

PENINGKATAN EFEKTIVITAS ELEKTROKOAGULASI DAN FOTOKATALIS PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH BATIK

Angger Sulistyaningsih dan Tuhu Agung R.

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Email: anggersulistyan@gmail.com

ABSTRAK

Air limbah dari proses industri batik yang menggunakan senyawa naftol umumnya mengandung polutan organik yang sukar terurai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan limbah batik dengan metode kombinasi penambahan elektrolit dan AOP pada proses elektrokoagulasi dan fotokatalis berdasarkan rapat arus, konsentrasi elektrolit dan konsentrasi H₂O₂. Parameter yang diamati meliputi COD, TSS, warna, TDS dan pH. Pada penelitian *batch* yang dilakukan dengan 5 liter air limbah ditetapkan variabel rapat arus (A/cm²) dan konsentrasi elektrolit NaCl (gr/L) pada elektrokoagulasi dan konsentrasi H₂O₂ 30% (mg/L) sebagai variabel peubah fotokatalis. Selain secara *batch*, penelitian ini juga dilakukan percobaan secara kontinyu dengan variabel terbaik dari proses *batch*. Efisiensi persentase penurunan COD, TSS, warna, TDS dan pH pada limbah menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis masing-masing sebesar 87,8%, 84,01% ,94,07%, 32,9% dan pH 7,3 pada waktu kontak 120 menit.

Kata kunci: *Elektrokoagulasi, Fotokatalis, Limbah Industri Batik*

ABSTRACT

Waste water from the batik industry process used the composition of naphthol generally contained organic pollutants that difficult to decomposed. This study discussed the efficiency treatment of batik industri waste water a combination of electrolyte and AOP approved methods in the electrocoagulation and photocatalyst process based on current density, electrolyte coordination and H₂O₂ composition. The parameters discussed include COD, TSS, color, TDS and pH. In a batch process conducted with 5 liters of water that fixed by current density (A/cm²) and NaCl electrolyte (gr/L) in electrocoagulation and 30% H₂O₂ concentration (mg/L) were determined as photocatalytic variables. In addition to batches, this study also carried out continuous experiments with the best variables from the batch process. Efficiency of the percentage reduction in COD, TSS, color, TDS and pH used electrocoagulation and photocatalyst were 87.8%, 84.01%, 94.07%, 32.9% and pH respectively 7,3 at a contact time of 120 minutes.

Keywords: *Electrocoagulation, photocatalyst, Batik Industrial Waste*

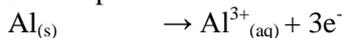
PENDAHULUAN

Limbah dari industri batik rata-rata dibuang langsung ke sungai yang menyebabkan terjadi pencemaran air sungai dan lingkungannya. Karakteristik limbah batik tersebut adalah warnanya yang keruh, berpH tinggi, berbusa, konsentrasi zat organik tinggi, mengandung lemak alkali, terdapat zat-zat lain berasal dari zat warna dan mengandung logam di dalamnya. Indikasi pencemaran sungai ditunjukkan dengan perubahan fisik air sungai berwarna gelap dan keruh (Riyanto, 2013). Teknik pengolahan limbah pencemar air yang berkembang saat ini adalah melalui proses elektrokimia. Proses elektrokoagulasi sangat efisien digunakan dalam pengolahan limbah di air (Wiratini, 2016).

Terbentuknya proses elektrokoagulasi melalui anoda yang melarutkan logam lalu berinteraksi dengan (OH⁻) dan (H₂) dari katoda. OH⁻ akan memflokulasi dan koagulasi partikel tersuspensi sehingga terjadi pemisahan zat padat dan air limbah (Riyanto, 2013). Elektroda yang digunakan adalah Karbon (C) dan Aluminium (Al), berikut reaksi pada katoda dan anoda pada masing-masing plat:

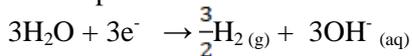
1. Aluminium

Reaksi pada anoda



2. Karbon

Reaksi pada katoda



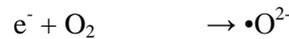
Menghasilkan:



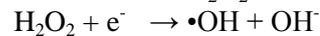
(Rubi, 2015)

Penelitian yang dilakukan Moussa *et al.* (2017) menjelaskan mengenai proses penyisihan zat organik dilakukan dengan beberapa mekanisme, yaitu destabilisasi, kompleksasi, *entrapment* dan adsorpsi.

