

STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN CuO/ZEOLIT UNTUK DEGRADASI AIR GAMBUT MENGGUNAKAN METODE OZONOLISIS DAN PENGARUH TERHADAP KADAR BESI

EXPERIMENTAL STUDY UTILIZATION OF CUO/ZEOLITE FOR PEAT WATER DEGRADATION USING OZONOLYSIS METHOD AND ITS EFFECT ON IRON CONTENT

Zilfa¹, Yulizar Yusuf², Aufa Zakiyuda³

Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Andalas University, Limau Manis, Padang. Kode Pos: 25166

*Email : zilfa@sci.unand.ac.id

Abstrak

Air gambut adalah jenis air permukaan yang biasanya ditemukan di wilayah lahan gambut, terutama di daerah dataran rendah. Air gambut memiliki tingkat keasaman yang rendah (pH 3–5), berwarna merah kecokelatan, serta kaya akan kandungan zat organik dan anorganik. Warna air gambut yang lebih pekat menunjukkan kandungan senyawa-senyawa kimia yang lebih tinggi. Tingginya kadar logam Fe dalam air gambut dapat merusak ekosistem rawa gambut, misalnya dengan menghambat aktivitas mikroorganisme yang berperan sebagai dekomposer, mengganggu pertumbuhan tanaman, dan menimbulkan racun bagi manusia dan makhluk hidup lainnya jika mengkonsumsinya sehingga perlu dilakukan proses degradasi logam Fe tersebut. Hal ini membuatnya tidak memenuhi persyaratan air rumah tangga dan sanitasi yang layak konsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penggunaan katalis CuO/Zeolit pada degradasi air gambut dengan metode ozonolisis terhadap kadar Fe. Proses degradasi dilakukan dengan beberapa parameter kondisi optimum yaitu pengaruh waktu, masa katalis dan volume sampel. Setelah proses degradasi pada kondisi optimum, kadar Fe menjadi 0,19 mg/L dan sudah berada pada batas aman dari standar baku mutu yang digunakan. Berdasarkan data tersebut, penurunan konsentrasi logam Fe serta nilai BOD, COD, Nitrat, Nitrit, dan TSS pada air gambut secara ozonolisis lebih efektif dengan penambahan katalis CuO/Zeolit pada kondisi yang optimum.

Kata kunci : Air gambut, degradasi, CuO/Zeolit, ozonolisis, pengolahan air

Abstract

Peat water is a type of surface water that is usually found in peatland areas, especially in lowland areas. Peat water has a low acidity level (pH 3-5), is red-brown in color, and is rich in organic and inorganic substances. The more intense color of peat water indicates a higher content of chemical compounds. High levels of Fe metal in peat water can disrupt the peat swamp ecosystem itself, such as disrupting the activity of decomposer microorganisms, disrupting plant growth, and causing toxicity to humans and other living things if they consume it. This makes it does not comply with the standards for domestic water use and sanitation that is suitable for consumption. This research seeks to evaluate the impact of utilizing CuO/Zeolite catalysts on the degradation of peat water by ozonolysis method on Fe levels. After the degradation process at optimum conditions, the Fe level became 0.19 mg/L and was already at the safe limit of the quality standard used. Based on these data, the decrease in Fe metal concentration as well as BOD, COD, Nitrate, Nitrite, and TSS values in peat water by ozonolysis is more effective with the addition of CuO/Zeolite catalysts at optimum conditions.

Keywords: Peat water, degradation, CuO/Zeolite, ozonolysis, water treatment

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu jenis sumber daya alam terpenting dalam kehidupan. Indonesia, yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tertinggi keempat di dunia, menghadapi tantangan dalam mencukupi keperluan air harian. Badan Pusat Statistik menyatakan bahwa hanya 72,55% fasilitas air bersih yang layak, masih di bawah target 100% yang ditetapkan oleh Sustainable Development Goals (SDGs). Keterbatasan fasilitas ini menyebabkan masyarakat mengonsumsi air yang belum memenuhi kualitas air bersih, sehingga meningkatkan risiko penyakit. Air sebagai komponen lingkungan hidup dipengaruhi oleh komponen lainnya. Kualitas air yang buruk berdampak negatif pada kesehatan serta keselamatan manusia serta biota lainnya. Semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk maka semakin banyak diperlukan air bersih. Namun, kualitas air menurun akibat eksploitasi yang tidak terkendali akibat pemakaian oleh manusia yang tidak peduli terhadap kerusakan lingkungan, yang mengakibatkan air tidak mencapai peruntukan dan mutunya untuk berbagai aspek kehidupan (Fisal & Atmaja, 2019)

