

# KOMBINASI ELEKTROKOAGULASI DAN OKSIDASI LANJUT BERBASIS O<sub>3</sub>/GAC DALAM MENGOLAH LIMBAH INDUSTRI BATIK

**Debora Rousyella Saulina Tampubolon dan Firra Rosariawari**

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: [firra.tl@upnjatim.ac.id](mailto:firra.tl@upnjatim.ac.id)

## ABSTRAK

Penggunaan pewarna kimia pada proses pembuatan batik menyebabkan limbah industri batik mengandung polutan yang sukar diuraikan. Selain itu, kadar COD dan TSS limbah industri batik juga tinggi. Kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC secara *batch* maupun kontinyu bertujuan sebagai salah satu teknologi alternatif serta mengetahui pengaruh jarak elektroda, waktu detensi, dosis ozon, dan waktu sampling terhadap efisiensi penyisihan COD, TSS, dan warna limbah industri batik. Dengan variasi jarak elektroda 2 cm, 4 cm, 6 cm ; waktu detensi 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit ; dosis ozon 0,25 gr O<sub>3</sub>/L ; 0,5 gr O<sub>3</sub>/L ; 0,75 gr O<sub>3</sub>/L ; dan waktu sampling 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit didapatkan hasil terbaik untuk COD, TSS, dan warna masing-masing 110,4 mg/L ; 40 mg/L ; 30 PtCo pada sistem batch dan 552 mg/L ; 360 mg/L ; 374 PtCo pada sistem kontinyu.

**Kata kunci:** *Elektrokoagulasi, Oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC, Limbah industri batik*

## ABSTRACT

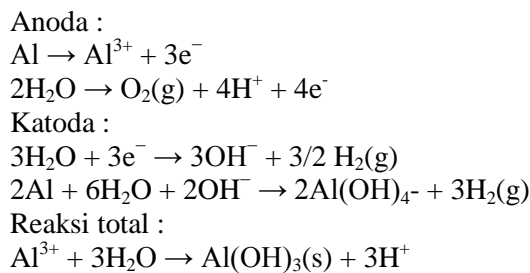
*The use of chemical dyes in the batik-making process causes the batik industrial waste to contain pollutants that are difficult to decompose. In addition, the levels of COD and TSS of batik industrial waste are also high. The combination of electrocoagulation and advanced oxidation based on O<sub>3</sub> / GAC in batch or continuously aims as an alternative technology and to determine the effect of electrode distance, detention time, ozone dose, and sampling time on the efficiency of COD, TSS removal, and the color of batik industrial waste. With a variation of the electrode distance of 2 cm, 4 cm, 6 cm; detention time 20 minutes, 40 minutes, 60 minutes, 80 minutes, 100 minutes; ozone dose 0.25 g O<sub>3</sub> / L; 0.5 gr O<sub>3</sub> / L; 0.75 gr O<sub>3</sub> / L; and sampling times of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, 150 minutes, the best results were obtained for COD, TSS, and color, respectively 110.4 mg / L; 40 mg / L; 30 PtCo in batch systems and 552 mg / L; 360 mg / L; 374 PtCo on a continuous system.*

**Keywords:** *Electrocoagulation, Advanced oxydation process based O<sub>3</sub>/GAC, Batik industrial waste*

**PENDAHULUAN**

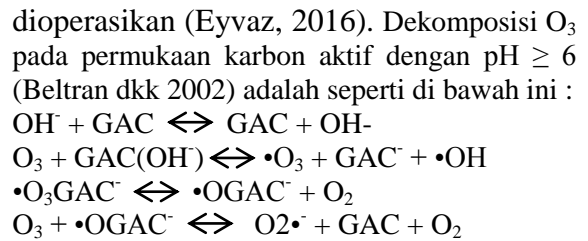
Limbah industri batik menggunakan pewarna kimia dalam pembuatannya sehingga mengandung bahan kimia yang sukar diuraikan (Hasti, 2014). Selain itu, limbah industri batik juga mengandung kadar COD dan TSS yang tinggi dan mampu mengganggu ekosistem serta biota perairan (Wildan, 2019). Limbah batik Jetis, Sidoarjo mempunyai karakteristik COD sebesar 1965,6 mg/L ; TSS 1140 mg/L ; warna 727 PtCo. Apabila dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014, limbah industri batik tersebut berada di atas baku mutu dan tentunya membutuhkan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air.

