



## PENENTUAN JENIS OKSIDATOR DAN JUMLAH SIKLUS PROSES TERBAIK PADA TAHAP *PRETREATMENT* PENGOLAHAN LIMBAH CAIR OXAMYL

Gallan Kusuma<sup>1</sup>, Endarto Yudo Wardhono<sup>1,2</sup>, Rahmayetty<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jalan Raya Jakarta Km.4, Pakupatan, Serang 42122, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jalan Jendral Sudirman Km. 3, cilegon-Banten

<sup>3</sup>Laboratorium Biomaterial Terpadu dan Rekayasa Produk, Center of Excellence, Fakultas  
Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jalan Jendral Sudirman Km. 3, cilegon-Banten

\*Email: [rahmayetty@untirta.ac.id](mailto:rahmayetty@untirta.ac.id)

### Abstrak

Penggunaan oxamyl sebagai bahan aktif dalam pembuatan produk pestisida menghasilkan produk samping yang digolongkan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun serta non biodegradasi dengan nilai *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi. Saat ini, proses pengolahan limbah oxamyl masih menggunakan metode konvensional dengan biaya proses yang cukup tinggi. Teknologi yang efektif dan efisien untuk mengolah limbah dari golongan karbami adalah teknologi *advance oxydation processes* (AOP). Metode ini mengkombinasikan beberapa reaksi yaitu, ozonisasi dengan gelombang ultra violet (UV) serta oksidator kuat peroksida dan persulfat untuk menghasilkan radikal bebas OH<sup>-</sup>. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan jenis oksidator dan jumlah siklus proses terbaik terhadap laju degradasi COD dan %Oxamyl. Pengolahan limbah oxamyl menggunakan 3 oksidator yaitu peroksida, persulfat, dan campuran peroksid & persulfat. Dosis oksidator yang digunakan adalah 5000 ppm. Hasil terbaik dari tahap ini dialirkan oleh pompa untuk disirkulasi di rangkaian alat AOP dengan jumlah siklus proses yaitu 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, dan 160. Pada penelitian ini, oksidator terbaik adalah campuran antara peroksida dan persulfat dalam rentang waktu 48 jam dengan nilai COD dan kandungan oxamyl masing-masing sebesar 4254,63 ppm, 0,31% dan 43173,21 ppm 1,9%.

**Kata Kunci:** Oksidator, Oxamyl, Siklus, COD

### Abstract

*Using oxamyl as an active ingredient in the manufacture of pesticides produces by-products classified as hazardous, toxic, and non-biodegradable waste with high chemical oxygen demand (COD) values. The oxamyl waste treatment process uses the conventional method with a reasonably high process cost. Effective and efficient technology for treating waste from the carbamate group is the advanced oxidation processes (AOP) technology. This method combines several reactions: ozonation with ultraviolet (UV) waves and oxidizing solid agents peroxide and persulfate to produce OH<sup>-</sup> free radicals. This study aimed to obtain the best type of oxidizing agent and number of cycles for the degradation rate of COD and %Oxamyl. Oxamyl waste treatment uses three oxidizing agents: peroxide, persulfate, and a mixture of peroxide & persulfate. The oxidizing dose used is 5000 ppm. The best results from this stage are flowed by a pump to be circulated in a series of AOP devices with several process cycles, namely 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, and 160. In this study, the best oxidizing agent for oxamyl distillate and residue was a mixture of peroxide and persulfate within 48 hours with COD values and oxamyl content of 4254.63 ppm 0.31% and 43173.21 ppm 1.9%, respectively.*

**Keywords:** Oxidizing Agent, Oxamyl, Cycle, COD

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu industri produsen bahan aktif berbasis oxamyl yang menghasilkan produk pestisida di kawasan industri Cilegon mempunyai produk samping berupa limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dari hasil distilasi dan residu. Limbah tersebut masih mengandung senyawa oxamyl yang merupakan golongan karbami dengan karakteristik beracun, non-biodegradasi dengan nilai *chemical oxygen demand* (COD) untuk limbah hasil destilasi 7000 ppm dan residu 55000 ppm dengan kadungan oxamyl masing-masing berada di 5 dan 0,5%. Jumlah limbah yang dihasilkan mencapai 600 ton per bulan. Saat ini pengolahan limbah B3 oxamyl dari hasil distilasi dan residu masih dilakukan secara konvensional. Biaya yang dibutuhkan untuk pengolahan limbah ini cukup tinggi serta hasil pengolahannya masih berpotensi mencemari lingkungan karena produk akhirnya digunakan untuk campuran pembuatan semen.