Sumber air dapat digolongkan menjadi air resapan, air pegunungan, air laut, dan air tanah. Salah satu contoh umum dari air permukaan saat ini adalah air gambut. Air gambut merupakan jenis air permukaan yang umumnya dijumpai di kawasan lahan gambut atau daerah dataran rendah (Rahmi, 2022). Di beberapa daerah di Indonesia, seperti Riau, Jambi, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Tengah, air gambut menjadi salah satu sumber utama air permukaan yang dimanfaatkan oleh masyarakat. Air gambut memiliki tingkat keasaman yang rendah (pH 3–5), berwarna merah kecokelatan, dan mengandung banyak bahan organik, sehingga tidak layak digunakan sebagai air minum, untuk keperluan rumah

tangga, maupun sebagai air baku bagi produksi air minum (sesuai Kemenkes No.492/MENKES/PER/IV/2010 dan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001). Oleh karena itu, air gambut perlu pengolahan khusus sebelum digunakan dan dikonsumsi (Suherman & Sunawijaya, 2013).

Ada beberapa cara untuk memperbaiki kualitas air gambut, salah satunya dengan mendegradasi pengotor pada air gambut (Putro & Santoso, 2023). Alternatif yang banyak digunakan saat ini adalah proses oksidasi lanjut (AOPs/Advanced Oxidation Process). Adapun metode AOPs yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode ozonolisis. Ozonolisis adalah metode degradasi yang menggunakan ozon (O_3). Ozon dapat berinteraksi dengan senyawa dalam sampel uji baik secara langsung maupun tidak langsung melalui proses dekomposisi dan pembentukan radikal hidroksil, atau melalui oksidasi senyawa organik yang terjadi akibat kombinasi reaksi antara molekul ozon dan radikal hidroksil. Metode ozonolisis digunakan dalam penelitian ini karena tidak menghasilkan produk samping saat bereaksi (Gita, 2017).

Proses ozonolisis dapat berlangsung lebih cepat dengan bantuan katalis. Salah satu katalis yang dapat digunakan adalah tembaga(II) oksida (CuO), yaitu senyawa oksida logam transisi yang memiliki sifat semikonduktor tipe-p yang menarik. Oksida logam transisi ini memiliki celah pita energi yang cukup sempit, yaitu sekitar 1,2 eV. CuO menjadi perhatian karena harganya yang terjangkau, kemampuan menyerap cahaya yang tinggi, emisi panas yang rendah, sifat non-toksik, serta proses produksinya yang relatif mudah. Untuk meningkatkan aktivitas degradasi CuO , dilakukan penyanggaan katalis dengan zeolit, membentuk $CuO/zeolit$. Zeolit mampu menghilangkan senyawa anorganik, organik, organologam, serta berbagai gas dan logam dari cairan melalui proses adsorpsi dan

presipitasi di permukaan (Fiolida, 2016). Struktur kristalnya yang sangat teratur dengan rongga-rongga yang saling terhubung ke berbagai arah membuat zeolit memiliki luas permukaan yang besar, sehingga sangat efisien digunakan sebagai agen penukar kation, adsorben, dan katalis. (Selvina & Fahrialam, 2021).

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis melaksanakan penelitian tentang pemanfaatan CuO/Zeolit dalam degradasi air gambut menggunakan metode ozonolisis dan pengaruh terhadap kadar logam Fe. Guna mengetahui efektivitas kinerja ozonasi menggunakan katalis CuO/Zeolit untuk penurunan kadar senyawa anorganik seperti besi (Fe).