Teknologi alternatif yang berhasil mengolah limbah industri batik adalah kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC (Stasinakis, 2008). Elektrokoagulasi adalah kombinasi antara elektrokimia dan flokulasi-koagulasi (Djajadiningrat, 2004). Reaksi yang terjadi pada elektroda aluminium (Al) pada proses elektrokoagulasi dengan adalah sebagai berikut:



Oksidasi lanjut adalah reaksi yang menghasilkan senyawa radikal sebagai oksidator yang nantinya akan bereaksi dengan kontaminan. Oksidasi lanjut dapat dikombinasikan dengan O<sub>3</sub>/peroksida, O<sub>3</sub>/fenton, dan O<sub>3</sub>/GAC (Valdes dan Zaror, 2005). Oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC termasuk ozonasi katalitik heterogen. GAC (*Granular Activated Carbon*) akan mempercepat terbentuknya senyawa radikal (katalis).

Keunggulan kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC yaitu tidak membutuhkan bahan kimia tambahan, *sludge* yang terbentuk juga sangat sedikit, dan mudah

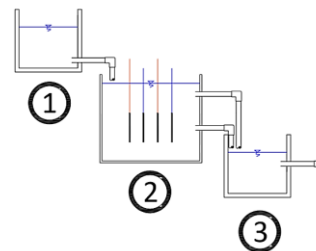


**METODE PENELITIAN**

Penelitian kali ini menggunakan sistem *batch* dan kontinyu. Di mana hasil terbaik yang didapatkan pada proses elektrokoagulasi akan diteruskan ke proses oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC dan untuk sistem kontinyu, hasil terbaik yang didapatkan pada sistem *batch* akan digunakan sebagai variabel.

**Alat dan Bahan**

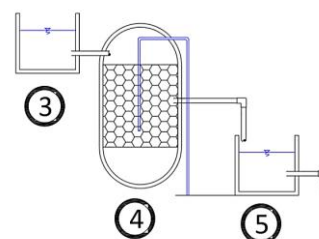
Alat yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu reaktor elektrokoagulasi berbahan kaca, *power supply*, bak penampung, bak sedimentasi, bak *outlet*, elektroda aluminium, reaktor oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC berbahan *acrylic*, dan *ozoniser*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah air limbah industri batik Jetis, Sidoarjo dan *Granular Activated Carbon* (GAC).



**Gambar-1** : Desain reaktor elektrokoagulasi *batch*

Keterangan :

- 1. Bak penampung kapasitas 7 liter
- 2. Reaktor elektrokoagulasi
- 3. Bak sedimentasi 1 kapasitas 7 liter



**Gambar-2** : Desain reaktor oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC *batch*

Keterangan :

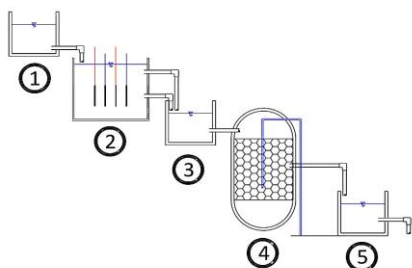
4. Bak penampung kapasitas 7 liter
5. Reaktor oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$
6. Bak sedimentasi 2 kapasitas 7 liter

#### Variabel Tetap Sistem *Batch*

- a. Volume limbah industri batik 5 liter
- b. Dimensi reaktor elektrokoagulasi 25 cm x 12 cm x 22 cm
- c. Dimensi reaktor oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$  Ø 20 cm x tinggi 22 cm
- d. Elektroda berbahan alumunium berukuran 20 cm x 10 cm dan ketebalan 0,1 cm
- e. Kuat arus 2 ampere
- f. Massa GAC 120 gram

#### Variabel Bebas Sistem *Batch*

- a. Waktu kontak 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit, 120 menit dan jarak elektroda 2 cm, 4 cm, 6 cm pada elektrokoagulasi
- b. Dosis ozon 0,25 gr  $O_3/L$  ; 0,5 gr  $O_3/L$  ; 0,75 gr  $O_3/L$  pada oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$



**Gambar-3 :** Desain reaktor kontinyu

Keterangan :

1. Bak penampung kapasitas 7 liter
2. Reaktor elektrokoagulasi p = 25 cm, l = 12 cm, t = 22 cm, valve bawah = 8,5 cm dari dasar reaktor, valve atas = 17 cm dari dasar reaktor
3. Bak sedimentasi 1 kapasitas 7 liter
4. Reaktor oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$  Ø 20 cm x tinggi 22 cm dan valve = 13 cm dari dasar reaktor
5. Bak sedimentasi 2 kapasitas 7 liter

#### Variabel Tetap Sistem Kontinyu

- a. Debit aliran 50 mL / menit ; 42 mL / menit ; 35,5 mL / menit ; 33 mL / menit
- b. Elektroda berbahan alumunium berukuran 20 cm x 10 cm dan ketebalan 0,1 cm
- c. Kuat arus 2 ampere
- d. Massa GAC 120 gram

- e. Jarak elektroda pada elektrokoagulasi 4 cm
- f. Waktu kontak pada elektrokoagulasi 100 menit
- g. Dosis ozon 0,75 gr  $O_3/L$  pada oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$

#### Variabel Bebas Sistem Kontinyu

Waktu sampling 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit

#### Penelitian Pendahuluan

Pengambilan data awal untuk uji awal parameter limbah industri batik. Uji awal limbah digunakan sebagai acuan dalam mengetahui efisiensi penurunan parameter COD, TSS, dan warna limbah industri batik.