Salah satu teknologi yang efektif dan efisien untuk mengolah limbah B3 dari golongan karbami adalah teknologi *advance oxydation processes* (AOP). AOP adalah suatu teknologi yang menggunakan kombinasi reagen oksidasi, paparan sinar UV, dan katalis dalam menghasilkan radikal hidroksil ( $\text{OH}^\cdot$ ). Teknologi AOP dengan kombinasi ozon dan sinar UV dapat menghasilkan radikal hidroksil secara maksimum sehingga efektif dalam merubah warna dan menghilangkan bau yang terkandung dalam limbah cair. Secara garis besar ada beberapa keunggulan metode AOP antara lain: mengurangi zat warna pada limbah yang tidak bisa diuraikan dengan teknologi lain, mampu mendegradasi polutan organik yang tidak terdegradasi dengan proses konvensional, tidak memerlukan proses regenerasi atau proses pencucian seperti pada pemakaian absorben atau membran penyaring, serta tidak menghasilkan lumpur yang harus diolah lagi seperti pada teknologi koagulasi/sedimentasi (Chaudhuri & Wei, 2009).

Beberapa penelitian telah berusaha untuk menyelidiki peran OH dalam pewarnaan, pembelahan cincin naftalena dan benzena, oksidasi senyawa organik, dan remediasi air terkontaminasi. Rosenfeldt et al. (2006) membandingkan kemampuan beberapa proses oksidasi tingkat lanjut dalam hal energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan OH. Bukti yang ada menunjukkan bahwa pentingnya reaksi OH dalam pengolahan air limbah telah diakui, dan kinetika serta mekanisme untuk reaksi ini telah dipelajari dan ditinjau secara komprehensif. Mekanisme pembentukan radikal OH secara garis besar dibedakan menjadi beberapa jenis AOP yaitu: (1) radiasi, fotolisis, dan fotokatalisis (termasuk VUV, UV/O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> /O<sub>3</sub>, UV/HOCl, dan fotokatalisis heterogen), (2) sonolisis (termasuk AS, AS/O<sub>3</sub>, AS/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, dan AS/fotokatalisis), (3) oksidasi elektrokimia teknologi (termasuk oksidasi anodik dan fotoelektrokatalisis), (4) Reaksi berbasis Fenton (termasuk proses Fenton homogen, heterogen Proses Fenton, dan foto-Fenton, sono-Fenton, elektro-Fenton, dan proses photoelectro-Fenton), (5) proses berbasis ozon termasuk ozonasi, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ozonasi katalitik homogen, ozonasi katalitik

heterogen, dan elektrolisis-ozonasi (Cooper et al., 2009). Jenis AOP dengan oksidasi menggunakan reagen fenton diikuti dengan netralisasi dengan kapur dan pengendapan dengan bentonit, penurunan COD bisa setinggi 54% (Ippolito et al., 2021).

Reaksi oxamyl berlangsung relatif cepat dengan molekul ozon serta dengan penambahan t-butyl alkohol pada pH 2-7 (W Haag, 1999). Salah satu bahan aktif carbofuran yang masih tergolong keluarga karbami dapat terurai secara sempurna dengan ozonisasi pada 91 mg/L (Javier Benitez et al., 2002). Penguraian carbofuran dengan proses ozonisasi dikombinasikan dengan penggunaan sinar ultraviolet (UV) mampu menguraikan 22-100 mg/L carbofuran (Javier Benitez et al., 2002; Kuo, 2002). Kombinasi ozonasi dan UV juga mampu mendegradasi 85% COD dalam 100 mg/L cairan carbofuran serta dapat mendegradasi microtox (Kuo, 2002). Kombinasi UV dengan ozon (UV/O<sub>3</sub>) dapat meningkatkan laju degradasi senyawa organik dalam air dengan adanya radikal OH. Pada panjang gelombang ( $\lambda < 300$  nm), maka O<sub>3</sub> akan terdekomposisi menjadi O<sub>2</sub> dan satu atom O yang memiliki energi yang sangat besar sehingga sangat cepat bereaksi dengan seluruh partikel yang ada dalam air, dan sebagian besar bisa bereaksi dengan cara masuk ke dalam ikatan C-H atau ikatan O-H. Kelebihan energi yang ada pada molekul H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan menghasilkan fragmentasi dari ikatan O-O (Garoma & Gurol, 2004). Penggabungan fotolisis O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> telah dilakukan pula untuk menguraikan senyawa alachlor 5,4 mg/L pada pH 8,2, (Beltran, 2003). Penambahan persulfat dalam AOP berfungsi untuk melepaskan sejumlah SO<sub>4</sub><sup>•</sup> dengan memutus ikatan peroksida secara homolitik atau heterolitik dalam molekul persulfat. Keberadaan SO<sub>4</sub><sup>•</sup> dapat dengan cepat mengoksidasi polutan, meskipun potensial oksidasi SO<sub>4</sub><sup>•</sup> sebanding dengan <sup>•</sup>OH, namun oksidasi yang digerakkan oleh SO<sub>4</sub><sup>•</sup> jauh lebih efektif daripada oksidan lainnya (Beltrán et al., 1994; Ikehata & El-Din, 2006).

Berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya maka pengolahan limbah oxamyl dari industri pestisida dilakukan dengan teknologi AOP. Penelitian ini menggunakan kombinasi fotolisis antara ozonisasi, ultra violet, hydrogen peroksida, dan persulfat (O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/PS). Tujuan penelitian ini adalah menentukan jenis oksidator (peroksida, persulfat atau gabungan peroksida dan persulfat) dan dosis yang efektif serta jumlah siklus yang tepat dalam mendegradasi limbah oxamyl menggunakan rangkaian alat AOP.

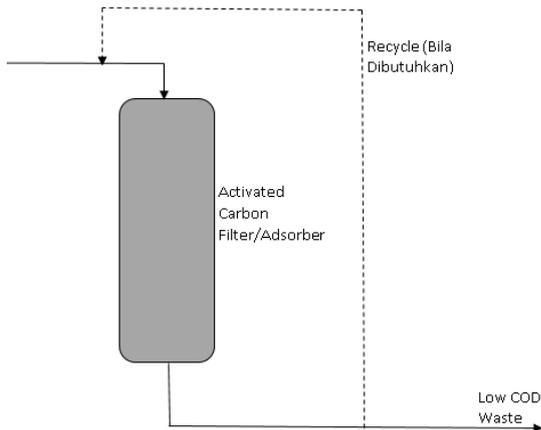
## 2. METODE PENELITIAN

Sistem AOP yang digunakan pada penelitian adalah proses siklus batch.

### 2.1 Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan antara lain hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), persulfat, karbon aktif, oksigen, limbah distilat, dan residu. Limbah distilat dan residu didapat dari salah satu industri pestisida di kota Cilegon, Banten. Serangkaian alat absorber yang digunakan untuk mendegradasi limbah ditunjukkan

pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Rangkaian alat penelitian

## 2.2 Prosedur Penelitian

### 2.2.1 Penentuan oksidator

Limbah distilat dan residu oxamyl yang akan diolah dilakukan pengenceran sebanyak 10 kali. Limbah dengan volume 1000 ml dilakukan proses adsorpsi satu siklus menggunakan 50 gram karbon aktif. Limbah dicampur dengan oksidator dengan dosis 5000 ppm. Variasi jenis oksidator yang digunakan adalah  $H_2O_2$ , persulfat, dan  $H_2O_2 +$  persulfat. Pengujian konsentrasi COD dan konsentrasi oxamyl dilakukan setiap 6 jam selama waktu penyimpanan 48 jam.

### 2.2.2 Penentuan Jumlah Siklus Proses

Oksidator yang digunakan dalam penentuan jumlah siklus terbaik dalam proses *pretreatment* limbah oxamyl adalah oksidator yang terbaik pada tahap pertama. Prosedur tahap ini adalah limbah oxamyl (limbah distilat atau residu) dimasukkan dalam absorben yang telah diisi dengan karbon aktif. Oksidator dimasukkan dan sirkulasi proses dilakukan sesuai dengan variabel yaitu 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, dan 160. Pengujian konsentrasi COD dan konsentrasi oxamyl dilakukan pada akhir setiap siklus.

Oksidator yang digunakan adalah oksidator campuran ( $O_3/UV/H_2O_2/PS$ ). Radikal hidroksil yang dihasilkan akan menyerang molekul organik melalui abstraksi hidrogen, penambahan radikal bebas, kombinasi radikal bebas, dan transfer elektron. Selain aktivasi ikatan peroksida dapat dicapai dengan masukan energi dalam bentuk foton (fotolisis UV) atau panas (termolisis).

