



Tinjauan Singkat Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi Dan Advanced Oxidation Processes (AOPs)

Putri Amalia Atika Suhermen¹, Puti Sri Komala²

¹Program Magister Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
putriamaliatika@gmail.com

²Program Magister Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
putisrikomala@eng.unand.ac.id

Abstract

Conventional waste water treatment generally has problems in treating high concentrations of pollutants. The quality of the waste water produced by the treatment exceeds the quality standards set by the government. High concentrations of pollutants are sourced from liquid waste from the textile industry, densely populated settlements, hospital waste, industrial waste from the HPME and personal care industry, pharmaceutical waste and from other activities that use complex production technology and large quantities and types of raw materials. The pollutant parameters that are often encountered and cause a decrease in the quality of receiving water bodies are COD, BOD, color, turbidity, dissolved organic substances and inorganic substances. This paper will review the literature related to the performance of the combined coagulation flocculation and Advanced Oxidation Processes (AOPs) technology in the removal of high concentrations of contaminants.

Keywords: Wastewater, Efficiency, Combination Flocculation Coagulation with AOPs Methods.

Abstrak

Pengolahan air limbah konvensional umumnya memiliki kendala dalam mengolah konsentrasi polutan yang tinggi. Kualitas air limbah yang dihasilkan oleh pengolahan tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Konsentrasi polutan yang tinggi bersumber dari limbah cair industri tekstil, pemukiman penduduk yang padat, limbah rumah sakit, limbah industri *homeandcare*, limbah farmasi dan limbah cair dari kegiatan lainnya yang menggunakan teknologi produksi yang kompleks dan bahan baku dengan jumlah dan jenis yang banyak. Parameter pencemar yang sering dijumpai dan mengakibatkan penurunan kualitas badan air penerima, yaitu COD, BOD, warna, kekeruhan, zat organik terlarut dan zat organik. Makalah ini akan mengulas literatur terkait kinerja pengolahan air limbah menggunakan metode kombinasi koagulasi flokulasi dan teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) dalam penyisihan zat pencemar yang memiliki konsentrasi yang tinggi.

Kata kunci: Limbah cair, Efisiensi, Metode Kombinasi Koagulasi- Flokulasi dengan AOPs.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan sektor industri membawa dampak yang positif terhadap perekonomian suatu daerah. Namun, perkembangan tersebut justru memberikan dampak yang negatif terhadap lingkungan. Peningkatan