Fotokatalis yaitu proses kombinasi reaksi fotokimia yang memerlukan cahaya dan katalis untuk mempercepat reaksi. Fotokatalis merupakan bagian dari metode AOPs (Advanced Oxidation Processes), yang menghasilkan radikal bebas yang sangat reaktif dan dapat menghilangkan polutan dalam air, radikal bebas yang terbentuk seperti radikal hidroksil (OH[•]). Berikut reaksi yang terjadi dalam fotodegradasi:



1. Fotokatalis TiO₂ terkena paparan sinar UV sehingga terjadinya perpindahan elektron pada pita valensi menuju pita konduksi.
2. Proses eksitasi elektron tersebut menghasilkan e⁻ pada pita konduksi dan meninggalkan hole (h⁺) di pita valensi.
3. Hole (h⁺) akan bereaksi dengan OH⁻ dari pelarut hingga membentuk radikal hidroksi (•OH). Radikal hidroksil yang bersifat reaktif akan menguraikan polutan.
4. Elektron pada pita konduksi akan bereaksi dengan elektron O₂ yang terlarut membentuk superoksida (O₂⁻) dan selanjutnya membentuk radikal hidroksil melalui reaksi berikut:



Radikal hidroksil (•OH) dapat mendegradasi zat warna *naphthol* karena memiliki nilai potensial oksidasi yang tinggi mencapai 2,8 eV (Rini, 2019).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan sistem *batch* dan kontinyu. Hasil terbaik pada elektrokoagulasi *batch* akan dilanjutkan ke fotokatalis. Hasil terbaik pada sistem *batch* akan dilanjutkan ke sistem kontinyu.

Variabel Tetap Elektrokoagulasi

1. Volume limbah 5 liter
2. Plat elektroda aluminium 20 cm x 10 cm dengan tebal 0,1 cm sebanyak 2 buah dan elektroda batang karbon grafit panjang 10 cm 2 buah, luas penampang anoda tercelup 130 cm²
3. Ukuran reaktor 25 cm x 12 cm x 22 cm
4. Jarak antar elektroda 3 cm
5. *Power supply* 5 ampere
6. Waktu kontak 60 menit

Variabel Bebas Elektrokoagulasi

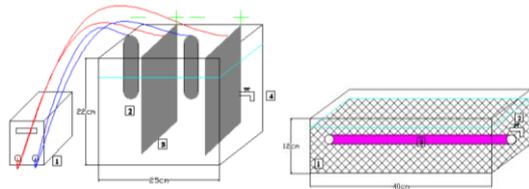
1. Rapat arus (A/cm²): 0,0153; 0,0269; 0,0384
2. Konsentrasi elektrolit NaCl (g/L): 0, 3, 5, 7, 9

Variabel Tetap Fotokatalis

1. Volume limbah 4 liter
2. TiO₂ 25 g/L
3. Waktu kontak 120 menit
4. Lampu UV C 1x 11 watt
5. Media penyangga katalis berupa kasa aluminium

Variabel Bebas Fotokatalis

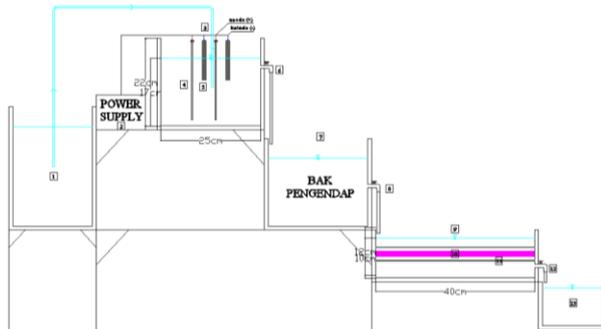
1. Konsentrasi H₂O₂ 30% (mg/L): 0, 10, 15, 20, 25



Gambar - 1: Sketsa Reaktor Batch

Varibel Bebas Sistem Aliran Kontinyu

1. Waktu Sampling (menit): 30, 45, 60, 90, 120



Gambar - 2 Sketsa Reaktor Sistem Aliran Kontinyu

Keterangan:

1. Bak pengatur debit
2. Power supply
3. Reaktor elektrokoagulasi
4. Anoda: plat aluminium
5. Katoda: batang Carbon grafit
6. Valve
7. Bak pengendap
8. Reaktor fotokatalis
9. UV
10. Katalis
11. Valve
12. Bak effluent

