

PENGOLAHAN *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DENGAN METODE FENTON DAN KOMBINASI ADSORPSI-FENTON

Tuty Emilia Agustina*, Budi Sulistyono, Rendotian Anugrah

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Inderalaya-Prabumulih KM 32 Ogan Ilir (OI) 30662 Sumatera Selatan
Email : tuty_agustina@unsri.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar. Meningkatnya permintaan terhadap minyak kelapa sawit akan meningkatkan kapasitas produksi yang berdampak terhadap peningkatan jumlah limbah industri kelapa sawit. Limbah pada industri kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair kelapa sawit populer dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah POME mengandung senyawa organik sehingga nilai COD, BOD dan TSS tinggi. Proses Fenton merupakan metode AOPs yang paling menonjol karena mampu menghasilkan radikal hidroksil lebih cepat. Bentonit digunakan sebagai adsorben dalam mengolah limbah POME ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah POME dengan metode Fenton dan kombinasi adsorpsi-Fenton. Pengaruh perbandingan rasio molar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2$ pada reagen Fenton sebesar 1:60, 1:80 dan 1:100 serta waktu pengadukan selama 15, 30, 45 dan 60 menit juga dipelajari. Didapatkan hasil penurunan paling tinggi yaitu sebesar 79% pada metode Fenton dengan rasio molar 1:60. Penurunan BOD dan TSS paling tinggi yaitu sebesar 76,85% dan 91,25% diperoleh pada proses kombinasi adsorpsi-Fenton. Penurunan COD dan BOD optimal pada 30 menit pertama untuk semua variabel selanjutnya nilai variabel cenderung tidak berubah secara signifikan.

Kata kunci : POME, AOPs, Fenton, adsorpsi, bentonit

Abstract

Indonesia is the biggest producer and exporter in crude palm oil. Increasing palm oil demand will increase the production of crude palm oil which increased the amount of waste produced in the palm oil industry. Waste in the palm oil industry is composed of solids, liquids and gases. The wastewater from oil palm industry is known as *Palm Oil Mill Effluent* (POME). The POME contains organic compounds so that the value of COD, BOD and TSS are high. Fenton process as one of Advanced Oxidation Processes (AOPs) is the most prominent because it can produce hydroxyl radicals faster. Bentonite was used as adsorbent in treating the POME. The objectives of this study was to treat the POME by Fenton and combination of adsorption-Fenton method. Effect of Fenton reagent molar ratio of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2$ at 1:60, 1:80 and 1: 100, as well as the stirring time of 15, 30, 45 and 60 minutes were also studied. The result showed the highest decrease in COD of 79% was obtained by Fenton method with a molar ratio of 1:60. The highest decrease in BOD and TSS of 76.85% and 91.25%, respectively, were achieved when using combination method of adsorption-Fenton. The decrease of COD and BOD was optimum in the first of 30 minutes for all of the variables and then later the variables value tend not to change significantly.

Keywords : POME, AOPs, Fenton, adsorption, bentonite

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar. Industri kelapa sawit merupakan motor penggerak perekonomian sebagai sumber devisa dan penyerap tenaga kerja. Meningkatnya permintaan terhadap *Crude Palm Oil* (CPO) mendorong adanya rencana jangka panjang produksi CPO sebesar 40 juta ton/tahun pada 2020 (Gapki, 2015). Peningkatan produksi CPO tentu akan berdampak pada meningkatnya jumlah limbah industri yang dihasilkan. Hal tersebut perlu diiringi dengan peningkatan kualitas unit pengolahan limbahnya. Limbah

yang dihasilkan pada industri kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair industri kelapa sawit lebih populer dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah POME bersifat tidak beracun, namun tingginya kandungan zat organik menyebabkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang masih tinggi, sehingga akan mengganggu ekosistem jika dibuang langsung ke lingkungan.

Pengolahan limbah POME yang paling banyak digunakan saat ini yaitu menggunakan

sistem kolam terbuka (*ponding*). Pengolahan dengan sistem ini melalui proses penguraian secara anaerobik dan aerobik. Kekurangan dari sistem konvensional ini yaitu memerlukan lahan yang luas, waktu retensi lama, melepaskan gas-gas berbahaya seperti metana serta terjadi akumulasi lumpur (Rahardjo, 2009).

Banyaknya kekurangan pengolahan limbah POME dengan sistem konvensional, maka perlu dikembangkan metode lain untuk pengolahan limbah POME. Metode Adsorpsi dan *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah POME.