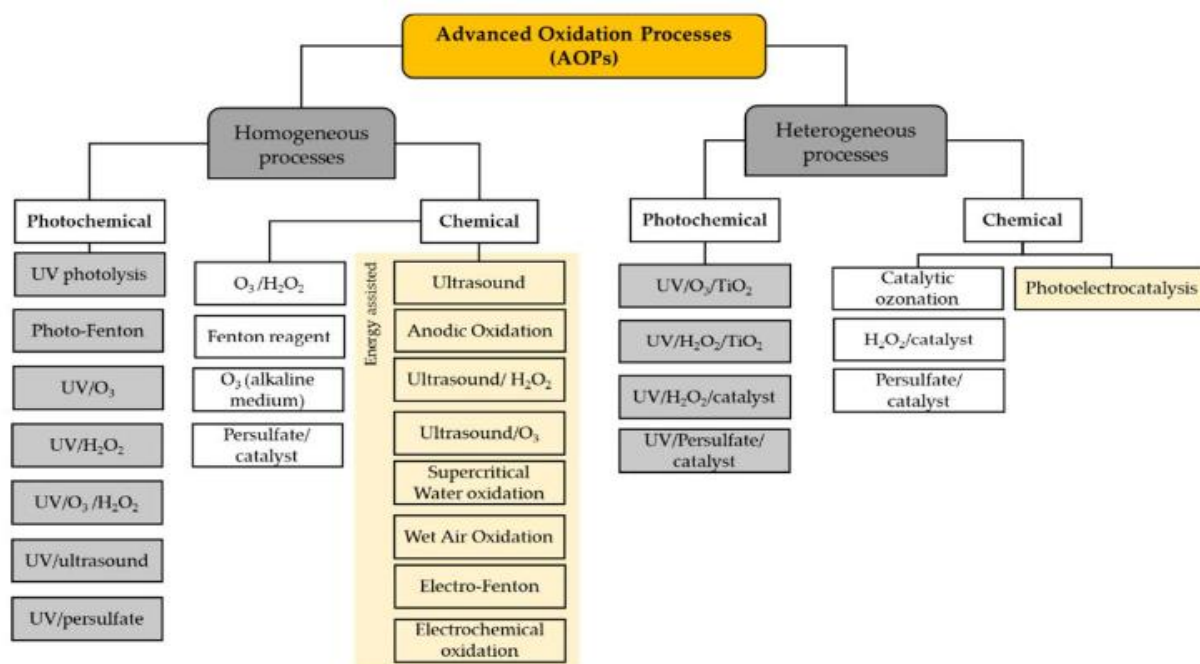
produksi dari suatu industri akan menghasilkan *output*, salah satunya berupa limbah cair, dimana jika tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Salah satu dampak terhadap lingkungan akibat adanya timbunan limbah cair, yaitu penurunan kualitas badan air penerima dan juga potensi tercemarnya sumber air bersih yang ada disekitar lokasi kegiatan. Menurut Susanto dkk., (2017) peningkatan teknologi pada suatu industri dengan kompleksitas yang ada dan penggunaan bahan baku tertentu, cenderung berpengaruh terhadap komponen air limbah yang dihasilkan. Selain itu, adanya regulasi pemerintah yang mengatur tentang pembuangan air limbah ke badan air, dan padatnya jumlah penduduk yang berada disekitar lokasi industri yang berpotensi menjadi masyarakat terdampak dari penurunan kualitas lingkungan, mengharuskan adanya perhatian khusus terhadap efektivitas dan efisiensi dari metode dan instalasi pengolahan limbah cair. Berdasarkan hal tersebut maka perlunya optimalisasi pengolahan air limbah, agar kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan, benar-benar telah sesuai dengan baku mutu yang ada.

Salah satu bentuk pengolahan yang banyak digunakan dalam dekade terakhir adalah metode kombinasi koagulasi-flokulasi dengan teknologi AOPs. Metode koagulasi-flokulasi masih menunjukkan efisiensi penurunan yang rendah terhadap konsentrasi air dengan kandungan zat organik yang tinggi dan kompleks. Hal ini dapat terlihat dari penelitian yang telah dilakukan oleh Susanto dkk., (2020) tentang Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi (FeCl_3) dan AOPs ($\text{Fe-H}_2\text{O}_2$) dimana hasil uji sampel setelah melewati tahap koagulasi-flokulasi masih jauh melebihi baku mutu yang ditetapkan. Koagulasi-flokulasi merupakan salah satu teknologi pengolahan untuk menghilangkan senyawa organik/ anorganik yang tersuspensi di dalam larutan yang tidak dapat disisihkan dengan proses fisik konvensional. Metode ini telah diterapkan untuk berbagai jenis limbah (DeOliveira, 2019), menggunakan koagulan kimia berupa aluminium sulfat, besi klorida, *polialuminium klorida*) atau garam nabati (biokoagulan) (DeOliveira, 2019). Pada proses ini, koagulan terhidrolisis bersentuhan dengan pengotor, membentuk partikel yang tidak stabil selama langkah pencampuran cepat. Tumbukan partikel-partikel yang tidak stabil ini akan membentuk partikel atau flok yang lebih besar, yang dapat dihilangkan dengan cara sedimentasi, flotasi atau filtrasi cepat (DeOliveira, 2019).