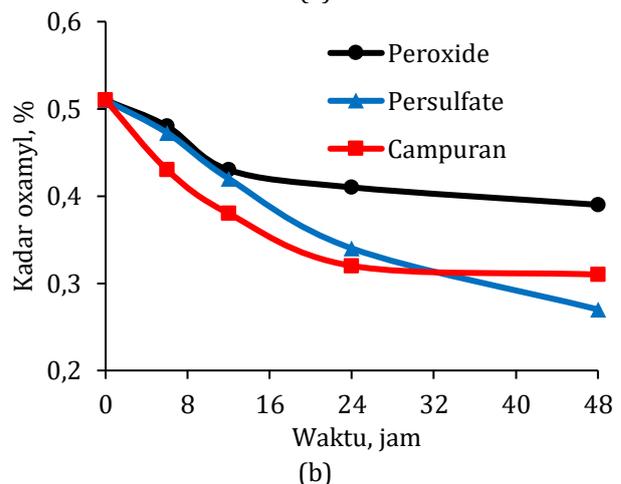
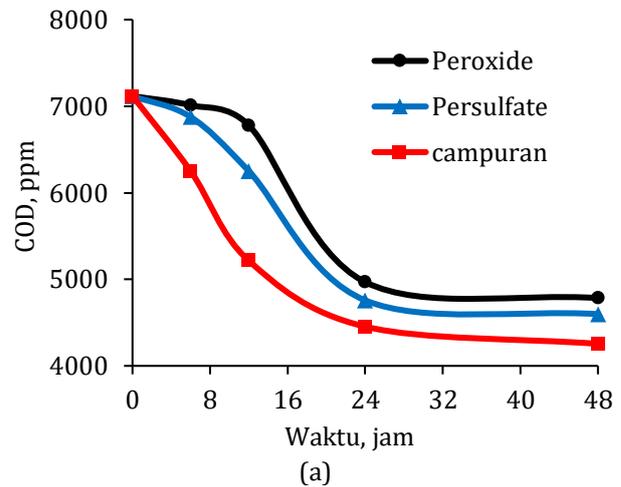
Untuk limbah B3 berbasis distilat, proses pengumpanan limbah dimasukkan secara periodik dengan kecepatan aliran 500 ml/menit dan kecepatan agitator 10 RPM. Dalam 1 jam dilakukan aliran proses sirkulasi pada sistem. Untuk limbah B3 berbasis residu, proses *pengumpanan limbah* dilakukan secara periodik dengan keadaan 500 ml/menit, dan kecepatan agitator di buat 25 RPM. Dalam 1 jam dilakukan aliran proses sirkulasi pada sistem.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengaruh Jenis Oksidator Terhadap Penurunan Nilai COD Dan Kadar Oxamyl Pada Limbah Distilat Dan Residu

#### 3.1.1 Limbah B3 Berbasis Distilat

Pengaruh jenis oksidator terhadap *holding time* di dalam proses *pre-treatment* menggunakan 3 jenis oksidator terlihat pada Gambar 2 (a) dan 2 (b) menunjukkan penurunan nilai COD dan kadar oxamyl dari sampel berbasis limbah distilat terhadap waktu (*holding time*) untuk penggunaan 3 jenis oksidator.



**Gambar 2.** Pengaruh jenis oksidator terhadap penurunan: (a) COD; (b) kadar oxamyl

Dari Gambar 2 (a) terlihat bahwa untuk jenis oksidator peroksida berkurang hampir 30% dalam 24 jam pertama. Penurunan nilai COD cenderung melandai seiring waktu. Pada akhir *holding time* (48 jam) nilai COD mengalami penurunan total sebanyak 33%. Penurunan yang sama juga ditunjukkan pada oksidator jenis persulfat, dimana penurunan nilai COD mencapai hampir 23% pada waktu 24 jam pertama. Di akhir pengamatan 48 jam, penurunan nilai COD mencapai hampir sebesar 25% dari nilai awal. Sampel dengan oksidator campuran menunjukkan penurunan nilai COD relatif stabil dari waktu tempuh 6 jam pertama dan lebih melambat setelah waktu pengamatan 24 jam pertama. Pada 24 jam pertama terjadi penurunan nilai COD sekitar 38%. Penurunan cenderung melandai pada

24 jam berikutnya dengan penurunan nilai COD akhir lebih dari 40%.