#### Proses Sistem Reaktor *Batch*

##### a. Proses variasi waktu kontak dan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi

Sampel limbah dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi sebanyak 5 liter. Dilakukan variasi waktu kontak 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit, dan 120 menit serta variasi jarak elektroda 2 cm, 4 cm, 6 cm. Kuat arus ditetapkan 2 A. Menganalisa COD, TSS, warna dari sampel limbah setelah proses elektrokoagulasi dan sedimentasi selama ± 2 jam.

##### b. Proses variasi dosis ozon dalam proses oksidasi lanjut berbasis $O_3/GAC$

Sampel hasil terbaik dari analisa proses elektrokoagulasi dimasukkan ke dalam reaktor oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$  sebanyak 4 liter. Dilakukan variasi dosis ozon 0,25 gram  $O_3/liter$  ; 0,5 gram  $O_3/liter$  ; dan 0,75 gram  $O_3/liter$  dengan massa *Granular Activated Carbon* (GAC) 120 gram. Menganalisa COD, TSS, warna sampel limbah yang telah melalui proses oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$  dan telah disedimentasi selama ± 2 jam.

#### Proses Sistem Reaktor Kontinyu

Sampel limbah industri batik sebanyak 5 liter dimasukkan ke dalam bak penampung. Selanjutnya sampel dari bak penampung dialirkan ke reaktor elektrokoagulasi dengan mengatur jarak elektroda 4 cm dan waktu detensi 100 menit. Setelah itu sampel disedimentasi selama ± 2 jam. Setelah ± 2 jam, sampel dialirkan dari bak sedimentasi menuju reaktor oksidasi lanjut berbasis  $O_3/GAC$  dan menambahkan 120 gram GAC dan dosis ozon 0,75 gram  $O_3/liter$ . Terakhir, sampel

disedimentasi kembali selama ± 2 jam sebelum dianalisa kadar COD, TSS, dan warnanya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

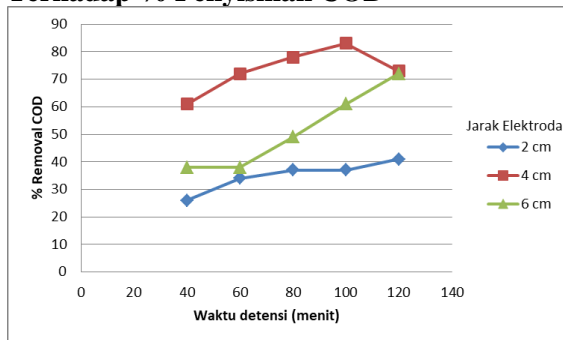
**Uji Karakteristik Awal**

**Tabel-1:** Analisa Awal Limbah Industri Batik

Parameter	Analisa Awal	Baku Mutu
COD	1965,6 mg / L	150 mg / L
TSS	1140 mg / L	50 mg / L
Warna	727 PtCo	-

Dapat dilihat bahwa hasil analisa awal sampel berada di atas baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014.

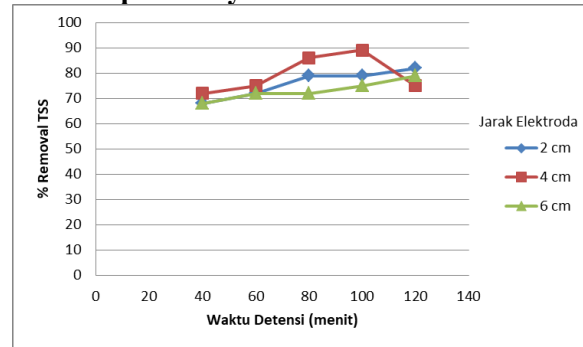
**Pengaruh Jarak Elektroda dan Waktu Detensi pada Proses Elektrokoagulasi Batch Terhadap % Penyisihan COD**