Hal yang sama juga diperoleh Yuningrat dan Gunamantha (2020), dimana proses koagulasi-flokulasi memang efektif untuk penyisihan pencemar organik dengan mengendapkan partikel-partikel pencemar ke dalam bentuk koloid. Namun, pengendapan beban pencemar tersebut sangat tergantung pada interaksi antara koagulan dengan beban pencemar yang akan tersisihkan melalui proses pengendapan partikel koloid tersebut. Selain itu, Rahima dkk., (2016) mengungkapkan bahwa terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi berupa suhu air, pH, jenis dan dosis koagulan, tingkat kekeruhan, alkalinitas serta kecepatan pengadukan. Untuk mendapatkan penyisihan dan efektivitas yang baik, faktor-faktor tersebut harus sangat diperhatikan dan dalam kondisi optimum. Jika tidak, maka flok-flok tidak akan terbentuk, atau bahkan dapat pecah kembali.

Pengolahan lanjutan setelah proses koagulasi-flokulasi perlu dilakukan untuk meningkatkan efektivitas penurunan beban pencemar yang ada. AOPs merupakan teknologi oksidasi kimia yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam menyisihkan zat pencemar dalam air limbah terutama untuk beban organik yang tidak mudah untuk di biodegradasi (Wiguna dkk., 2020). AOPs didasarkan atas penggunaan radiasi sinar UV dan pengoksidan peroksida (H_2O_2) dan ozon (O_3) yang akan menghasilkan hidroksil (OH) sebagai oksidator handal untuk mengoksidasi beban pencemar di dalam air dengan hasil akhir berupa CO_2 dan HO_2 (Watt, 1998 Dalam Elfiana dan Fuadi., 2016). Amor dkk., (2019) menambahkan, AOPs mengacu kepada beberapa proses yang mencakup O_3 dan H_2O_2 sebagai oksidan tidak hanya dengan bantuan UV, namun juga dapat dibantu dengan katalis (Fe^{2+} , Fe^{3+} , atau TiO_2), penyisipan ultrasonik dan masukan termal. Selain itu, kombinasi antar oksidan juga dapat dilakukan, seperti proses fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), peroksida yang dikombinasikan dengan sinar UV ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), peroksida yang dikombinasikan dengan ozon yang dapat disebut dengan perokson ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), perokson yang dikombinasikan dengan UV ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), sistem O_3/UV , $\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ dan penyinaran O_3/TiO_2 / elektron (Amor dkk., 2019).

Klasifikasi AOPs berdasarkan prosesnya menurut Amor dkk., (2019) dapat dilihat pada Gambar 1. Metode AOPs terus dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas pengolahan air limbah dalam penyisihan zat pencemar.



Gambar 1. Klasifikasi AOPs Berdasarkan Proses Oksidasi yang Terjadi.
(Sumber: Amor dkk., 2019)

Dalam makalah ini akan dibahas tinjauan singkat terhadap penelitian yang telah dilakukan terkait kombinasi metode pengolahan koagulasi-flokulasi dan AOPs, dan untuk melihat faktor-faktor yang mempengaruhi proses penyisihan, sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam melakukan penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan menganalisis beberapa jurnal terkait dengan pengolahan air limbah dengan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dan AOPs, untuk dapat ditarik kesimpulan. Jurnal yang digunakan merupakan jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional yang dipublikasi 6 tahun terakhir (2017-2022). Analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perbandingan hasil dari penelitian yang sudah dipublikasi dalam bentuk tabel. Jurnal yang digunakan, dikumpulkan secara *online* dengan pencarian dilakukan berdasarkan kata kunci, agar pencarian jurnal sesuai dengan topik yang akan di *review*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan limbah cair dengan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dengan AOPs telah mulai dikembangkan. Selain, berpotensi menyisihkan polutan dalam konsentrasi yang cukup besar, proses AOPs juga merupakan teknologi yang hemat biaya yang telah menunjukkan potensi besar dalam penyisihan polutan dalam air limbah (Amor dkk., 2019). Untuk melihat efektivitas penyisihan zat pencemar pada air limbah menggunakan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dengan AOPs, maka dilakukan pencarian literatur menggunakan kata kunci pengolahan air limbah menggunakan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dengan AOPs. Berdasarkan hasil pencarian terdapat banyak literatur yang menjelaskan tentang metode kombinasi dalam pengolahan air limbah, namun literatur yang menggunakan metode kombinasi antara koagulasi-flokulasi dengan AOPs hanya 16 artikel. Kemudian dari 16 artikel, disaring kembali berdasarkan tahun terbit (6 tahun terakhir) dan didapatkan 5 (lima) artikel yang akan