Adsorpsi banyak digunakan untuk menghilangkan polutan tertentu pada limbah, terutama untuk limbah yang sulit didegradasi secara biologi seperti limbah yang mengandung logam-logam dan limbah pewarna. Adsorpsi sangat populer pada pengolahan air karena murah, sederhana, operasi yang mudah serta tidak menghasilkan substansi berbahaya (Raffatullah, *et.al*, 2010). Adsorben yang dapat digunakan untuk adsorpsi adalah bentonit. Bentonit secara luas digunakan pada proses pemucatan (*bleaching*) minyak CPO. Penelitian mengenai adsorpsi pada limbah POME menggunakan bentonit yang dilakukan oleh Said, *et. al* (2016) menghasilkan penurunan yang signifikan terhadap nilai turbiditas, TSS dan COD.

Ciri khas dari pengolahan dengan AOPs yaitu menghasilkan spesies pengoksidasi yang dapat menyerang dan mendegradasi senyawa organik pada medium cair. Pengolahan limbah dengan AOPs dapat menggunakan ozon, sinar UV, dan reagen Fenton. Proses Fenton lebih menonjol jika dibandingkan dengan metode lain karena dapat menghasilkan radikal hidroksil lebih cepat. Proses Fenton merupakan reaksi antara Hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ion besi (Fe^{2+}) yang akan menghasilkan spesies hidroksil yang reaktif. Spesies hidroksil tersebut akan mendegradasi senyawa organik pada limbah. Proses pengolahan dengan metode Fenton mempunyai ciri yaitu memiliki variabel yang spesifik untuk masing-masing jenis air yang diolah, sehingga penentuan titik optimum untuk dosis reagen dan waktu kontak tergantung pada karakteristik limbah dan skenario pengolahan.

Tujuan penelitian ini adalah mengolah limbah POME dengan metode Fenton dan kombinasi Adsorpsi-Fenton, serta untuk mempelajari pengaruh dari rasio molar dan waktu pengadukan, juga untuk mengetahui pengaruh perbandingan proses Fenton dan

kombinasi adsorpsi Fenton terhadap penurunan COD, BOD dan TSS.

Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) adalah suatu spesies tropis yang berasal dari Afrika Barat. Tumbuhan ini adalah penghasil minyak nabati terbesar di dunia, terutama karena minyak kelapa sawit dapat di produksi dari serabut buah maupun inti (*kernel*). Minyak sawit menjadi minyak pangan yang paling banyak diperdagangkan secara internasional. Minyak yang relatif murah ini digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain penggunaannya dalam bahan makanan, sabun, dan produk-produk konsumen lainnya, dan belakangan ini sebagai bahan baku mentah bahan bakar nabati.

Limbah Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah padat berupa tandan kelapa sawit (*Empty fruit bunch*), daging buah kelapa sawit yang berbentuk serat (*fiber*) setelah di ambil minyaknya serta biji buah kelapa sawit (cangkang). Limbah cairnya yaitu secara umum disebut limbah POME yang sebagian besar berasal dari unit perebusan (sterilisasi), klarifikasi dan hydrocyclone. Sedangkan limbah gas berasal dari kolam terbuka (*ponding*), boiler dan alat pembakaran sampah. Tidak dapat terelakan bahwa industri minyak kelapa sawit berkontribusi terhadap polusi lingkungan. Ditambah lagi, efek negatif yang disebabkan oleh limbah POME, yang merupakan limbah yang paling tidak bersahabat dengan lingkungan (*eco-friendly*) dan dalam jumlah yang besar pada industri kelapa sawit.

Palm Oil Mill Effluent (POME)

Effluent (cair) didefinisikan sebagai air yang dihasilkan dari industri, yang mengandung bahan terlarut yang berbahaya bagi lingkungan. Material terlarut tersebut dapat berupa gas (CH_4 , SO_2 , NH_3), cairan dan padatan yang mengandung ion-ion organik maupun anorganik yang konsentrasinya masih diatas level yang ditetapkan. Adanya kandungan senyawa-senyawa tersebut dapat berbahaya bagi lingkungan, sehingga perlu diolah atau dipurifikasi sebelum dibuang ke lingkungan.

Proses produksi minyak kelapa sawit (*crude palm oil*) dari buah kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah yang sangat besar. Selama proses ekstraksi minyak kelapa sawit sekitar 50% air tersebut akan menjadi limbah cair (Ahmad *et. al*, 2003). Limbah cair pabrik kelapa sawit lebih dikenal sebagai *Palm*

Oil Mill Effluent (POME). Limbah POME merupakan produk samping terbesar dari industri pengolahan kelapa sawit, yang sebagian besar berasal dari unit perebusan (sterilisasi), klarifikasi, dan *hydrocyclone*. Untuk setiap satu ton produksi minyak kelapa sawit akan menghasilkan 2,5 ton limbah POME (Setiadi dan Hasanudin, 2012). Kandungan limbah POME dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan pada Limbah POME