**Grafik -1** Hubungan Jarak Elektroda dan Waktu Detensi Terhadap % Penyisihan COD

Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik pada jarak elektroda 4 cm dan waktu detensi 100 menit, peningkatan % penyisihan kadar COD disebabkan oleh reaksi oksidasi-reduksi yang di anoda dan katoda yang menghasilkan gas H<sub>2</sub> (Can Izares, 2007). Semakin lama waktu detensi elektrokoagulasi berlangsung, semakin banyak pula koloid yang terikat menghasilkan flok berukuran besar dan menurunkan kadar COD. Semakin kecil jarak antar elektroda, maka semakin kecil hambatan yang timbul dalam reaksi. sehingga menyebabkan proses oksidasi akan semakin cepat. Semakin cepat proses oksidasi, semakin cepat proses pembentukan flok yang memperbesar % penyisihan kadar COD di dalam limbah tersebut (Noni Ika, 2009). Persen penyisihan COD terbesar mencapai 83% dengan nilai 331,2 mg / L dari kadar awal COD yaitu sebesar 1965,6 mg / L, namun masih berada di atas baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014.

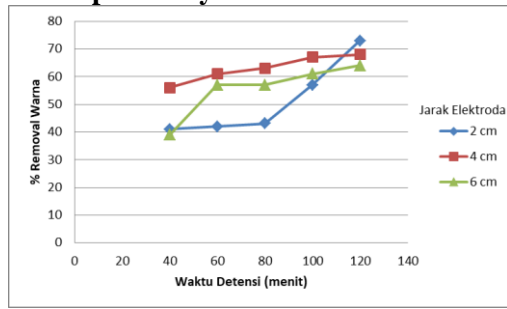
**Pengaruh Jarak Elektroda dan Waktu Detensi pada Proses Elektrokoagulasi Batch Terhadap % Penyisihan TSS**



**Grafik -2** Hubungan Jarak Elektroda dan Waktu Detensi Terhadap % Penyisihan TSS

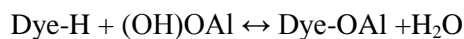
Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik pada jarak elektroda 4 cm dan waktu detensi 100 menit, meningkatnya % penyisihan kadar TSS disebabkan pada elektrokoagulasi, ion negatif melepaskan elektron di katoda dan teroksidasi, sebaliknya, ion positif pada anoda akan menangkap elektron dan terjadi reduksi dan akan muncul gelembung udara yang akan mengikat bahan organik di dalam air limbah. Jarak elektroda berdampak pada kecepatan transfer elektron. Jika jarak terlalu dekat, jumlah Al(OH)<sub>3</sub> meningkat dan sistem akan mengalami gangguan akibat hubungan singkat yang terjadi antar elektroda dan berlaku sama pula apabila jarak elektroda yang terlalu jauh (Titik Darmawanti, 2010). Dan semakin lama proses elektrokoagulasi, padatan-padatan tersuspensi dalam limbah tersebut mengalami proses destabilisasi muatan oleh Al(OH)<sub>3</sub>, sehingga padatan dan koagulan bergabung membentuk flok berukuran besar yang kemudian akan mengendap dan memperbesar % penyisihan kadar TSS dalam air limbah. Persen penyisihan TSS terbesar mencapai 89% dengan nilai 120 mg / L dari kadar awal TSS yaitu sebesar 1140 mg / L, namun masih berada di atas baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014.

**Pengaruh Jarak Elektroda dan Waktu Detensi pada Proses Elektrokoagulasi Batch Terhadap % Penyisihan Warna**



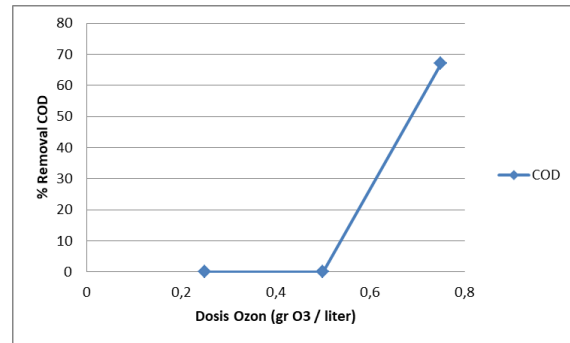
**Grafik -3** Hubungan Jarak Elektroda dan Waktu Detensi Terhadap % Penyisihan Warna

Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik pada jarak elektroda 2 cm dan waktu detensi 120 menit, peningkatan % penyisihan kadar zat warna berbanding lurus dengan semakin lamanya waktu detensi. Proses adsorpsi yang terjadi, berfungsi menyisihkan senyawa-senyawa aromatik dan terlarut. Semakin tinggi terlarutnya anoda, jumlah kompleks *hydroxocationic* akan meningkat dan mengakibatkan zat warna yang terkandung di dalam limbah akan membentuk flok berukuran lebih besar, maka jumlah *sludge* yang terbentuk akan semakin banyak pula, sehingga zat warna yang mampu disisihkan juga semakin banyak. Zat warna yang merupakan kontaminan menghasilkan *ligands* yang akan terikat pada  $Al(OH)_3$  (Novi Putrie, 2016) seperti reaksi (Dalvand dkk, 2011) :



Lalu, semakin dekat jarak elektroda, maka jumlah radikal hidroksil yang dihasilkan selama proses elektrolisis pada permukaan anoda juga lebih banyak dan merata. Hal tersebut dapat mempercepat proses oksidasi senyawa organik. Persen penyisihan warna terbesar mencapai 73% dengan nilai 196 PtCo dari kadar awal warna yaitu sebesar 727 PtCo.