dipaparkan dalam tulisan ini. Hasil dari pengkajian 5 (lima) artikel tentang pengolahan limbah cair menggunakan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dan AOPs, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Penelitian Terkait Pengolahan Air Limbah Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan AOPs .

Penelitian	Jenis Pengolahan	Sumber Air Limbah dan Parameter	Kondisi Operasional	Hasil
Pengolahan Lindi dengan Metode Koagulasi flokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan Metode Ozonisasi Untuk Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS (Studi Kasus Lindi TPA Jatibarang) (Fajri dkk., 2017.	Metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan aluminium sulfat dan dikombinasikan dengan proses ozonasi	a. Air lindi TPA Jati Barang Kecamatan Mijen b. Parameter yang diukur BOD, COD, dan TSS	a. pH koagulan 6,12 b. Dosis koagulan optimum 16 g/L c. Dosis ozon optimum 60 ppm d. Waktu kontak 180 mnt	a. Efisiensi penyisihan tanpa kombinasi: BOD 57% COD 61 % TSS 16% b. Efisiensi penyisihan dengan kombinasi: BOD 68% COD 74% TSS 48%.
Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi (FeCl_3) dan AOPs ($\text{Fe-H}_2\text{O}_2$) (Susanto dkk., 2017)	Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dengan koagulan FeCl_3 dan AOPs dengan $\text{Fe-H}_2\text{O}_2$	a. Limbah cair industri <i>homeand personal care</i> b. COD, warna, kekeruhan, TSS dan BOD	a. pH koagulasi 5,43 b. Dosis koagulan (FeCl_3) optimum 12 g/L c. Dosis $\text{FeSO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ sebanyak 2 g dan 3,5 ml d. Waktu kontak 120 menit e. pH kombinasi 3	a. Efisiensi penyisihan tanpa kombinasi saat untuk COD, warna, kekeruhan, TSS dan BOD adalah 53,35%; 78,27%; 34%; 47% dan 25%. b. Efisiensi penyisihan dengan kombinasi untuk COD, warna, kekeruhan, TSS dan BOD adalah 83%; 77%; 94%; 65% dan 52%.
<i>Landfill Leachate treatment by combining coagulation and advanced electrochemical oxidation techniques</i> (DeOliveira, dkk, 2019)	Metode koagulasi-flokulasi dan AOPs dengan oksidasi elektrokimia lanjut	a. Air lindi di TPA kota Catalao, Brazil. b. Warna, bau, kekeruhan, BOD, COD, klorin bebas, total klorin, nitrat, nitrit, ammonia dan mikrobiologis.	a. pH koagulasi 6 b. Dosis koagulan ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3$) optimum 50 g/L c. Waktu kontak 180 menit	a. Tanpa metode kombinasi berhasil menyisihkan 50% beban pencemar dan penurunan jumlah bakteri mesofilik sebanyak 11 kali dari konsentrasi lindi awal. b. Dengan metode kombinasi berhasil menyisihkan 90% beban pencemar dan penurunan jumlah bakteri mesofilik sebanyak 12 kali dari konsentrasi lindi awal.