METODE PENELITIAN

Bahan kimia

Material yang dipakai dalam penelitian ini adalah zeolit alami yang diperoleh dari Lubuk Salasiah, Kabupaten Solok. FeCl₃, CuO (Merck), HCl (Merck), NaCl (Merck), AgNO₃ (Merck), NaOH (Merck), KNO₃ (Merck), Asam Sulfanilat (Merck), NEDH, serta sampel air gambut yang diambil dari Kabupaten Padang Pariaman.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas seperti gelas piala, labu ukur, erlenmeyer, corong, petridish, batang pengaduk, pipet takar, dan pipet gondok. Selain itu, digunakan juga neraca analitik (KERN AJ 220-4M), ayakan (Fritsch, Jerman), magnetic stirrer, sentrifus (Thermo Scientific), oven, furnace, spektrofotometer UV-Vis (SHIMADZU UV-1280), FTIR (Perkin Elmer Frontier C90704), XRD (XPert PRO PANalytical), AAS, serta generator ozon (Hanaco).

Preparasi Sampel Air Gambut

Sampel diambil dari Kabupaten Padang Pariaman, dengan cara pengambilan dari tiga titik yang berbeda. Ketiga sampel dicampurkan dan diaduk. Kemudian diperiksa pH sampel. Kemudian ditambahkan HNO₃ hingga mencapai pH di bawah 2, kemudian sampel disaring dan disimpan di dalam lemari pendingin.

Persiapan Katalis CuO/Zeolit

Sebanyak 25 gram zeolit yang telah dijenuhkan ditimbang dan dimasukkan ke dalam air destilasi, kemudian diaduk selama 5 jam. Setelah itu, CuO sebanyak 1 gram ditambahkan secara bertahap sambil terus diaduk. Campuran yang dihasilkan dipisahkan menggunakan penyaringan vakum, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C. Setelah kering, bahan digerus hingga halus dan diayak menggunakan saringan berukuran 150 mesh. Hasil ayakan kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C selama 10 jam.

Penentuan Parameter Optimum Degradasi Pengaruh Waktu Degradasi terhadap Persen Degradasi Fe Tanpa Katalis CuO/Zeolit

Sebanyak 20 mL air gambut dimasukkan masing-masing kedalam 8 petridish. Kemudian dilakukan ozonolisis dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit. Filtrat diambil dan absorban masing-masing larutan diukur menggunakan AAS, selanjutnya ditentukan persen degradasi.

Pengaruh Jumlah Katalis CuO/Zeolit terhadap Persen Degradasi Fe secara Ozonolisis

Dipipet 20 mL air gambut dimasukkan masing-masing kedalam 8 petridish. Kemudian ditambahkan katalis CuO/Zeolit dengan variasi 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,0 gram, Kemudian dilakukan ozonolisis dengan waktu optimum 60 menit kemudian disentrifus selama 15 menit. Filtrat diambil dan absorban masing-masing larutan diukur menggunakan AAS dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Waktu Degradasi terhadap Persen Degradasi Fe dengan Katalis CuO/Zeolit

Sebanyak 20 mL air gambut dimasukkan masing-masing kedalam 8 petridish. Kemudian ditambahkan katalis sebanyak massa optimum 0,2 gram Kemudian dilakukan ozonolisis dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit. kemudian disentrifus selama 15 menit. Filtrat diambil dan absorban masing-masing

larutan diukur menggunakan AAS dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Volume Sampel terhadap Persen Degradasi Fe Menggunakan Katalis CuO/Zeolit

Sediakan 8 *petridish* yang diisi variasi volume sampel air gambut yaitu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 mL. Kemudian ditambahkan katalis sebanyak 0,2 gram dan Dilakukan degradasi waktu optimum selama 45 menit, kemudian disentrifus selama 15 menit. Filtrat diambil dan absorban masing-masing larutan diukur menggunakan AAS dan dihitung persen degradasinya.