Komponen	Komposisi
Suspensi Solid	95-96%
Minyak	0,6-0,7%
Padatan	4-5%

(sumber : Ahmad, *et. al*, 2003)

Limbah POME berwarna kecoklatan dan mengandung berbagai senyawa terlarut berupa serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral. Selain itu terdapat pigmen organik seperti antosianin, karoten, polifenol, lignin dan tanin pada limbah POME (Kongnoo, 2012). Senyawa organik pada limbah POME akan menyebabkan beberapa masalah seperti meningkatkan nilai COD dan BOD, sehingga apabila dialirkan ke perairan tanpa diolah akan mengurangi jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh organisme perairan. Selain itu warna pada limbah POME dapat memperlambat pertumbuhan biota akuatik karena mengurangi penetrasi cahaya matahari mengakibatkan penurunan proses fotosintesis (Mohammed, 2013). Secara umum karakteristik limbah POME yang diambil dari salah satu perusahaan di wilayah Sumatera Selatan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Karakteristik Limbah POME secara Umum dan Kolam Pengasaman PT. X di Wilayah Sumsel.

Parameter (mg/L)*	Kualitas Inlet (umum)	Kolam Pengasaman PT. X di wilayah Sumsel
COD	15.000-65.000	3000-3300
BOD	8.500-35.000	2.000-2.500
TSS	1.300-50.000	650-700
N Total	12-126	-
Minyak	190-14.000	-
pH	3,3-4,4	6-7

*Semua parameter dalam satuan mg/L kecuali pH. (Sumber: Ditjen PHP, 2006)

Membuang limbah POME langsung ke sungai adalah pelanggaran karena dapat menimbulkan akibat yang merugikan. Industri

seharusnya memberikan perhatian lebih terhadap proteksi dan manajemen sumber daya air, karena berhubungan dengan keberlanjutan lingkungan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan regulasi untuk nilai ambang batas pembuangan limbah POME pada pabrik kelapa sawit melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha/Kegiatan Industri Kelapa Sawit

Parameter	Beban Paling Tinggi (mg/L)
COD	350
BOD	100
TSS	250

(sumber : Permen LH No.5 2014)

Sistem Kolam Terbuka (*ponding*)

Pengolahan limbah POME yang paling umum digunakan yaitu sistem kolam terbuka (*ponding*) karena operasi yang mudah dan murah. Sistem ini terdiri dari kolam penghilangan minyak (*fatpit*), kolam pengasaman, kolam anaerob dan kolam aerob (fakultatif). Kekurangan dari sistem ini yaitu waktu retensi yang lama sekitar 45-60 hari, berbau, menghasilkan gas berbahaya seperti metana, memerlukan lahan yang luas, serta terjadi akumulasi lumpur yang memerlukan pemeliharaan rutin (Rahardjo, 2009, Zinatizadeh, *et. al*, 2006).

Limbah POME yang berasal kolam anaerobik dapat dimanfaatkan untuk *land application*, yaitu sebagai penyubur tanah. Limbah POME mengandung sejumlah besar nutrisi yang berguna untuk pertumbuhan tanaman seperti nitrogen, fosfat, kalium, magnesium, dan kalsium, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk yang baik. limbah POME yang dapat digunakan untuk *land application* adalah limbah dengan kadar BOD sekitar 3500-5000 mg/l (Rahardjo, 2009). Selain itu, limbah POME juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yaitu biogas melalui proses digestasi anaerobik.

Advanced Oxidation Processes (AOPs)

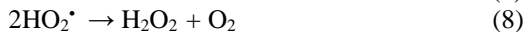
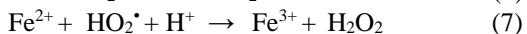
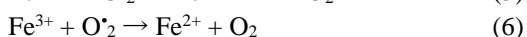
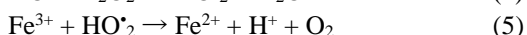
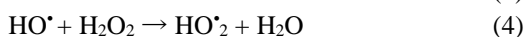
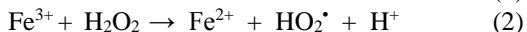
Pengolahan air dan limbah menggunakan teknologi oksidasi kimia yang disebut *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) telah menarik perhatian secara akademik dan industri selama tiga dekade terakhir (Gilmour, 2012). AOPs meliputi dua tahapan oksidasi yaitu: pembentukan oksidan kuat (contohnya: radikal hidroksil) dan reaksi antara oksidan kuat

dengan kontaminan dalam air. Namun, secara spesifik istilah AOPs merujuk pada proses oksidasi pada kontaminan organik melalui reaksi dengan radikal hidroksil (Glaze, *et. al*, 1987). Radikal hidroksil mampu mengoksidasi hampir semua senyawa organik menjadi air, karbon dioksida dan garam mineral melalui proses yang disebut mineralisasi (Chen, *et. al*, 2000b). *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) meliputi ozon (O₃), sinar UV, hidrogen peroksida (H₂O₂), fotokatalisis, reagen Fenton maupun gabungan dari berbagai proses tersebut. Proses secara fenton lebih menonjol karena cepat dalam pembentukan radikal hidroksil pada medium asam (Asghar *et. al*, 2014).