Penelitian	Jenis Pengolahan	Sumber Air Limbah dan Parameter	Kondisi Operasional	Hasil
Penurunan kekeruhan, Kadar Las dan Fosfat Limbah Cucian Rumah Tangga Dengan Metode Kombinasi pengolahan Koagulasi dan Proses Oksidasi Lanjut Sistem UV/H ₂ O ₂ (Wiguna dkk., 2020.)	Metode Kombinasi pengolahan Koagulasi dan Proses Oksidasi Lanjut Sistem UV/H ₂ O ₂	a. Limbah cucian rumah tangga di salah satu pemukiman padat penduduk di kawasan Kota Singaraja b. LAS (<i>Linier AlkylSulfonate</i>) dan fosfat	a. pH koagulasi 4 b. Dosis koagulan FeCl ₃ (2%) 25 mL c. pH kombinasi 3 d. Dosis katalis H ₂ O ₂ 10 mL e. Sinar UV 352 nm f. Waktu kontak 120 menit	a. Efisiensi penyisihan tanpa kombinasi : kekeruhan, LAS dan fosfat berturut-turut adalah 90,7%, 72,9% dan 89,2%. b. Efisiensi penyisihan dengan kombinasi: kekeruhan, LAS dan fosfat berturut-turut sebesar 97,4%, 98,1% dan 99,5%
<i>Treatment of wood industry wastewater by combined coagulation – flocculation, decantation and fenton process</i> (Azimi dkk., 2020)	Metode kombinasi koagulasi-flokulasi-dekantasi (CFD) dan proses fenton	a. Air limbah industri kayu b. COD dan kekeruhan	a. pH koagulasi 8 b. Dosis koagulan (PACl) 400 mg/L c. pH kombinasi 3,5 d. Dosis katalis optimum Fe ²⁺ dan H ₂ O ₂ 250 mg/L : 500 mg/L. e. Waktu kontak 60 menit	a. Efisiensi penyisihan tanpa kombinasi: COD 82 % kekeruhan 84,1 % b. Efisiensi penyisihan dengan kombinasi: COD 95,6 % kekeruhan 99 %
<i>Application of Combined Coagulation-Flocculation-Decantation/Photo-Fenton/Adsorption Process for Wastewater Treatment</i> (Jorge, dkk., 2022)	Metode koagulasi-flokulasi-dekantasi (CFD) dan AOPs dengan foto fenton serta adsorpsi menggunakan adsorben bentonit	a. Air limbah pada pabrik anggur b. Kekeruhan, total padatan tersuspensi (TSS), BOD, COD, TOC dan total polifenol	a. pH koagulasi 6 b. Dosis koagulan optimum 0,5 g/L c. pH kombinasi 3 d. Dosis katalis optimum Fe ²⁺ dan H ₂ O ₂ 25 mM : 225 mM e. Sinar UV C (256 nm) f. Adsorben 1,5 g/L g. Waktu kontak 150 menit	a. Efisiensi penyisihan tanpa kombinasi: Kekeruhan 66% TSS 58,3% BOD 46,9% COD 48% TOC 62,5% Total polifenol 63,3%. b. Efisiensi penyisihan dengan kombinasi: Kekeruhan 98,4% TSS 88,3 % BOD 76 % COD 81,3 % TOC 80 % Total polifenol 99,8 %.

Berdasarkan Tabel 1 diatas, terlihat bahwa adanya peningkatan efektivitas penyisihan zat pencemar pada air limbah setelah dilakukan pengolahan dengan metode kombinasi koagulasi- flokulasi dan AOPs. Efektivitas penyisihan yang baik didapatkan, jika proses pengolahan berjalan dalam kondisi optimum. pH optimum yang dibutuhkan untuk tahap koagulasi cenderung lebih netral, sedangkan pH optimum untuk proses AOPs adalah dalam kondisi asam. Untuk dosis koagulan dan dosis katalis pada proses AOPs

berdasarkan dari karakteristik air limbah yang akan diolah. Waktu kontak yang lebih lama dengan panjang gelombang sinar UV yang lebih pendek, juga menunjang efektivitas proses AOPs.