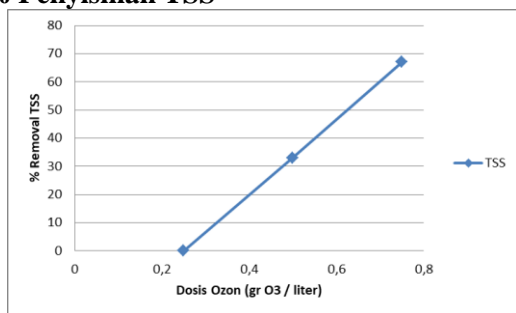
**Pengaruh Dosis Ozon pada Proses Oksidasi Lanjut Berbasis  $O_3$  / GAC Batch Terhadap % Penyisihan COD**



**Grafik -4** Hubungan Dosis Ozon Terhadap % Penyisihan COD

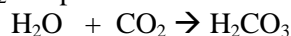
Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik didapat pada dosis ozon 0,75 gram  $O_3$ /liter, semakin besar dosis ozon, maka penyisihan kadar COD akan semakin besar pula. Hal ini disebabkan oleh pengaruh radikal hidroksil (OH) yang terbentuk selama proses berjalan. Radikal hidroksil tersebut kemudian mendegradasi zat-zat organik yang terdapat pada limbah cair tersebut. Adanya gas  $O_3$  dan radikal oksigen juga mempercepat proses degradasi zat-zat organik. Pembentukan OH dan  $O_2$  semakin cepat dalam reaksi dekomposisi ozon, hal ini juga disebabkan karena adanya bantuan dari karbon aktif (Enajrlis dkk, 2019). Persen penyisihan COD terbesar mencapai 67% dengan nilai 110,4 mg / L dari kadar awal COD yaitu sebesar 331,2 mg / L. Kadar tersebut sudah berada di bawah baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014. Oleh karena itu, kadar COD di dalam limbah sudah aman apabila hendak dibuang ke sungai / badan air.

**Pengaruh Dosis Ozon pada Proses Oksidasi Lanjut Berbasis O<sub>3</sub> / GAC Batch Terhadap % Penyisihan TSS**



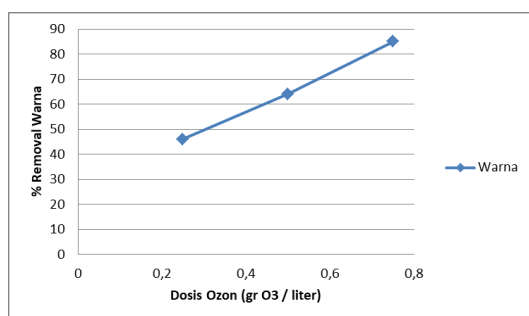
**Grafik -5** Hubungan Dosis Ozon Terhadap % Penyisihan TSS

Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik didapat pada dosis ozon 0,75 gram O<sub>3</sub>/liter, semakin besar dosis ozon, maka semakin besar penyisihan kadar TSS. Hal ini disebabkan karena adanya padatan-padatan organik yang terkandung di dalam limbah berupa koloid dalam jumlah besar, selama proses berjalan, dengan adanya gas O<sub>3</sub> yang membentuk senyawa hidroksil dan bereaksi dengan padatan kompleks, terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa yang lebih sederhana tersebut sebagian didegradasi oleh O<sub>3</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O seperti reaksi :



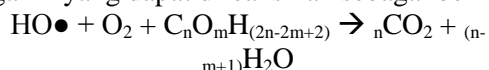
Selain itu dengan adanya bantuan GAC, maka akan mempercepat pembentukan senyawa radikal yang mampu mempercepat jalannya reaksi (Boy & Resa, 2019). Persen penyisihan TSS terbesar mencapai 67% dengan nilai 40 mg / L dari kadar awal TSS yaitu sebesar 120 mg / L. Kadar tersebut sudah berada di bawah baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014. Oleh karena itu, kadar COD di dalam limbah sudah aman apabila hendak dibuang ke sungai / badan air.