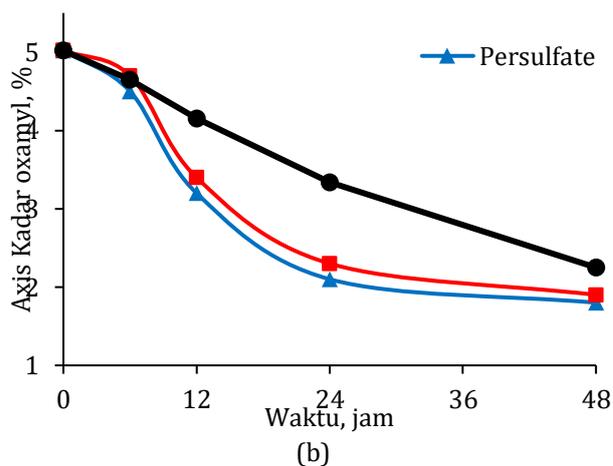
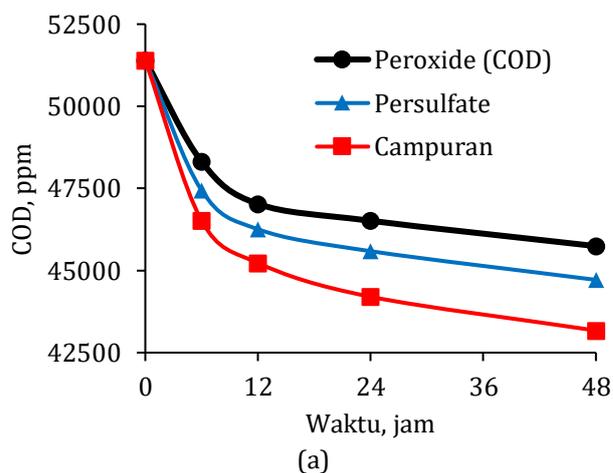
Pada Gambar 2(b) dapat terlihat, untuk oksidator peroksida relatif menunjukkan tren grafik yang melandai, atau tidak terjadi perubahan yang signifikan antara nilai awal dan nilai akhir. Nilai degradasi kandungan oxamyl pada larutan adalah sebesar 24% dari nilai awal. Pada penggunaan persulfat sebagai oksidator didapatkan tren penurunan yang sangat signifikan, dimana pada saat t=24 jam nilai kandungan % oxamyl sebesar 0,34%. Pengamatan di 48 jam kadar oxamyl sebesar 0,27%, sehingga mengalami persentase penurunan sekitar 47% terhadap nilai awal. Hasil pengamatan pada penggunaan oksidator campuran terlihat penurunan relatif stabil mulai dari 8 jam pertama dan lebih melambat setelah waktu pengamatan 24 jam. Pada akhir pengolahan (48 jam), kandungan oxamyl akhir dalam air limbah sebesar 0,31% atau mengalami persentase degradasi sekitar 40% dari nilai awal.

Dari percobaan ini dapat diketahui bahwa waktu penyimpanan setelah ditambahkan oksidator tidak banyak berpengaruh pada kadar COD. Hal ini dikarenakan tidak sempurnanya reaksi oksidasi yang terjadi, sehingga penurunan nilai kadar COD pada limbah kurang maksimal. Hasil yang berbeda dilaporkan oleh Kuo, (2002) dimana kombinasi ozon dengan hidrogen peroksida ( $O_3/H_2O_2$ ) dapat meningkatkan degradasi senyawa organik hingga 85%.

### 3.1.2 Limbah B3 berbasis residu

Pada Gambar 3(a) terlihat bahwa penggunaan oksidator peroksida dapat menurunkan COD dalam waktu pengolahan 24 jam hampir 9%. Penurunan cenderung melandai di 24 jam berikutnya dengan total penurunan COD sekitar 12%. Tren penurunan yang hampir sama ditunjukkan dengan penggunaan oksidator jenis persulfat, dimana COD terdegradasi hampir sebesar 13%. Penggunaan oksidator campuran, menyebabkan penurunan COD relatif signifikan mulai waktu tempuh 6 jam pertama dan lebih melambat setelah waktu pengamatan 24 jam dengan nilai degradasi COD akhir mencapai 16%.