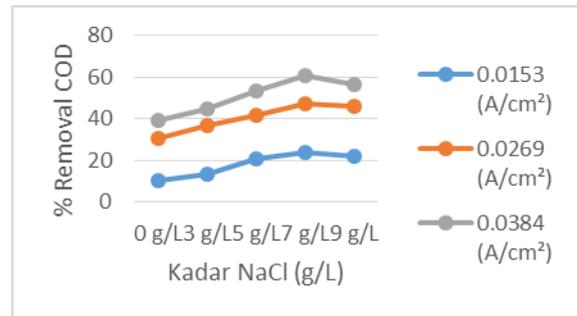
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Aliran Batch

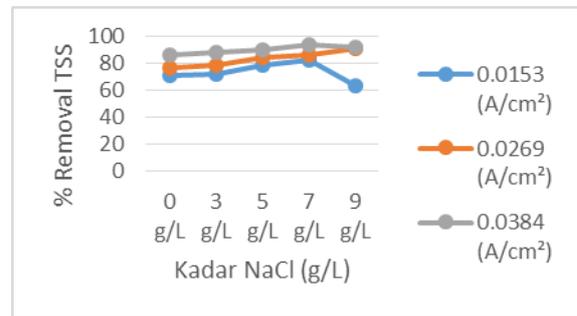
Pengaruh Rapat Arus dan Kadar Elektrolit Pada Proses Elektrokoagulasi Terhadap Penyisihan COD, TSS, Warna, TDS dan pH

Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap rapat arus (A/cm²) dan konsentrasi

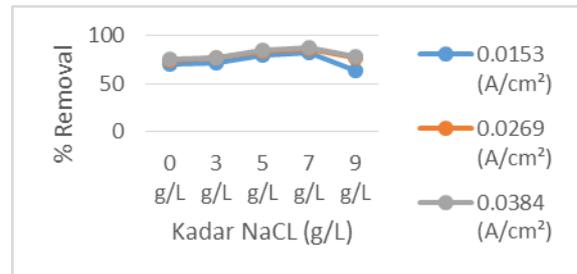
elektrolit (g/L). Grafik hubungan antara konsentrasi elektrolit dan penurunan konsentrasi COD, TSS, warna, TDS dan pH pada berbagai rapat arus dapat dilihat pada **Grafik-1, Grafik-2, Grafik-3, Grafik-4 dan Grafik-5.**



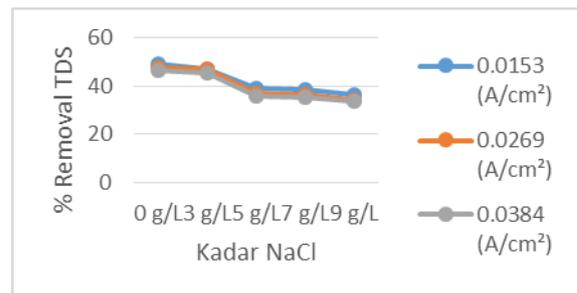
Grafik- 1 Hubungan Antara Kadar NaCl dan % Removal COD pada Berbagai Rapat Arus



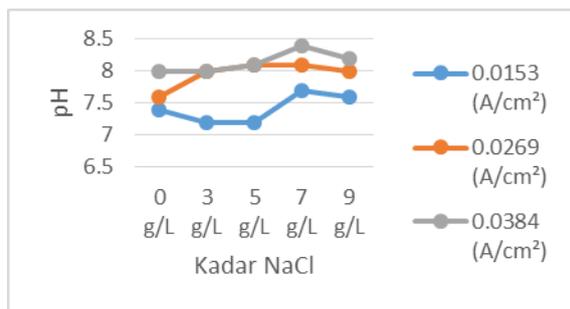
Grafik- 2 Hubungan Antara Kadar NaCl dan % Removal TSS pada Berbagai Rapat Arus



Grafik- 3 Hubungan Antara Kadar NaCl dan % Removal Warna pada Berbagai Rapat Arus



Grafik- 4 Hubungan Antara Kadar NaCl dan % Removal TDS pada Berbagai Rapat Arus



Grafik- 5 Hubungan Antara Kadar NaCl dan Rapat Arus dengan Ph

Berdasarkan pada **Grafik-1, Grafik-2, Grafik-3, Grafik-4, Grafik-5** diatas dapat dilihat bahwa persen penurunan tertinggi rata-rata terjadi pada konsentrasi NaCl 7 g/L dan rapat arus 0,0384 A/cm². Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi sebagai berikut:

1. Reaksi reduksi di katoda (elektroda negatif)

$$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Al}$$

$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$$
2. Reaksi oksidasi di anoda (elektroda positif)

$$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}$$

$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}$$
3. Sekitar elektroda

$$\text{Al}^{3+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$$

(Rubi, 2015)

Dari raksi kimia di atas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak ion teroksidasi dari anoda dan reduksi ion OH⁻ pada katoda, maka jumlah terbentuknya koagulan akan meningkat sehingga zat padat tersuspensi akan terikat dan membentuk flok. Sedangkan gelembung gas H₂ yang terbentuk akan memudahkan proses terangkatnya flok ke permukaan (Arnita et al., 2017).