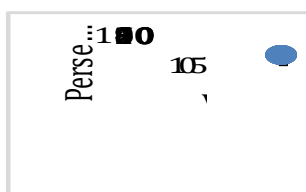
Perbandingan Hasil Degradasi terhadap Penurunan Konsentrasi Fe dengan Katalis CuO/Zeolit Menggunakan Metode Ozonolisis dan Tanpa Ozonolisis

Sebanyak 20 mL air gambut dimasukkan masing-masing kedalam 8 *petridish*. Kemudian ditambahkan katalis sebanyak 0,2 gram. proses degradasi dilakukan didalam wadah gelap. Dilakukan degradasi dengan penambahan gelembung ozon dan tanpa penambahan gelembung ozon, dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit. Pada degradasi setelah menggunakan gelembung ozon, sampel diendapkan selama 15 menit kemudian nilai absorban masing-masing larutan diukur menggunakan AAS dan dihitung persen degradasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

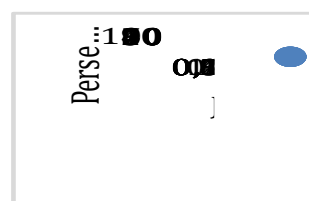
Pengaruh Waktu Ozonolisis Terhadap Persen Degradasi Fe dalam Sampel Tanpa Katalis.



Gambar 3.1 Pengaruh Waktu ozonolisis terhadap persen degradasi Fe tanpa katalis, volume sampel 20 mL

Gambar 3.1 menunjukkan didapatkan persentase degradasi tertinggi sebesar 13,4% pada menit ke 60. Peningkatan persentase degradasi terjadi karena adanya penurunan konsentrasi logam Fe setelah dilakukan proses ozonolisis. Menurunnya konsentrasi logam Fe terjadi karena adanya ozon yang merupakan oksidator kuat. Ketika ozon direaksikan kedalam sampel air gambut, radikal bebas $O\cdot$ yang terdapat dalam ozon dapat bereaksi dengan molekul air dan menghasilkan ion hidroksil ($OH\cdot$), yang selanjutnya akan memecah ikatan-ikatan serta senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam sampel. (Khair, 2016).

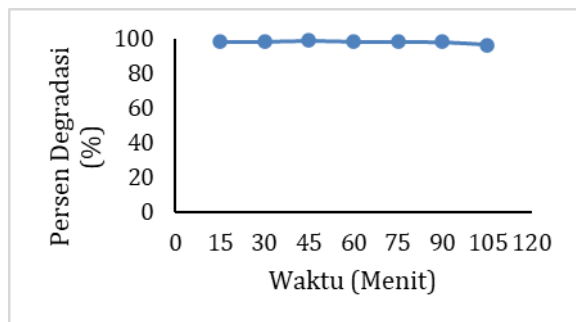
Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis CuO/Zeolit terhadap Persen Degradasi Fe secara Ozonolisis



Gambar 3.2 Pengaruh penambahan jumlah katalis CuO/Zeolit terhadap Persen degradasi Fe secara ozonolisis, volume sampel 20 mL, waktu 60 menit

Berdasarkan gambar 3.2 Penambahan jumlah katalis CuO/Zeolit yang optimum untuk memaksimalkan hasil degradasi yaitu pada 0,2 gram sebesar 97,27%. Persentase degradasi meningkat seiring dengan penambahan jumlah katalis. Hal ini terjadi karena CuO/zeolit berkontribusi dalam meningkatkan efektivitas proses degradasi. CuO/Zeolit yang berperan sebagai katalis, ketika ditambahkan akan meningkatkan pembentukan radikal $OH\cdot$. sehingga secara langsung akan meningkatkan persentase degradasi Fe (Suryani & Paramita).