Desain pada *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain konsentrasi kontaminan awal dan akhir, laju alir yang diinginkan, dan latar belakang kualitas air yang diolah seperti pH. Parameter kunci pada *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) meliputi dosis dan rasio zat kimia terhadap zat lain, waktu kontak, dan konfigurasi reaktor. Penentuan titik optimum rasio, dosis, dan waktu pada proses pengolahan berbeda-beda tergantung karakteristik air yang diolah dan skenario pengolahannya (Kommineni, *et. al*, 2003).

Reagen Fenton

Reagen Fenton ditemukan oleh insinyur teknik kimia H.J. Horstman Fenton pada tahun 1894 yang menyatakan reagen Fenton dalam larutan asam mempunyai daya oksidasi tinggi. Reagen Fenton merupakan campuran antara hidrogen peroksida (H₂O₂) dan ion besi yang bereaksi menghasilkan radikal hidroksil (Fenton, 1894). Radikal hidroksil tersebut bersifat reaktif dan nonselektif. Reaksi yang terlibat adalah sebagai berikut.



Kelebihan pengolahan air dengan proses Fenton yaitu tidak menghasilkan emisi gas sehingga tidak memerlukan pengolahan gas buangan dan membutuhkan energi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan proses ozon dan sinar UV. Disisi lain, kekurangan dari proses fenton yaitu bekerja pada kondisi asam

(pH=3) sehingga memerlukan biaya tambahan untuk *pH adjustment*.

Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penyerapan suatu molekul senyawa tertentu oleh permukaan zat padat atau cair. Zat yang terserap disebut adsorbat sedangkan zat penyerap disebut adsorben. Pada proses ini terjadi ikatan yang kuat antara permukaan adsorben dengan partikel-partikel adsorbat, molekul adsorbat yang bergerak biasanya dibantu dengan pengadukan, suatu saat akan menyentuh permukaan adsorben (Panda, 2012). Faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi antara lain yaitu luas permukaan, volume dan ukuran pori-pori, kecepatan pengadukan, pH, serta temperatur aktivasi. Adsorben yang sering digunakan antara lain karbon aktif, zeolit dan bentonit.

Bentonit

Bentonit adalah lempung yang terdiri dari montmorillonit dan termasuk kelompok dioktohedral. Komposisi kimia bentonit secara umum (Mg,Ca)O.Al₂O₃.5SiO₂.nH₂O. Bentonit mempunyai struktur berlapis dengan kemampuan mengembang (*swelling*) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan. Terdapat dua jenis bentonit yaitu Na-bentonit yang mempunyai kemampuan mengembang dan Ca-bentonit yang kurang mengembang jika di celupkan ke air. Jenis bentonit yang digunakan sebagai adsorben adalah Ca-bentonit. Mayoritas bentonit di Indonesia tergolong sebagai Ca-bentonit (Sutopo, 2007).

Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan organik yang ada di dalam air agar dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD berguna untuk menentukan jumlah polutan organik pencemar dalam air maupun untuk menentukan efisiensi pada pengolahan limbah. Semakin tinggi nilai COD maka pencemaran pada air maupun limbah semakin tinggi, karena oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik pada air semakin banyak. Akibatnya akan mengurangi jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme perairan.

Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan pengukuran jumlah oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik pada air. BOD digunakan untuk menentukan jumlah

polutan organik dalam air. Nilai BOD yang rendah berarti kandungan senyawa organik pada limbah rendah, artinya mikroorganisme pada limbah hanya membutuhkan sedikit oksigen untuk mendekomposisi senyawa organik.