**Pengaruh Dosis Ozon pada Proses Oksidasi Lanjut Berbasis O<sub>3</sub> / GAC Batch Terhadap % Penyisihan Warna**



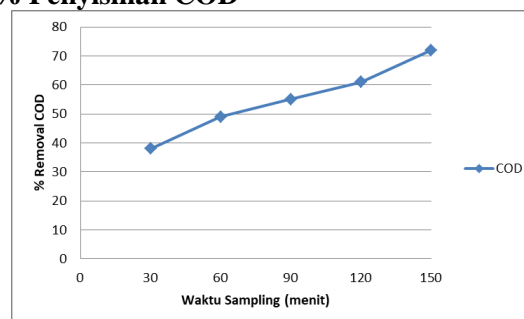
**Grafik -6** Hubungan Dosis Ozon Terhadap % Penyisihan Warna

Berdasarkan grafik di atas, hasil terbaik didapat pada dosis ozon 0,75 gram O<sub>3</sub>/liter, semakin besar dosis ozon, maka semakin besar penyisihan kadar warna di dalam limbah tersebut, karena akan semakin banyak senyawa yang dioksidasi oleh O<sub>3</sub> dalam limbah cair dengan 2 cara, yaitu reaksi langsung dan tidak langsung yang sangat berperan penting dalam mendegradasi zat warna, selain itu semakin banyak pula O<sub>3</sub> yang larut dan mampu bergerak di antara molekul cairan dan berinteraksi cukup kuat dengan polutan (Enjarlis, 2019). Reaksi terjadi antara radikal OH dengan limbah organik yang dapat direaksikan sebagai berikut:



Persen penyisihan warna terbesar mencapai 85% dengan nilai 30 PtCo dari kadar awal warna yaitu sebesar 196 PtCo.

**Pengaruh Proses Secara Kontinyu Terhadap % Penyisihan COD**

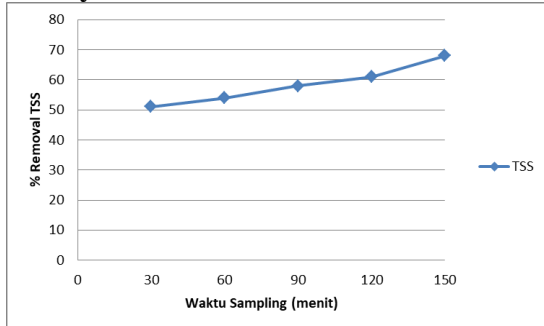


**Grafik -7** Hubungan Waktu Sampling Terhadap % Penyisihan COD Secara Kontinyu

Berdasarkan grafik di atas, hasil tertinggi didapatkan pada waktu sampling 150 menit, namun pada setiap waktu sampling, hasil % penyisihan kadar COD limbah batik tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena limbah yang diolah selalu terakumulasi, bergerak, dan mempunyai waktu kontak yang relatif lebih singkat apabila dibandingkan dengan proses secara *batch* di reaktor. •OH sangat reaktif, tidak selektif, dan dapat menghancurkan kontaminan organik melalui abstraksi hidrogen dan transfer elektron yang menghasilkan CO<sub>2</sub> dan garam-garam mineral lainnya (Chen dkk, 2000). Selain itu masuknya limbah baru dengan debit tertentu akan mengganggu jalannya proses transfer elektron maupun ion OH dalam mengikat Al. Hal tersebut terjadi karena adanya turbulensi pada aliran (Angger, 2020). Persen penyisihan COD terbesar mencapai 72% dengan nilai 552 mg / L dari kadar awal COD yaitu sebesar

1965,6 mg / L, namun kadar tersebut masih berada di atas baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014.

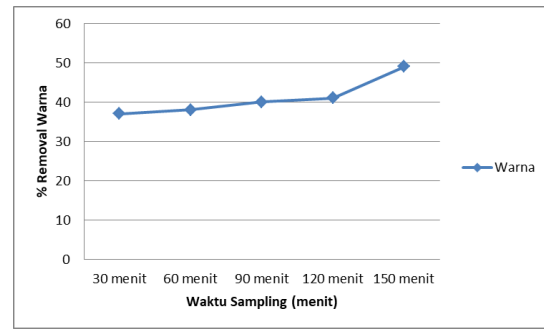
**Pengaruh Proses Secara Kontinyu Terhadap % Penyisihan TSS**