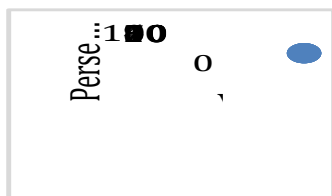
Pengaruh Waktu Ozonolisis terhadap Persen Degradasi Fe dengan Penambahan Katalis CuO/Zeolit



Gambar 3.3 Pengaruh waktu degradasi terhadap persen degradasi Fe dengan penambahan katalis CuO/Zeolit 0,2 gram, volume 20 mL

Berdasarkan gambar 3.3 waktu optimum untuk menurunkan konsentrasi Fe dengan penambahan CuO/Zeolit adalah 45 menit, persen degradasi sebesar 99,01%. Apabila CuO/Zeolit dikenai oleh energi foton akan terbentuk *hole-hole* sehingga diisi oleh elektron, dengan adanya elektron akan menguraikan H_2O menjadi H^+ dan $OH^\bullet$ sehingga meningkatkan efisiensi degradasi (Zilfa & Safni, 2021). Namun, setelah 45 menit, persentase degradasi mengalami penurunan, yang disebabkan oleh kondisi larutan yang telah mencapai kejenuhan. Menyebabkan absorban menjadi besar, sehingga persen degradasi pada sampel akan menurun (Zilfa & Yusuf, 2022)

Pengaruh volume sampel terhadap persen degradasi Fe menggunakan katalis CuO/Zeolit

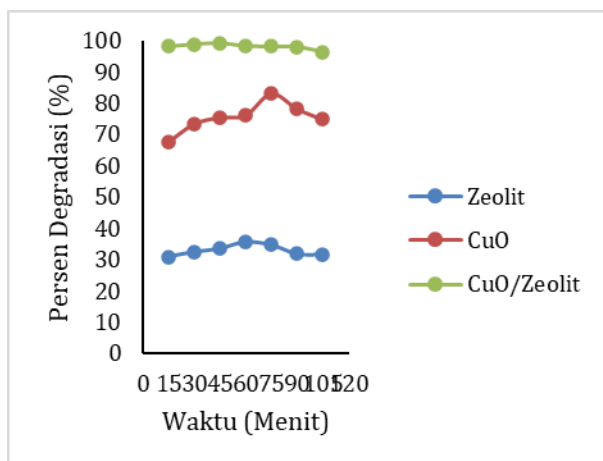


Gambar 3.4 Pengaruh volume sampel terhadap persen degradasi Fe menggunakan katalis CuO/Zeolit 0,2 gram, waktu 45 menit

Gambar 3.4 memperlihatkan bahwa volume sampel optimum untuk menurunkan konsentrasi logam Fe yaitu 20 mL dengan persen degradasi 98,68%. Namun, ketika dilakukan degradasi pada volume yang lebih besar dari 20 mL terjadi penurunan persen degradasi. Ini terjadi karena setelah dinaikkannya volume sampel, kapasitas degradasi oleh ozon dan penyerapan oleh CuO/Zeolit terjadi penurunan (Abdi & Khair, 2017). Ini disebabkan kemampuan dari pembentukan radikal $OH^\bullet$ sudah mencapai jumlah yang optimum pada volume 20 mL. Oleh karena itu, ketika volume sampel lebih banyak dari 20 mL performa dari radikal $OH^\bullet$ untuk memutus ikatan senyawa dalam sampel tidak optimum lagi dan juga menyebabkan sebagian dari logam Fe tidak terserap karena jumlahnya terlalu banyak dan yang terserap hanya sesuai dengan kapasitas CuO/Zeolit yang ada (Zilfa & septiani, 2020).

Pengaruh Waktu terhadap Persen Degradasi Fe Menggunakan Katalis CuO dan Zeolit

Jumlah katalis yang digunakan tersebut didapatkan dari perbandingan katalis dengan zeolit yang optimum. Perbandingan yang digunakan saat melakukan *doping* katalis dengan zeolit adalah 1:25 (katalis : Zeolit) dalam jumlah optimum yaitu 0,2 gram, sehingga digunakan 0,0077 gram katalis CuO dan 0,1923 gram zeolit dalam setiap penambahan CuO/Zeolit ke sampel. Kemudian diozonolisis dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit.

