ion Fe^{2+} dengan konsentrasi H_2O_2 yang digunakan sehingga mampu meningkatkan degradasi. Ion Fe^{2+} yang dioksidasi akan menghasilkan ion Fe^{3+} . Jika jumlah ion garam besi tidak digunakan akan memberikan kontribusi bagi total padatan terlarut dalam limbah (Babuponnusami & Karrupan, 2013). Peningkatan nilai TSS pada menit ke-60 dan ke-120 dapat dikaitkan juga dengan keadaan pH, semakin basa keadaan suatu pH maka jumlah TSS akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan pada saat keadaan pH basa dapat mempercepat reaksi oksidasi hingga terbentuk Fe^{3+} yang mengendap dan menghasilkan semakin banyak endapan lumpur.

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan Warna pada Variasi $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$

Hasil penyisihan warna lindi TPA Jatibarang dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 16 di bawah ini:



Gambar 16: Grafik Penyisihan Warna Melalui Proses AOPs dengan Variasi FeSO_4

Jika dilihat terhadap waktu kontak pengolahan, efisiensi penyisihan warna pada AOPs kombinasi Fenton variasi FeSO_4 dengan waktu kontak pengolahan 60 menit efisiensi penyisihan berkisar 33,7 % sampai dengan 67,5 %, pada waktu kontak pengolahan 120 menit efisiensi penyisihan berkisar 43,4 % sampai dengan 72,3 %, pada waktu kontak pengolahan 180 menit efisiensi penyisihan berkisar 53,0 % sampai dengan 81,9 %, sedangkan pada waktu kontak pengolahan 240 menit efisiensi penyisihan berkisar 57,8 % sampai dengan 81,9 %. Pada waktu pengamatan ke-180 menit dan ke-240 menit dengan penambahan dosis 0,76 gr dan 1,14 FeSO_4 , perubahan warna mengalami stabil. Pemberian $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$ pada kondisi lindi yang tidak berada pH disekitar 3 mengakibatkan terbentuknya endapan lumpur, sehingga proses penyisihan warna kurang optimal. Terbentuknya Fe^{3+} dihasilkan melalui reaksi (4.3), hasil samping dari Fe^{2+} dan H_2O_2 adalah terbentuknya Fe^{3+} . Fe^{3+} merupakan kation golongan IIIA yang mudah larut dalam suasana asam, jika lautan tidak berada dalam suasana asam maka Fe^{3+} akan membentuk endapan berwarna merah. Endapan berwarna merah yang dihasilkan oleh Fe^{3+} mengakibatkan terganggunya AOPs dalam proses penyisihan warna penyisihan warna.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik awal lindi TPA Jatibarang yang akan diolah mempunyai nilai COD, BOD, TSS, dan warna yang tinggi dan memiliki pH yang bersifat basa.
2. Dosis optimum koagulan FeCl_3 untuk pengolahan lindi di TPA Jatibarang adalah sebesar 12 gram/L. Pada dosis 16 gram/L penyisihan TSS dan warna

dosis koagulan FeCl_3 sebesar 16 gram/L tidak dapat menyisihkan lebih baik jika dibandingkan dengan dosis koagulan 12 gram/L. Pada dosis 16 gram/L FeCl_3 koagulan tidak berfungsi secara optimal, sehingga menjadi pengotor untuk lindi yang diberi dosis tersebut. Pernyataan tersebut dibuktikan dengan meningkatnya nilai TSS dan warna. Oleh sebab itu, dosis optimum yang dipilih pada penelitian ini adalah sebesar 12 gram/L.

3. Setelah penentuan dosis optimum dari proses koagulasi flokulasi, karakteristik lindi TPA Jatibarang masih berada di atas baku mutu sesuai Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor: 5 Tahun 2012 Lampiran IX Golongan I dan Kepmenkes No 907/Menkes/SK/VII/2002. Oleh sebab itu diperlukan AOPs sebagai proses lanjutannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi COD, TSS, dan warna terbaik terjadi pada proses Fenton dengan penambahan 1,14 gr FeSO_4 : 3,8 ml H_2O_2 pada menit ke-240. Sedangkan nilai BOD mengalami peningkatan setelah melalui AOP ini. Namun jika dilihat rasio BOD/COD maka setelah AOPs mengalami peningkatan dari 0,3 menjadi 0,6. Hal ini menandakan bahwa kemampuan biodegradabilitas lindi TPA Jatibarang meningkat.

Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai buih yang dihasilkan pada setiap variasi FeCl_3
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pH *adjustment* untuk lindi yang akan diberi perlakuan AOPs dengan Fenton

3. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih rinci untuk pengolahan di menit ke-0 sampai dengan menit ke-60 pada AOPs untuk mendapatkan waktu optimum pendegradasi parameter
4. Sebaiknya setelah AOPs dengan Fenton (Fe-H₂O₂) dilakukan pengolahan tambahan secara biologi agar lindi TPA Jatibarang dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. (1984). *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Ali, M. (2011). *Rembesan Air Lindi Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. Surabaya: UPN Press.
- Amir, R., & Isnaniawardhana, J. (2009). Penentuan Dosis Optimum Alumunium Sulfat Dalam Pengolahan Air Kali Cileuleur Kota Ciamis dan Pemanfaatan Resirkulasi Lumpur dengan Parameter pH, Warna, Kekeruhan, dan TSS. 10.
- Asmadi, & Suharno. (2012). *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Babuponnusami, A., & Karrupan. (2013). Review on Fenton and Improvements to the Fenton Process for Wastewater Treatment.
- Damanhuri, E. (2008). *Diktat Landfilling Limbah*. Bandung: FTSL ITB.
- Ginting, D., & Mamo, M. (2006). Measuring Runoff-Suspended Solids Using an Improved Turbidimeter Method. *Surface Water Quality Volume*, 815-823.
- Hendricks, D. (2005). *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. USA: Taylor and Francis Groups.
- Isyuniarto. (2006). *Aplikasi Ozon Hasil Lucutan Plasma untuk Menurunkan nilai pH, COD, BOD, dan Jumlah Bakteri Limbah Cair Rumah Sakit*. Serpon: 2006.
- Kurniawan, T., & A. (2006). *Radicals-Catalyzed Oxidation Reactions For Degradation Of Recalcitrant Compounds From Landfill Leachate*. Hong Kong: Hongkong Polytechnic University.
- Masduqi, A., & Slamet, A. (2000). *Satuan Proses*. Surabaya: ITS.
- Mukaromah, Ana, H., Yusrin, & Endah, M. (2012). *Degradasi Zat Warna Rhodamin B secara Advanced Oxidation Processes Metode Fenton Berdasarkan Variasi Konsentrasi H₂O₂*. LPPM UNIMUS.
- Munter, R. (2001). *Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects*. Estonia: Tallinn Technical University.
- Pernitsky, D. (2003). *Coagulant*. Alberta: Associated Engineering Calgary.
- Reynold. (1996). *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*. Monterey: Brooks/Cole Engineering Division.



- Rui, M. L., Daud, Z., & Abdul Latif, A. A. (2012). Treatment of Leachate by Coagulation-Flocculation using Different Coagulants and Polymer: A Review. 2.
- S.K, S., & Tang, W. (2013). Statistical Analysis of Optimum Fenton Oxidation Conditions for Landfill Leachate Treatment. *Mature Landfill Leachate Treatment by Coagulation/Flocculation Combined with Fenton and Solar Photo-Fenton Process*, 81-88.
- Salama, A. (2000). *Ozone Oxidation Capabilites*. Ozonmax Ltd.
- Snoeyink, V., & D., J. (1980). *Water Chemistry*. United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- Sururi, & Mohamad, R. (2014). *Pengolahan Lindi dengan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Tisa, F. (2014). Applicability of Fluiized Bed Reactor in Recalcitrant Compound Degradation Through Advanced Oxidation Processes : A Riview.
- Wardiyati, S. (2012). *Dekolorisasi Limbah Industri Batik Menggunakan Proses Fenton dan Foto Fenton*. Serpong: BATAN.
- Wulan, P., Dianursanti, Gozan, M., & Nugroho, W. (2010). Optimasi Penggunaan Koagulan Pada Pengolahan Air Limbah Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, F06-3.
- Wulan, P., Dianursanti, Gozan, M., & Nugroho, W. A. (2010). Optimasi Penggunaan Koagulan Pada Pengolahan Air Limbah Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, (pp. F06-3). Yogyakarta.