**Grafik -8** Hubungan Waktu Sampling Terhadap % Penyisihan TSS Secara Kontinyu

Berdasarkan grafik di atas, hasil tertinggi didapatkan pada waktu sampling 150 menit, namun pada setiap waktu sampling, hasil % penyisihan kadar TSS limbah batik tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena limbah yang diolah selalu terakumulasi, bergerak, dan mempunyai waktu kontak yang relatif lebih singkat apabila dibandingkan dengan proses secara batch yang terjadi di reaktor. Oksidasi kontaminan organik oleh oksidator  $\bullet\text{OH}$  dan  $\bullet\text{O} + \text{O}_2$  dengan potensial oksidasi 2,70 volt, sangat reaktif, tidak selektif, dan mampu bereaksi dengan padatan kompleks yang akan terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selain itu masuknya limbah baru dengan debit tertentu akan mengganggu jalannya proses transfer elektron maupun ion  $\text{OH}^-$  dalam mengikat Al. Hal tersebut terjadi kerana adanya turbulensi pada aliran (Angger, 2020). Persen penyisihan TSS terbesar mencapai 68% dengan nilai 360 mg / L dari kadar awal TSS yaitu sebesar 1140 mg / L, namun kadar tersebut masih berada di atas baku mutu sesuai dengan Permen LH No. 5 Tahun 2014.

**Pengaruh Proses Secara Kontinyu Terhadap % Penyisihan Warna**



**Grafik -9** Hubungan Waktu Sampling Terhadap % Penyisihan Warna Secara Kontinyu

Berdasarkan grafik di atas, hasil tertinggi didapatkan pada waktu sampling 150 menit, namun pada setiap waktu sampling, hasil % penyisihan kadar warna limbah batik tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena limbah yang diolah selalu terakumulasi, bergerak, dan mempunyai waktu kontak yang relatif lebih singkat apabila dibandingkan dengan proses secara batch yang terjadi di reaktor. Jumlah  $\text{O}_3$  yang akan mengoksidasi bermacam senyawa pada limbah cair dengan 2 cara, yaitu reaksi langsung dan tidak langsung di mana reaksi langsung dilakukan oleh  $\text{O}_3$  yang terlarut dalam limbah, sedangkan reaksi tidak langsung dengan menghasilkan  $\bullet\text{OH}$  dari proses dekomposisi serta bergerak di antara molekul cairan dan berinteraksi cukup kuat dengan polutan juga akan lebih sedikit. Selain itu masuknya limbah baru dengan debit tertentu akan mengganggu jalannya proses transfer elektron maupun ion  $\text{OH}^-$  dalam mengikat Al. Hal tersebut terjadi kerana adanya turbulensi pada aliran (Angger, 2020). Persen penyisihan warna terbesar mencapai 49% dengan nilai 374 mg / L dari kadar awal warna yaitu sebesar 727 mg / L, namun hasil tersebut masih berada jauh di bawah hasil yang didapatkan dari sistem *batch*.

## **KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengolahan limbah batik menggunakan proses elektrokoagulasi secara *batch* dengan jarak elektroda dan waktu detensi terbaik 4 cm dan 100 menit, didapatkan hasil parameter COD 331,2 mg / L; TSS 120 mg / L; dan warna 196 PtCo, membuktikan bahwa pengolahan menggunakan proses elektrokoagulasi saja belum cukup efisien untuk mendegradasi beban pencemar yang terkandung dalam limbah batik agar berada di bawah standar baku mutu
2. Hasil pengolahan limbah batik menggunakan proses oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC secara *batch* dengan dosis ozon terbaik 0,75 gram O<sub>3</sub>/L, didapatkan hasil parameter COD 110,4 mg / L; TSS 40 mg / L; dan warna 30 PtCo, membuktikan bahwa pengolahan menggunakan proses elektrokoagulasi dan dilanjutkan dengan proses oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC sudah cukup efisien untuk mendegradasi beban pencemar yang terkandung dalam limbah batik agar berada di bawah standar baku mutu
3. Hasil pengolahan limbah batik menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC secara kontinyu dengan jarak elektroda dan waktu detensi pada elektrokoagulasi yaitu 4 cm dan 100 menit, serta dosis ozon pada oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC sebesar 0,75 gram O<sub>3</sub>/L, didapatkan hasil parameter COD 552 mg / L; TSS 360 mg / L; dan warna 374 PtCo, membuktikan bahwa pengolahan menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC secara kontinyu belum cukup efisien untuk mendegradasi beban pencemar yang terkandung dalam limbah batik agar berada di bawah standar baku mutu
4. Hasil pengolahan limbah batik menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan oksidasi lanjut berbasis O<sub>3</sub>/GAC secara *batch* sudah cukup efisien dalam mendegradasi beban pencemar yang terkandung dalam limbah batik, namun apabila dilakukan secara kontinyu, masih