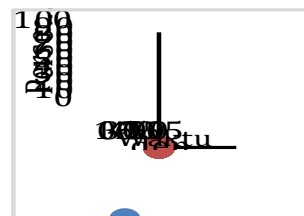


Gambar 3.5 Pengaruh Waktu terhadap Persen Degradasi Fe Menggunakan Katalis CuO 0,0077 gram, Zeolit 0,1923 gram dan CuO/Zeolit 0,2 gram, volume sampel 20 mL

Spektrum berwarna *orange* menyatakan bahwa persen degradasi logam Fe dengan penambahan katalis saja didapatkan hasil optimum pada menit ke 75 dengan persen degradasi sebesar 83,03%. Sesudah menit ke 75 terjadi penurunan persen degradasi yang mana disebabkan karena kemampuan alat ozonikator yang juga menurun sehingga pembentukan $\text{OH}^\bullet$ radikal juga semakin menurun. Persen degradasi yang didapatkan tidak lebih besar saat perlakuan dengan penambahan katalis CuO/Zeolit. Proses ini terjadi karena pada proses ini degradasi hanya terjadi dengan bantuan CuO tanpa adanya bantuan penyerapan oleh zeolit (Zilfa & Safni, 2021). Berdasarkan hasil yang didapatkan pada penggunaan zeolit saja, persen degradasi tertinggi didapatkan pada menit ke 60 yaitu sebesar 35,76% yang menunjukkan bahwa persen degradasi yang didapatkan lebih rendah dari perlakuan dengan penambahan katalis CuO dan CuO/Zeolit yang dapat diamati pada grafik pada spektrum dengan warna abu-abu. Hal ini dikarenakan yang terjadi pada proses ini adalah hanya proses ozonolisis dengan penyerapan oleh zeolit tanpa bantuan katalis CuO. Proses penyerapan ini dapat terjadi karena zeolit memiliki struktur berpori yang

memungkinkan peningkatan luas permukaan (Hidayat & Sutarno, 2019).

Perbandingan Hasil Degradasi terhadap Persen Degradasi Fe dengan Katalis CuO/Zeolit Menggunakan Metode Ozonolisis dan Tanpa Ozonolisis



Gambar 3.6 Perbandingan Hasil Degradasi terhadap Persen Degradasi Fe dengan Katalis CuO/Zeolit Menggunakan Metode Ozonolisis dan Tanpa Ozonolisis

Berdasarkan gambar 3.6 yang merupakan data hasil pengujian dengan dan tanpa proses ozonolisis. Tanpa ozonolisis dilakukan dengan penambahan 0,2 gram katalis CuO/Zeolit dalam 20 mL air gambut kemudian disimpan dalam gelap. Berdasarkan hasil yang didapatkan, Terdapat perbedaan yang cukup signifikan dari persen degradasi yang tertera pada grafik, hal ini menandakan proses ozonolisis berperan penting dan efektif untuk meningkatkan pengurangan konsentrasi logam Fe. Perlakuan tanpa ozonolisis tidak seefektif perlakuan dengan proses ozonolisis, karena pada perlakuan tanpa ozonolisis hanya terjadi proses penyerapan oleh CuO/Zeolit tanpa adanya bantuan ozon.

Penentuan Kadar Fe dalam Sampel Air Gambut Sebelum dan Setelah Proses Ozonolisis dengan Bantuan CuO/Zeolit pada Kondisi Optimum

Kadar Fe yang didapatkan sebelum dilakukan degradasi sebesar 25,72 mg/L yang mana angka tersebut cukup besar dan jauh dari standar yang digunakan yaitu SNI 06-6989.4-2004 yang menetapkan bahwa kadar logam Fe dalam air yang layak digunakan harus kecil dari 0,2 mg/L. Tingginya kadar logam Fe dalam air gambut