Total Suspended Solid (TSS)

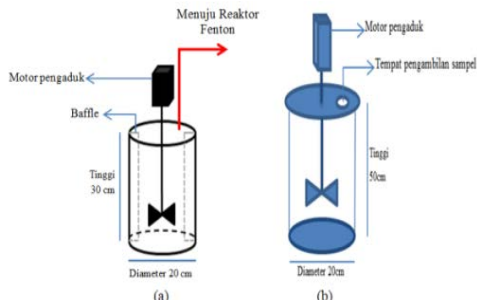
Total Suspended Solid (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2µm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Termasuk ke dalam TSS yaitu lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. Penentuan TSS berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air dan berguna untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air. Peningkatan nilai TSS akan menyerap panas dari sinar matahari yang akan meningkatkan temperatur perairan sehingga mengurangi oksigen terlarut dan proses fotosintesis. TSS ini dikelompokkan lagi dalam bahan padat yang tetap dan yang menguap. Bahan padat yang menguap merupakan bahan yang bersifat organik yang diharapkan dapat dihilangkan melalui penguraian secara biologis atau pembakaran.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan limbah POME yang berasal dari kolam pengasaman pabrik pengolahan kelapa sawit di wilayah Ogan Ilir. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah dan Laboratorium Operasi Teknik Kimia Universitas Sriwijaya serta UPTD Laboratorium Lingkungan BLH Sumatera Selatan.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan yaitu peralatan gelas, stopwatch, reaktor, kolom adsorpsi, oven, corong pemisah, neraca analitik, pengaduk mekanik, dan pH meter. Bahan-bahan yang digunakan, limbah POME, bentonit, aquades, HCl 1M, H₂SO₄ 0,1 M, NaOH 0,1 M, H₂O₂ 30 % (v/v), FeSO₄ .7H₂O, Na₂SO₄.5H₂O 1 N.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian (a) mixing tank (b) Reaktor

Prosedur Pengolahan Limbah POME

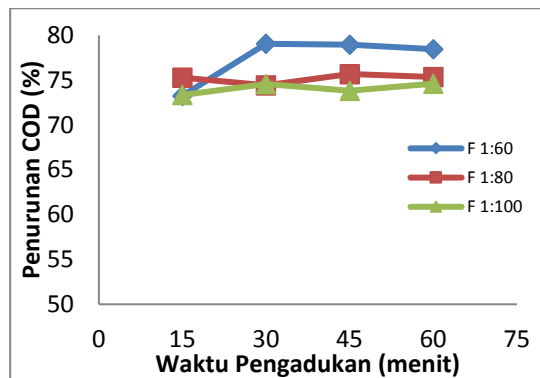
Aktivasi bentonit menggunakan larutan HCl 1 M. Proses aktivasi dilakukan selama 24 jam dibantu dengan pengadukan, kemudian dilakukan pengeringan dalam oven pada 100-110°C selama 24 jam. Proses adsorpsi dilaksanakan pada *mixing tank* yang dilengkapi *baffle* menggunakan adsorben bentonit sebanyak 20 gr/L dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses Fenton dilakukan pada reaktor Fenton secara *batch*. Proses Fenton dilakukan pada kondisi pH 3 dengan kecepatan pengadukan 400 rpm, rasio molar reagen Fenton (FeSO₄.7H₂O : H₂O₂) sebesar 1:60, 1:80 dan 1:100 serta waktu pengadukan 15, 30, 45 dan 60 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan limbah dengan proses Fenton sangat dipengaruhi oleh rasio molar reagen Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) dan waktu pengadukan pada proses Fenton, karena berperan sebagai kunci untuk menghilangkan senyawa organik pada limbah. Untuk mengamati fenomena tersebut pada limbah POME, penelitian ini dilakukan pada rasio molar reagen Fenton 1:60, 1:80 dan 1:100 serta waktu pengadukan 15, 30, 45 dan 60 menit.

Pengolahan Limbah POME dengan Metode Fenton

Pada gambar 2 menampilkan persentase penurunan nilai COD pada limbah POME setelah diolah dengan metode Fenton.



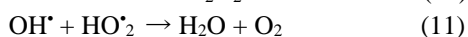
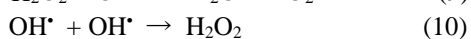
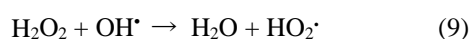
Gambar 2. Persentase Penurunan COD pada pengolahan Limbah POME dengan Metode Fenton

Keterangan :

- F 1:60 : Proses Fenton rasio molar 1:60
- F 1: 80 : Proses Fenton rasio molar 1:80
- F 1:100 : Proses Fenton rasio molar 1:100

Pada Gambar 2 terlihat bahwa semakin besar rasio molar reagen Fenton tidak berpengaruh secara signifikan terhadap

penurunan COD pada limbah POME. Rasio molar reagen Fenton 1:60 memberikan penurunan COD paling tinggi yaitu sebesar 79% dan diikuti oleh rasio molar 1:80 dan 1:100 sebesar 75%. Menurut Burbano, *et. al* (2005) dengan meningkatnya rasio molar reagen Fenton maka akan meningkatkan jumlah radikal hidroksil yang terbentuk. Tidak adanya perubahan yang signifikan terhadap penurunan COD dimungkinkan karena polutan yang tersisa pada limbah tidak dapat lagi didegradasi oleh reagen Fenton dan memerlukan perlakuan lanjutan misalnya perlakuan secara biologi. Selain itu, karena pada radikal hidroksil dapat terjadi reaksi *scavenger* yaitu bereaksi dengan senyawa lain yang dapat menghasilkan senyawa radikal yang mempunyai daya oksidasi lebih lemah jika dibandingkan dengan radikal hidroksil serta dapat mengurangi jumlah radikal hidroksil untuk memecah senyawa organik pada limbah. Kemungkinan terjadinya reaksi pada radikal hidroksil adalah sebagaimana berikut:

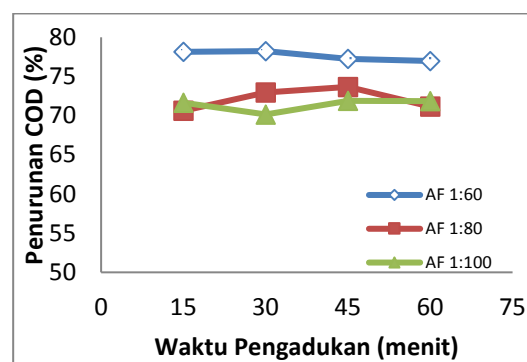


Untuk pengaruh waktu pengadukan juga tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan bertambahnya lama waktu pengadukan. Hasil analisa menunjukkan terjadi penurunan COD yang cepat pada 15 menit pertama, kemudian penurunan COD yang terjadi selanjutnya berjalan lambat. Waktu pengadukan yang paling optimal yaitu saat 30 menit dengan penurunan sebesar 74-79%, diikuti oleh waktu pengadukan 45 menit, 60 dan 15 menit dengan persen penurunan COD berturut-turut sebesar 73-78%, 74-75% dan 73-75%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agustina, *et.al*, (2012) pada pengolahan limbah cair tekstil menggunakan proses Fenton menyimpulkan bahwa lama waktu pengadukan sebanding dengan penurunan kontaminan pada limbah. Hal tersebut karena semakin lama waktu kontak antara radikal hidroksil yang dihasilkan oleh proses Fenton terhadap limbah maka zat yang teroksidasi semakin banyak sehingga penurunan kontaminan akan semakin tinggi. Pada proses Fenton untuk pengolahan limbah POME menunjukkan karakteristik yang berbeda. Hal tersebut dimungkinkan karena kontaminan yang tersisa pada limbah tidak dapat dioksidasi lagi oleh radikal hidroksil. Selain itu, dapat disebabkan karena semakin lama waktu

pengadukan maka semakin besar reaksi *scavenger* yang dapat terjadi pada radikal hidroksil sehingga mengurangi efisiensi penurunan COD.

Oleh karena itu, meskipun rasio molar reagen fenton dan waktu pengadukan bertambah tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai COD. Rasio molar reagen fenton dan waktu pengadukan optimal pada pengolahan limbah POME dengan metode Fenton yaitu pada 1:60 dan 30 menit. Secara keseluruhan dari rasio molar reagen Fenton 1:60-1:100 pada proses Fenton mampu menurunkan nilai COD sampai dengan 700-900 mg/L.

Pengolahan Limbah POME dengan Metode Kombinasi Adsorpsi Fenton



Gambar 3. Persentase Penurunan COD pada pengolahan Limbah POME dengan Metode Kombinasi Adsorpsi Fenton

Keterangan :

AF 1:60 : Proses Adsorpsi-Fenton rasio molar 1:60

AF 1:80 : Proses Adsorpsi-Fenton rasio molar 1:80

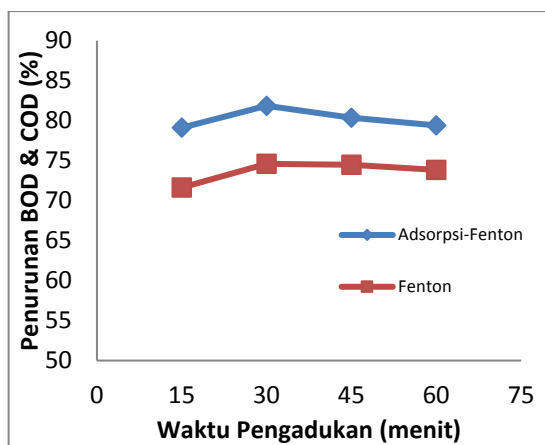
AF 1:100: Proses Adsorpsi-Fenton rasio molar 1:100