belum efisien dikarenakan hasil yang didapatkan masih berada di atas baku mutu

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Aditya Rahmat Fauzi dan Tuhu Agung R., (2019). *Kombinasi Fenton dan Fotokatalis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Batik*. Jurnal Envirotek Vol.10 (1):37-45.
- Bilińska, Lucyana, dkk, (2018), *Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse*, hal.6-7.
- Boere, J, A., (2008). *Combined Use of Ozone and Granular Activated Carbon (GAC) in Potable Water Treatment; Effects on GAC Quality After Reactivation*. Journal Science & Engineering 14: 2, 123-137.
- Darmawanti, Titik, dkk, (2010). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Besi Bekas Sebagai Elektroda*, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 13 (1) : 18-24.
- Edy Saputra dan Farida Hanum, (2016). *Pengaruh Jarak Antara Elektroda Pada Reaktor Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Effluent Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 5, No.4.
- Enjarlis, dkk, (2019), *Kombinasi Proses Elektrokoagulasi – Oksidasi Lanjut Berbasis O<sub>3</sub>/GAC pada Limbah Cair Industri Batik*, Vol. 14, No.1.
- Hernaningsih, Taty. (2016). *Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri dengan Proses Elektrokoagulasi*. Jurnal Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Vol. 9, No. 1, Hal. 31-46.
- Indah. P., (2008). *Pengolahan Air Limbah Industri Batik CV. Batik Indah Rajadjongrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) dan warna*. Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, UII, Yogyakarta.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI, (2014). *Peraturan Baku Mutu Limbah No. 5*.



- Langlais, B., Reckhow, D. A., & Brink, D. R. (1991). *Ozone in water treatment. Application and engineering*, 558.
- Maulida, Nida Nur, (2019), *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi pada Skala Laboratorium, Tugas Akhir*, Universitas Pasundan, Bandung.
- Metcalf and Eddy. 2013. "Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse". *Fourth Edition*. McGraw-Hill, Inc. New York, St Fransisco, Auckland.
- Mirda & Agung, R., MT. (2019). *Penurunan Kandungan TSS, COD, dan Warna pada Limbah Industri Batik Menggunakan Metode Elektrokimia Dengan Sistem Aliran Kontinyu*.
- Nagarkar, M. G., Chitodakar, V. D., Mandake, M. B. (2017). *Catalytic Ozonation: A Rising Advanced Oxidation Technology for Textile Dyes*, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6 (4), 67896796.
- Nuril & Agung, R., MT. (2019). *Kombinasi Elektrokoagulasi Dan Fotokatalis Untuk Menurunkan Parameter Pencemar COD, TSS Dan TDS Pada Industri Tempe*.
- Nusa Idaman Said. (2019). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*.
- Raghu, S., Lee, C. W., Chellammal, S., Palanichamy, S., & Basha, C. A. (2009). *Evaluation of electrochemical oxidation techniques for degradation of dye effluents—A comparative approach*. Journal of Hazardous Materials, 171(1-3), 748-754.
- Rahmawati, N I., dkk. (2009). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Seng Bekas sebagai Elektroda*. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 12 (2) (2009) : 40 – 46.
- Rosariawari, F., Farahdiba, A., Soedjarwo, P. (2020). *Reducing Suspended Organics in Surface Water by Hydraulic Coagulation Processes in Parshall Flume*. Jurnal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Jilid 506, Hal. 012035.
- Setianingrum, Novia Putri. (2017). *Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektrokoagulasi secara Batch*. Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 11, No. 2, Hal. 78-85.
- Sulistyaningsih, Angger. (2020). *Peningkatan Efektivitas Elektrokoagulasi Dan Fotokatalis Pada Proses Degradasi Limbah Batik. Tugas Akhir*, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya.
- Suprihatin, H. (2014). *Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya*. Jurnal Penelitian Lingkungan Hidup Riau. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Pembangunan Surabaya.
- Woytowich D.L.; Dalrymple C. W.; Britton M. G., 1993. *Electrocoagulation(CURE) Treatment of Ship Bilgewater for the U. S. Cost Guard in Alaska*. Marine Technology Society Journal, Vol. 27. 1p. 62, Spring 1993
- Yazgan, M. S., & Kinaci, C. (2004). *βendosulfan removal from water by ozone oxidation*. Water science and technology, 48(11-12), 511-517.
- Yuhan, Wildan, (2019), *Pengolahan Limbah Batik Menggunakan Kombinasi Koagulasi Flokulasi Dan Fenton Fotokatalis, Tugas Akhir*, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya.
- Yulfarida, Monica, dkk, (2017), *Efektivitas Proses Elektrokoagulasi dan Ozonasi sebagai Upaya Pengolahan Limbah Tekstil*, hal. 48.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., & Pravitasari, V. A. (2009). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti, 5(1), 6-11.