Pada Gambar 3(b) terlihat bahwa penggunaan oksidator peroksida menunjukkan penurunan kadar oxamyl relatif stabil. Penggunaan persulfat dapat menurunkan kadar oxamyl secara signifikan sampai 24 jam pengolahan dimana kadar oxamyl mencapai 2,1%. Penurunan melandai sampai 48 jam waktu pengolahan. Kadar oxamyl akhir yang didapatkan sebesar 1,8% dengan presentase penurunan sekitar 66%. Penggunaan oksidator campuran, pada 24 jam waktu pengolahan mampu menurunkan kadar oxamyl hingga mencapai kadar 2,3% atau mengalami degradasi sekitar 55%. Penurunannya cenderung melandai hingga 48 jam waktu pengolahan yaitu sebesar 1,9% atau mengalami persentase degradasi sekitar 63%.



**Gambar 3.** Pengaruh jenis oksidator terhadap penurunan; (a) COD; (b) kadar oxamyl

Penggunaan oksidator campuran ( $O_3/UV/H_2O_2/PS$ ) untuk mengolah limbah hasil residu, mampu menurunkan COD yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan penggunaan oksidator peroksida dan persulfat. Sedangkan untuk pengurangan kadar oxamyl, penggunaan oksidator campuran hampir sama dengan penggunaan oksidator persulfat. Dari percobaan ini didapat bahwa oksidator campuran memiliki nilai relatif lebih baik jika dibandingkan penggunaan oksidator persulfat dan peroksida secara tunggal. Hasil penelitian ini senada dengan penelitian yang dilaporkan oleh Hassaan et al. (2022) dimana kombinasi  $O_3/UV/H_2O_2$  mampu meningkatkan efisiensi penghilangan warna dalam limbah cair. Mehrabadi, (2016) menyatakan bahwa sistem  $O_3/H_2O_2$  lebih efektif dalam penyisihan BOD dan COD dibandingkan dengan sistem  $UV/H_2O_2$ .

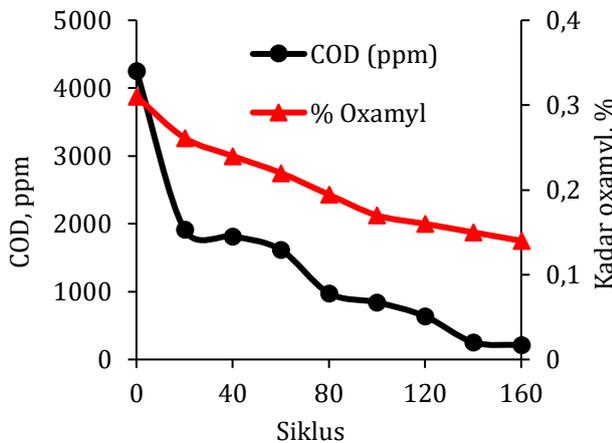
Hidrogen peroksida adalah salah satu oksidan kuat dengan nilai energi potensial sebesar 1,8 dan 0,8 V pada keadaan larutan dengan pH 0,0–14,0 (Beltrán et al., 1994). Jika hanya memanfaatkan hidrogen peroksida sebagai oksidator tunggal tidak akan cukup kuat untuk bisa mengoksidasi limbah pestisida. Oleh karena itu peroksida digunakan supaya pemecahan persulfat dapat lebih cepat sehingga dapat menghasilkan satu anion  $HO_2^-$  ketika bereaksi dengan  $O_3$ . Tujuan utama penambahan persulfat dalam AOP adalah pelepasan sejumlah besar  $SO_4^{\bullet-}$  dengan

memutus ikatan peroksida secara homolitik atau heterolitik dalam molekul persulfat. Keberadaan  $SO_4^*$  dapat dengan cepat mengoksidasi polutan seperti oxamyl, meskipun potensial oksidasi  $SO_4^*$  sebanding dengan  $\bullet OH$ , namun oksidasi yang digerakkan oleh  $SO_4^*$  jauh lebih efektif daripada oksidan lainnya. Besar energi potensial yang dimiliki pada saat terjadinya oksidasi sebesar 2,80 V dimana dengan energi potensial itu dapat membuat laju reaksi oksidasi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan oksidasi dengan cara konvensional (Ikehata & El-Din, 2006). Interaksi yang terjadi antara kedua peroksida yang dapat meningkatkan efektifitas dalam penurunan nilai COD. Parameter waktu penyimpanan setelah penambahan oksidator tidak banyak berpengaruh pada kadar COD. Hal ini dikarenakan tidak sempurnanya reaksi oksidasi yang terjadi, sehingga penurunan nilai kadar COD pada limbah kurang maksimal.