Proses adsorpsi limbah POME mampu menurunkan nilai COD sebesar 26% yaitu, dari 3.339 mg/L menjadi 2.471 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa proses adsorpsi kurang efektif untuk pengolahan limbah POME, sehingga hanya dapat dijadikan sebagai pengolahan awal (*pre-treatment*) atau pengolahan lanjutan (*post-treatment*). Oleh karena itu, proses oksidasi dengan reagen Fenton dibutuhkan untuk meningkatkan kemampuan degradasi pada limbah POME. Proses pengolahan limbah POME dengan kombinasi adsorpsi-Fenton menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan pengolahan dengan proses Fenton. Untuk pengaruh rasio molar reagen Fenton tidak berpengaruh secara signifikan terhadap

persentase penurunan COD. Penurunan COD paling optimal terjadi pada rasio molar reagen Fenton 1:60 yaitu sebesar 77-78%, sedangkan untuk rasio molar reagen Fenton 1:80 dan 1:100 sebesar 70-74% dan 70-72%.

Waktu pengadukan pada proses Fenton juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan COD. Penurunan COD untuk waktu pengadukan 15, 30, 45 dan 60 menit yaitu sebesar 70-78%, 70-78%, 72-77% dan 71-77%. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengolahan Limbah POME dengan Metode Fenton dan Kombinasi Adsorpsi Fenton Terhadap Penurunan Nilai BOD



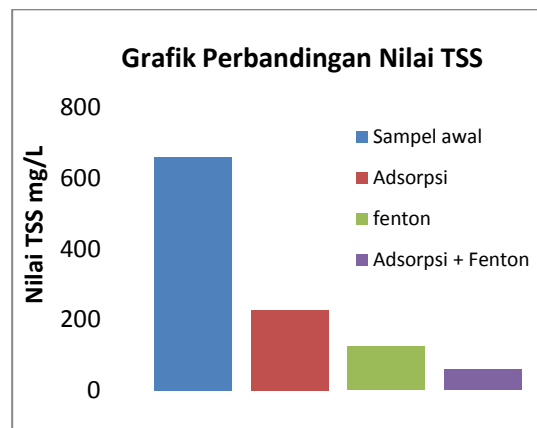
Gambar 4. Persentase Penurunan BOD pada Pengolahan Limbah POME dengan Metode Fenton dan Kombinasi Adsorpsi Fenton

Gambar 4 menampilkan persentase penurunan BOD pada limbah POME yang diolah dengan proses Fenton dan kombinasi Adsorpsi Fenton. Pada proses Fenton digunakan rasio molar reagen Fenton ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2$) sebesar 1:60. Berdasarkan grafik terlihat bahwa limbah POME yang diolah dengan proses kombinasi Adsorpsi-Fenton menghasilkan penurunan BOD yang lebih tinggi daripada proses Fenton.

Proses kombinasi penurunan BOD maksimum sebesar 76,85%, sedangkan pada proses Fenton penurunan BOD paling tinggi sebesar 74,60%. Untuk pengaruh waktu penurunan COD mencapai titik optimum setelah 30 menit pertama selanjutnya penurunan BOD tidak berubah secara signifikan. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena kontaminan yang tersisa pada limbah tidak dapat lagi dioksidasi oleh radikal hidroksil dan memerlukan pengolahan lanjutan serta terjadinya reaksi *scavenger* pada

radikal hidroksil sehingga mengurangi daya oksidasi reagen Fenton.

Proses Pengolahan Limbah POME dengan Metode Kombinasi Adsorpsi Fenton terhadap Penurunan TSS



Gambar 5. Pengaruh Pengolahan Limbah POME dengan Metode Fenton dan Adsorpsi Fenton terhadap Penurunan TSS

Penurunan nilai TSS pada limbah POME setelah diolah dengan metode Fenton dan kombinasi Adsorpsi-Fenton diperlihatkan pada Gambar 5. Sampel awal yang limbah POME yang berasal dari kolam pengasaman memiliki nilai TSS sebesar 660,5 mg/L kemudian setelah diadsorpsi terjadi penurunan TSS sebanyak 65,55% yaitu menjadi 227,5 mg/L. Nilai TSS setelah proses Fenton terjadi penurunan sebesar 81,37% yaitu sebesar 123 mg/L sedangkan pada proses kombinasi Adsorpsi-Fenton menjadi 58,07 mg/L atau terjadi penurunan TSS sebesar 91%. Hal serupa didapatkan pada penelitian oleh Said *et.al* (2016) dimana pada adsorpsi limbah POME dengan bentonit menurunkan nilai TSS lebih dari 95%. Berdasarkan Permen LH No.5 Tahun 2014 nilai TSS maksimum limbah POME sebesar 250 mg/L. Dengan demikian, pengolahan POME dengan proses adsorpsi maupun kombinasi adsorpsi Fenton telah memenuhi baku mutu untuk nilai TSS.