dapat merusak ekosistem rawa gambut itu sendiri, misalnya dengan mengganggu aktivitas mikroorganisme yang berfungsi sebagai decomposer, mengganggu pertumbuhan tanaman, dan menimbulkan racun bagi manusia dan makhluk hidup lainnya jika mengkonsumsinya sehingga perlu dilakukan proses degradasi logam Fe tersebut (Aulian Barry, 2023). Setelah dilakukan proses degradasi dalam kondisi optimum, didapatkan kadar Fe sebesar 0,19 mg/L yang mana terjadi penurunan yang jauh dibandingkan pada kondisi sebelum degradasi. Hal ini menandakan proses ozonolisis dengan bantuan CuO/Zeolit dalam kondisi optimum efektif untuk menurunkan kadar logam Fe pada air gambut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa zeolit alam yang digunakan pada penelitian dapat menjadi *support* katalis CuO membentuk CuO/Zeolit. Kondisi optimum yang didapatkan pada proses degradasi ini yaitu dilakukan dengan penambahan jumlah katalis sebesar 0,2 gram, proses degradasi dengan ozonolisis dilakukan 45 menit, serta jumlah volume sampel sebesar 20 mL. Konsentrasi logam Fe setelah dilakukan proses degradasi terjadi penurunan konsentrasi dari 25,11 mg/L menjadi 0,19 mg/L. Berdasarkan data yang didapatkan, diperoleh bahwa penurunan konsentrasi logam Fe pada air gambut secara ozonolisis lebih efektif dengan penambahan katalis CuO/zeolit pada kondisi yang optimum. Dengan demikian hasil dari penelitian ini dapat diimplikasikan pada air yang bermasalah sehingga didapatkan air yang berkualitas dan dimanfaatkan oleh masyarakat.

DAFTAR RUJUKAN

Abdi, C., & Khair, R. (2017). *Effect Of Ozonation In Decreasing Color Intensity And Level Of Iron (Fe) In Peat Water*.

- Aulian Barry, D. (2023). Analisis Besi (Fe) Terlarut Dalam Air Tanah Pada Lahan Gambut Dengan Sekat Kanal. *jurnal sains pertanian equator*, 813.
- Fiolida, i. (2016). Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Cuo-Zeolit Alam Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Sinar Ultraviolet. yogyakarta.
- Fisal, M., & Atmaja, D. (2019). kualitas air pada sumber mata air di pura taman desa sanggalangit sebagai sumber air minum berbasis metode storet. *jurnal pendidikan geografi undhiksha*, 2.
- Gita, B. (2017). Degradasi Zat Warna Malachite Green Secara Ozonolisis dengan Penambahan Katalis TiO₂-Anatase dan ZnO.
- Hidayat, A., & Sutarno, D. (2019). Sintesis katalis Cuo-Zeolit alam untuk reaksi reduksi gas NO₂ menggunakan reduktor senyawa hidrokarbon.
- Khair, R. (2016). *Effect Of Ozone And Activated Sand Zeolit Filter Media To Remove The Colour Intensity Of Peat Water With Forced Circulation*.
- Putro, D., & Santoso. (2023). Perancangan Sistem Pengolahan Air Gambut Untuk Meningkatkan Ketersediaan Air Bersih.
- Rahmi, A. (2022). analisis kualitas air gambut dengan metode penyaringan sederhana. 14-20.
- Selvina, M., & Fahrialam, A. (2021). *Study Characteristics of Zeolite in Yogyakarta and Its Utilization as a Builder Agent to Produce Environmentally Friendly Detergent*. *Jurnal geologi dan sumberdaya mineral*, 189-196.
- Suherman, D., & Sunawijaya, N. (2013). menghilangkan warna dan zat organik air gambut dengan metode koagulasi-Flokulasi suasana basa. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* , 125.

- Suryani, M., & Paramita, A. (n.d.). Analisis Penentuan Kadar Besi (Fe) Dalam Air Limbah Tambang Batu Bara Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.
- Zilfa, & Safni. (2021). Penggunaan ZnO/Zeolit Sebagai Katalis Dalam Degradasi Tartrazin Secara Ozonolisis. *Jurnal riset kimia*, 53-64.
- Zilfa, & Septiani, U. (2020). Pengaruh HCl terhadap aktivitas seolit alam clinoptilolit-Ca pada penyerapan Pb(II) . *jurnal riset kimia*, 80-88.
- Zilfa, & Yusuf, Y. (2022). Pemanfaatan TiO₂/Zeolit Alam Sebagai Pendegradasi Pestisida (Permetrin) Secara Ozonolisis. *Jurnal riset kimia*.