### 3.2 Pengaruh Jumlah Siklus Proses Dalam Mereduksi Nilai COD Dan Kandungan %Oxamyl Pada Larutan

#### 3.2.1 Limbah B3 berbasis distilat

Penurunan nilai COD dan kadar oxamyl dari sample berbasis air distilat terhadap jumlah siklus proses untuk larutan limbah yang dialirkan ke dalam sistem disajikan Gambar 4.



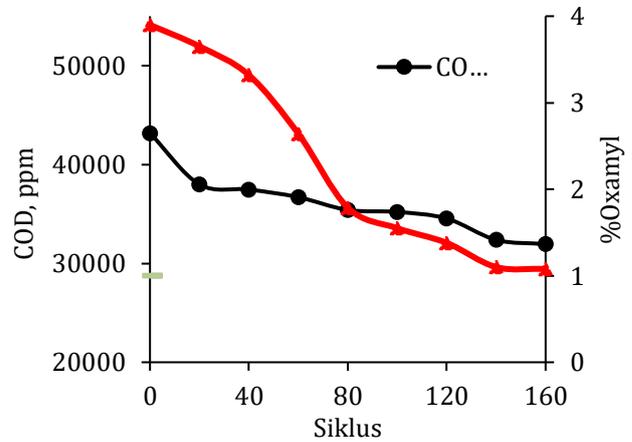
**Gambar 4.** Pengaruh jumlah siklus proses terhadap penurunan COD dan kadar oxamyl dari limbah distilat

Dari Gambar 4 terlihat pengaruh siklus proses terhadap nilai COD. Penurunan nilai COD secara drastis dalam siklus yang ke-20 hampir sebesar 55%. Penurunannya kemudian cenderung melandai di 20 siklus berikutnya. Penurunan signifikan terjadi pada 30 menit pertama sistem berjalan, kemudian melandai sampai akhirnya menunjukkan penurunan yang lebih konsisten, dimulai dari siklus ke-60 sampai dengan siklus ke-160. Penurunan nilai COD total sebesar 87%. Penurunan nilai kandungan %oxamyl mulai dari awal sampai siklus 160 siklus adalah sebesar 55%. Semakin bertambahnya siklus maka kontak antara limbah dengan oksidator semakin sering terjadi sehingga waktu reaksi untuk mendegradasi senyawa organik

yang terkandung dalam limbah semakin lama yang menyebabkan kandungan COD semakin menurun.

#### 3.2.2 Limbah B3 berbasis residu

Penurunan nilai COD dan kadar oxamyl dari sampel berbasis air residu terhadap jumlah siklus proses untuk larutan limbah yang dialirkan ke dalam sistem terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Pengaruh jumlah siklus proses terhadap penurunan COD dan kadar oxamyl dari limbah air residu

Dari Gambar 5 terlihat pengaruh siklus proses terhadap nilai COD yang berkurang secara drastis dalam siklus ke-20. Penurunan COD cenderung melandai mulai dari siklus ke-40 sampai dengan siklus ke-160. Tren melandai terjadi sampai dengan siklus ke-160. Total presentasi nilai degradasi COD pada proses ini sebesar 26%.

Penurunan nilai kandungan %oxamyl cukup signifikan. Hal ini terjadi pada siklus awal sampai dengan siklus ke-80. Penurunan konsentrasi oxamyl melandai pada rentang siklus ke-80 sampai dengan siklus ke-160. Penurunan %oxamyl secara keseluruhan sebesar 72% dari nilai awal. Semakin banyak siklus yang dilakukan maka oxamyl yang terkandung dalam limbah akan semakin sering berkontak dengan oksidator sehingga semakin banyak oxamyl yang terhidrolisis. Hal ini menyebabkan kandungan oxamyl dalam limbah semakin berkurang. Schoenell et al. (2022) melaporkan bahwa waktu *treatment* sangat mempengaruhi penyisihan senyawa organik dalam sistem AOP.