Dalam proses AOPs terdapat beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar proses penyisihan berlangsung optimal. Adapun faktor yang mempengaruhi proses AOPs, yaitu pH, konsentrasi H_2O_2 dan waktu kontak (Susanto, 2017). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Enjarlis (2013), juga ditemukan bahwa suhu dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan zat pencemar dalam metode pengolahan AOPs. Selanjutnya, panjang gelombang sinar UV juga berpengaruh terhadap oksidasi polutan organik pada proses AOPs dengan metode *photochemical* (Efliana dan Fuadi, 2016).

a. pH

pH merupakan indikator yang sangat penting dalam proses AOPs, karena proses AOPs hanya dapat berlangsung dalam suasana asam. Hal ini dikarenakan dengan semakin kecilnya pH, semakin banyak ion H^+ yang terbentuk dan dapat berikatan dengan radikal O_2 membentuk H_2O_2 (Tedy, 2011. dalam Novi 2013). Hal ini juga selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Enjarlis (2013), dimana didapatkan persentase penyisihan COD dan TSS terbesar menggunakan metode AOPs, pada saat penambahan pH akibat banyak radikal OH yang meningkatkan penyisihan zat pencemar.

b. Konsentrasi oksidan dan waktu kontak

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fajri dkk., (2017) tentang pengolahan lindi dengan metode kombinasi koagulasi-flokulasi dan ozonisasi, didapatkan penyisihan nilai COD meningkat seiring dengan bertambahnya dosis oksidan yang digunakan (O_3) dengan waktu kontak yang lebih lama (180 menit). Persentase penyisihan akan semakin meningkat karena semakin lama waktu kontak pada proses kombinasi, yang menghasilkan OH radikal yang semakin banyak. Pada proses AOPs menggunakan fenton, OH radikal didapat dari proses FeSO_4 melalui reaksi H_2O_2 , sedangkan pada proses AOPs fotokatalis, OH radikal dihasilkan dari eksitasi elektron yang terjadi antara TiO_2 dengan sinar UV (Amin, 2011 Dalam Fauzi dan Tuhu, 2018)

c. Suhu

Menurut Nugroho dan Iqbal (2018) suhu mempengaruhi proses oksidasi dimana kelarutan O_3 sebagai oksidator akan semakin tinggi pada suhu yang lebih rendah, dan kelarutan cenderung rendah pada suhu tinggi. Berdasarkan penelitian Enjarlis (2013), jumlah O_3 yang terlarut dalam efluen lebih besar pada suhu 25°C , dibandingkan pada suhu 30°C dan 35°C , namun pembentukan radikal OH lebih lambat. Pada suhu rendah, degradasi senyawa organik dalam air limbah lebih banyak dilakukan oleh O_3 sehingga potensi degradasi oleh OH menjadi kecil, yang menyebabkan penguraian bahan organik yang tidak sempurna.

d. Panjang Gelombang sinar UV (pada proses fotokatalis)

Menurut penelitian Elfiana dan Faudi (2016) perlakuan menggunakan sinar UV 240 nm, memberikan penyisihan zat organik yang lebih baik karena reaktivitas proses menjadi lebih besar. Radiasi gelombang pendek lebih kuat diserap oleh banyak pencemar. Semakin pendek panjang gelombang, maka energi radiasi semakin besar dengan kecepatan cahaya yang semakin kecil.

Selain, faktor-faktor di atas, efisiensi penyisihan pada tahap awal saat koagulasi-flokulasi juga mempengaruhi hasil dari penyisihan pada tahap kombinasi. Untuk itu koagulasi-flokulasi perlu dilakukan dengan memperhatikan waktu pengadukan, dosis koagulan dan pH agar mendapatkan kondisi penyisihan yang optimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan beberapa literatur yang sudah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa proses koagulasi-flokulasi masih belum efektif menyisihkan polutan pada air limbah dengan karakteristik dan konsentrasi polutan yang tinggi, sehingga memerlukan pengolahan tingkat lanjut. Teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) dapat menjadi teknologi lanjutan dan dikombinasikan dengan metode koagulasi-flokulasi, dalam penyisihan polutan dengan efektivitas yang besar. Adapun dalam metode kombinasi koagulasi-flokulasi dan AOPs perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat

mempengaruhi efisiensi pengolahan, seperti pH dan dosis koagulan optimum pada proses koagulasi-flokulasi, pH pada proses AOPs, konsentrasi oksidan dan waktu kontak serta suhu. Kondisi optimum pada tahap koagulasi, pH dengan kondisi asam, konsentrasi oksidan optimum dan waktu kontak yang lebih lama, merupakan kondisi terbaik yang diperlukan untuk proses AOPs. Selain itu, panjang gelombang dari sinar UV juga perlu dipertimbangkan dalam metode AOPs *photochemical*, dimana penyisihan terbaik terjadi pada panjang gelombang sinar UV yang lebih pendek.