4. KESIMPULAN

1. Peningkatan rasio molar reagen Fenton dan waktu pengadukan pada proses Fenton tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan COD. Pada proses Fenton dan kombinasi adsorpsi-Fenton, kondisi terbaik didapat pada rasio molar reagen Fenton 1:60 dan waktu pengadukan 30 menit.

2. Perbandingan pengolahan dengan proses Fenton dan kombinasi adsorpsi-Fenton tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Penurunan COD, BOD dan TSS pada proses Fenton antara 73-80%, 71-75% dan 81,36% sedangkan untuk proses kombinasi adsorpsi-Fenton terjadi penurunan COD, BOD dan TSS antara 70-78%, 79-82% dan 91,21%.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T.E., dan Amir, M. 2012. *Pengaruh Temperatur dan Waktu pada Pengolahan Pewarna Procion Red Menggunakan Reagen Fenton*. Jurnal Teknik Kimia No. 2 Vol. 18.
- Ahmad, A.L., Ismail, S., dan Bhatia, S. 2003. *Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Membrane Technology*. Desalination 157, 87.
- Asghar, Rahman, A., dan Daud, W. 2014. *Advanced Oxidation Processes For In-Situ Production Of Hydrogen Peroxide/Hydroxyl Radical for Textile Wastewater Treatment: A Review*. Journal of Cleaner Production 1-13.
- Burbano, A.A., Dionysiou, D.D., Suidan, M.T., dan Richardson, T.L. 2005. *Oxidation Kinetics and Effect of pH on The Degradation of MTBE with Fenton Reagent*. Water Research 39 Hal. 107-118
- Chen, D., Sivakumar, M., and Ray, A. K. (2000b). *Heterogeneous Photocatalysis in Environmental Remediation*. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 8(5-6), 505-550.
- Ditjen Pengolahan Hasil Pertanian. 2006. *Pedoman Pengolahan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Departemen Pertanian: Jakarta.
- Fenton H. J. H. 1894. *Oxidation of Tartaric Acid in Presence of Iron*. Journal of Chemical Society, v. 165, p. 899-910.
- Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. 2016. *Minyak Kelapa Sawit Indonesia-Produksi dan Ekspor CPO*. <http://www.indonesia-investment.com>item166> (diakses pada 24 Januari 2017)
- Gilmour, C. R. 2012. *Water Treatment Using Advanced Oxidation Processes: Application Perspectives*. Electronic Thesis and Dissertation Repository. Paper 836.
- Glaze, W. H., Kang, J. W. & Chapin, D. H. 1987. *The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and UV-Radiation*. Ozone: Sci. Eng., 1987, 9, 335-352.
- Kommineni S., Ela W.P., Arnold R.G., Huling S.G., Hester B.J, and Betterton E.A. (2003). NDMA treatment by sequential GAC adsorption and Fenton-driven destruction. *Environ. Eng. Sci.* 20 (4), 361-373
- Kongnoo, A., Suksaroj, T., Intharapat, P., Promtong, T., and Suksaroj, C. 2012. *Decolorization and Organic Removal from Palm Oil Mill Effluent by Fenton's Process*. Environmental Engineering Science Vol. 29, No. 9.
- Mohammed, R.. 2013. *Decolorisation of Biologically Treated Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Adsorption Technique*. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). Vol. 11 No. 10.
- Panda, R. 2012. *Modifikasi Bentonit Terpillar Al dengan Kitosan untuk Adsorpsi ion Logam Berat*. Skripsi Program Studi Kimia, FMIPA Universitas Indonesia.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., dan Ahmad, A. 2010. *Adsorption of Methylene Blue on Low-cost Adsorbents: A review*. Journal of Hazardous Materials Hal. 70-80.
- Rahardjo, P. N. 2009. *Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 10. No. 1. Hal.09-18 : Jakarta.
- Said, M., Hassan, H., Nor, M., dan Mohammad, A. 2015. *Removal of COD, TSS and Colour from Palm Oil Mill effluent (POME) using montmorillonite*. Desalination and Water Treatment.
- Setiadi, T. dan Hasanudin, U. 2012. *Sustainable Waste Management in Palm Oil Mills*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Sutopo, I. 2007. *Perubahan Sifat Kimia Bentonit Asal Karangnunggal, Tasikmalaya Pada Proses Pembuatan Bleaching Earth Dengan Aktivasi Asam*. Skripsi Fakultas Pertanian IPB.
- Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Abdullaha, A.Z., Mashitah, M.D., Hasnain, G., and Najafpour, G.D. 2006. *Process Modeling and Analysis of Palm Oil Mill Effluent Treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge Fixed Film Bioreactor Using Response Surface Methodology (RSM)*. Water Research, Vol. 40 (17) p 3193-3208.