## 4. KESIMPULAN

Proses *pre-treatment* jenis dan kombinasi yang tepat terhadap waktu simpan larutan limbah oxamyl distilat adalah menggunakan campuran 1:1 antara peroksida dan persulfat dengan dosis 5000 ppm, dan dalam rentang waktu 48 jam menghasilkan nilai COD sebesar 4254,63 dengan kandungan nilai oxamyl 0,31%. Sama halnya seperti limbah oxamyl distilat untuk larutan limbah oxamyl residu keadaan terbaik adalah menggunakan Campuran 1:1 antara peroksida dan persulfat dengan dosis 5000 ppm, dan dalam rentang waktu 48 jam menghasilkan nilai COD sebesar

43173,21 dengan kandungan nilai oxamyl 1,9%. Pengaruh jumlah siklus terhadap degradasi oxamyl distilat dalam rentan waktu 1 sampai 3 jam dengan jumlah (55 siklus perjam) adalah pada rentang waktu 3 jam dengan degradasi nilai COD 212,73 ppm, dan besar nilai konsentrasi oxamyl 0,14%. Sedangkan pengaruh jumlah siklus terhadap degradasi oxamyl residu dalam rentan waktu 1 sampai 3 jam dengan jumlah (55 siklus perjam) adalah pada rentang waktu 3 jam dengan degradasi nilai COD 31948,182 ppm, dan besar nilai konsentrasi oxamyl 1,08%.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Beltran, F. J. (2003). Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems. In *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems*. <https://doi.org/10.1201/9780203509173>
- Beltrán, F. J., González, M., Rivas, J., & Marín, M. (1994). Oxidation of Mecoprop in Water with Ozone and Ozone Combined with Hydrogen Peroxide. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 33(1), 125–136. <https://doi.org/10.1021/ie00025a017>
- Chaudhuri, M., & Wei, T. Y. (2009). Decolourisation of reactive dyes by modified photo-fenton process under irradiation with sunlight. *Nature Environment and Pollution Technology*, 8(2), 359–363.
- Cooper, W. J., Cramer, C. J., Martin, N. H., Mezyk, S. P., O'Shea, K. E., & Von Sonntag, C. (2009). Free radical mechanisms for the treatment of methyl tert-butyl ether (MTBE) via advanced oxidation/reductive processes in aqueous solutions. In *Chemical Reviews* (Vol. 109, Issue 3, pp. 1302–1345). <https://doi.org/10.1021/cr078024c>
- Garoma, T., & Gurol, M. D. (2004). Degradation of tert-butyl alcohol in dilute aqueous solution by an O<sub>3</sub>/UV process. *Environmental Science and Technology*, 38(19), 5246–5252. <https://doi.org/10.1021/es0353210>
- Hassaan, M. A., El Nemr, A., El-Zahhar, A. A., Idris, A. M., Alghamdi, M. M., Sahlabji, T., & Said, T. O. (2022). Degradation mechanism of Direct Red 23 dye by advanced oxidation processes: a comparative study. *Toxin Reviews*, 41(1), 38–47. <https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1827431>
- Ikehata, K., & El-Din, M. G. (2006). Aqueous pesticide degradation by hydrogen peroxide/ultraviolet irradiation and Fenton-type advanced oxidation processes: A review. In *Journal of Environmental Engineering and Science* (Vol. 5, Issue 2, pp. 81–135). <https://doi.org/10.1139/s05-046>
- Ippolito, N. M., Zueva, S. B., Ferella, F., Corradini, V., Baturina, E. V., & Vegliò, F. (2021). Treatment of waste water from a winery with an advanced oxidation process (AOP). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062025>
- Javier Benitez, F., Acero, J. L., & Real, F. J. (2002). Degradation of carbofuran by using ozone, UV radiation and advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 89(1), 51–65. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00300-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00300-4)
- Kuo, W. S. (2002). Photocatalytic oxidation of pesticide rinsate. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 37(1), 65–74. <https://doi.org/10.1081/PFC-120002898>
- Mehrabadi, Z. S. (2016). Performance of advanced oxidation process (UV/O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) degrading amoxicillin wastewater: A comparative study. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 5(31), 222–231. [http://hamayesh.razi.ac.ir/article\\_572\\_c8f9aa10927099803a35777347ab43f9.pdf](http://hamayesh.razi.ac.ir/article_572_c8f9aa10927099803a35777347ab43f9.pdf)
- Rosenfeldt, E. J., Linden, K. G., Canonica, S., & von Gunten, U. (2006). Comparison of the efficiency of {radical dot}OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Water Research*, 40(20), 3695–3704. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.09.008>
- Schoenell, E. K., Otto, N., Rodrigues, M. A. S., & Metzger, J. W. (2022). Removal of Organic Micropollutants from Treated Municipal Wastewater by O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in a UVA-LED Reactor. *Ozone: Science and Engineering*, 44(2), 172–181. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1900716>
- W Haag, C. Y. (1999). Ozonation of U.S. drinking water sources: HO• concentration and oxidation-competition values. *Eleventh Ozone World Congress*, S - 17–119 - 126.