Kelebihan dari metode kombinasi koagulasi-flokulasi dan AOPs adalah efektivitas penyisihan polutan yang cukup tinggi pada air limbah, sedangkan kelemahannya yaitu dalam beberapa kasus masih diperlukan pengolahan lanjutan berupa filtrasi atau sedimentasi untuk air limbah dengan konsentrasi polutan yang pekat dan cukup tinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amor, C., Marchão, L., Lucas, M.S. and Peres, J.A., 2019. Application of advanced oxidation processes for the treatment of recalcitrant agro-industrial wastewater: A review. *Water*, 11(2), p.205.
- Azimi, S.C., Shirini, F. And Pendashteh, A., 2021. Treatment of wood industry wastewater by combined coagulation–flocculation–decantation and fenton process. *Water Environment Research*, 93(3), pp.433-444.
- DeOliveira, M.S., da Silva, L.F., Barbosa, A.D., Romualdo, L.L., Sadoyama, G. And Andrade, L.S., 2019. Landfill Leachate Treatment By Combining Coagulation and Advanced Electrochemical Oxidation Techniques. *ChemElectroChem*, 6(5), pp.1427-1433.
- Elfiana, E. and Fuadi, A., 2017. Efektivitas Proses AOP Berbasis H₂O₂ Dalam Menghilangkan Warna Air Gambut Berdasarkan Parameter Konsentrasi Zat Organik. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(2), pp.45-60.
- Enjarlis, 2013. Application of Coagulation-Advanced Oxidation Process by O₃/GAC in the Fan Belth Waste Water Treatment. Jurusan Teknik Kimia. Teknologi Indonesia. Tangerang.
- Fajri, N., Hadiwidodo, M. and Rezagama, A., 2017. Pengolahan Lindi dengan Metode Koagulasi-flokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan Metode Ozonisasi untuk Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS (Studi Kasus Lindi TPA Jatibarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), pp.1-13.
- Fauzi, A. R., & Tuhu Agung, R. (2018). Kombinasi Fenton dan Fotokatalis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Batik. *Jurnal Envirotek*, 10(1), 37-45.
- Jorge, N., Teixeira, A.R., Matos, C.C., Lucas, M.S. and Peres, J.A., 2021. Combination of Coagulation–Flocculation–Decantation and Ozonation Processes for Winery Wastewater Treatment. *International Journal of environmental research and public health*, 18(16), pp.8882.
- Nugroho, R. and Mahmud, I., 2018. Pengolahan air limbah berwarna industri tekstil dengan proses AOPs. *Jurnal Air Indonesia*, 1(2).
- Susantor.dkk, 2017. Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi (FeCl₃) dan AOPs (Fe-H₂O₂). Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Tresna dewi, Novi. 2013. Penurunan kekeruhan dan fenol pada limbah industri tekstil dengan sistem fotokimia UV/ H₂O₂. Tugas Akhir. Singaraja. Jurusan Analis kimia. FMIPA. Universitas Pendidikan Ganesha.
- Wiguna, I.M.C., Yuningrat, N.W. and Gunamantha, I.M., 2020. Penurunan Kekeruhan, Kadar Las Dan Fosfat Limbah Cucian Rumah Tangga Dengan Metode Kombinasi Pengolahan Koagulasi Dan Proses Oksidasi Lanjut Sistem Uv/H₂O₂. *International Journal of Applied Chemistry Research*, 2(2), pp.46-56