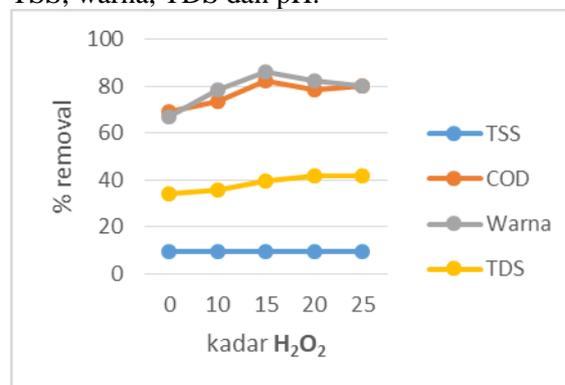
Berdasar grafik diatas menjelaskan bahwa dengan bertambahnya rapat arus dapat menurunkan kandungan beban pencemar. Hal ini dikarenakan semakin tinggi rapat arus yang diberikan maka pelarutan aluminium di anoda akan meningkat menghasilkan ion Al³⁺ dan akan membentuk Al(OH)₃ lebih banyak. Sedangkan konsentrasi elektrolit NaCl terbaik rata-rata pada 7 g/L dan mengalami penurunan saat 9 g/L. Hal ini dikarenakan NaCl memberi pengaruh pada jumlah Al terlarut (Al³⁺). Semakin tinggi konsentrasi NaCl, maka semakin banyak jumlah Al terlarut (Al³⁺). NaCl akan membentuk gelembung gas berwarna putih dan berbuih saat reaksi dalam proses

elektrokoagulasi (Iswanto,2009). Hal tersebut juga berpengaruh jika kadar NaCl berlebihan akan membuat air limbah menjadi lebih keruh. NaCl juga berpengaruh terhadap besarnya arus listrik dan beda potensial. Naiknya beda potensial yang berlebih bisa menyebabkan kinerja elektroda tidak bekerja dengan optimal bahkan dapat mengalami kerusakan, seperti terkikis, dan lain-lain (Fatimah,2018).

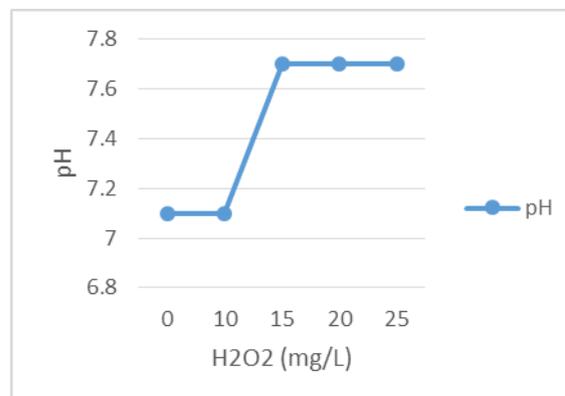
Dilihat dari grafik persentase penurunan terbaik pada parameter TSS, COD, warna, TDS dan pH adalah 94,58%, 61,02%, 88,1%, 49,11% dan 7,2.

Pengaruh kadar H₂O₂ Terhadap Penyisihan COD, TSS, Warna, TDS dan pH Pada Proses Fotokatalis

Hasil terbaik dari proses elektrokoagulasi akan dilanjutkan ke proses fotokatalis secara *batch*. Berikut adalah grafik hubungan antara kadar H₂O₂ dengan persentase penurunan COD, TSS, warna, TDS dan pH:

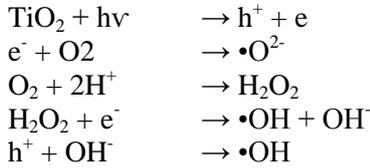


Grafik- 6 Hubungan Antara Konsentrasi H₂O₂ dengan % Removal TSS, COD, Warna dan TDS



Grafik- 7 Hubungan Antara Konsentrasi H₂O₂ dengan pH

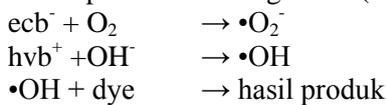
Dapat dilihat pada **Grafik-6** dan **Grafik-7** bahwa konsentrasi H₂O₂ berpengaruh pada degradasi beban pencemar. Dalam grafik menyatakan bahwa lebih besar presentase penurunan dengan ditambahkan H₂O₂ dibandingkan tanpa ditambahkan H₂O₂. H₂O₂ adalah oksidator kuat. Berikut reaksi yang terjadi dalam fotodegradasi zat warna *naphthol* menggunakan TiO₂ dengan penambahan H₂O₂:



1. Fotokatalis TiO₂ jika terkena paparan sinar UV akan menyebabkan perpindahan elektron pada pita valensi menuju pita konduksi.
2. Proses eksitasi elektron tersebut menghasilkan e⁻ pada pita konduksi dan meninggalkan hole (h⁺) di pita valensi.
3. Hole (h⁺) akan bereaksi dengan OH⁻ dari pelarut membentuk radikal hidroksi (•OH). Radikal hidroksil yang bersifat reaktif kerna menguraikan zat warna.
4. Elektron pada pita konduksi akan bereaksi dengan elektron O₂ yang terlarut membentuk superoksida (O₂⁻) dan selanjutnya membentuk radikal hidroksil melalui reaksi berikut:

$$\begin{aligned} \text{O}_2^- + 2\text{H}^+ &\rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 \\ \text{H}_2\text{O}_2 + e^- &\rightarrow \cdot\text{OH} + \text{OH}^- \\ h^+ + \text{OH}^- &\rightarrow \cdot\text{OH} \end{aligned}$$

Radikal hidroksil (•OH) dapat mendegradasi zat warna *naphthol* karena memiliki nilai potensial oksidasi yang tinggi mencapai 2,8 eV. Dengan nilai potensial oksidasi tersebut cukup kuat untuk mengoksidasi zat warna menjadi H₂O, CO₂ dan asam mineral. Selama TiO₂ masih terpapar radiasi sinar UV ion radikal akan terus terbentuk dan akan mendegradasi polutan yang ada pada permukaan katalis menyebabkan beban pencemar terdegradasi (Rini, 2019).



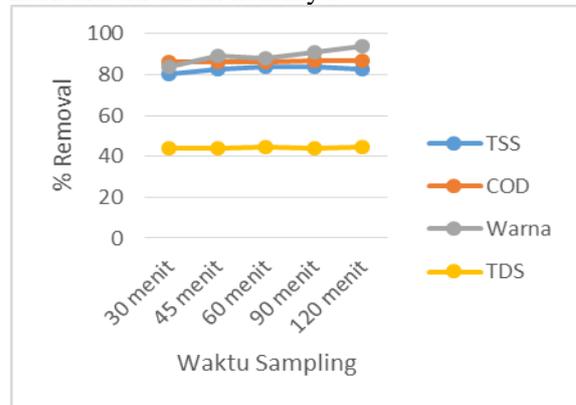
Radiasi sinar UV yang bertambah menyebabkan foton yang terkena TiO₂ akan semakin banyak sehingga dapat menyerang zat warna dengan lebih baik. Mekanisme adsorpsi

dan oksidasi oleh radikal OH akan berjalan terus sampai berakhirnya proses radiasi.

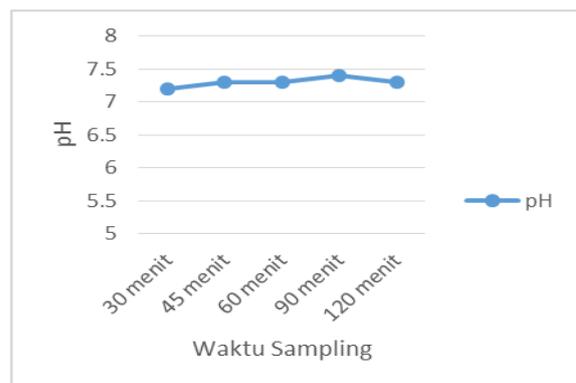
Jika ditambahkan H₂O₂ dengan kondisi sesuai dapat menghasilkan OH⁻ yang lebih banyak untuk memecah molekul organik. Namun jika kadar H₂O₂ terus meningkat OH⁻ akan bereaksi dengan H₂O₂ dan menghasilkan radikal OOH⁻ yang kereaktifannya lebih rendah dari OH⁻. Rata-rata hasil terbaik pada konsentrasi H₂O₂ 15 mg/L sampai 20 mg/L dengan persentase penurunan TSS, COD, warna dan TDS sebesar 24,98%, 82,66%, 86,33% dan 41,78%. Sedangkan semakin banyaknya kadar H₂O₂ yang ditambahkan nilai pH semakin meningkat karena terbentuknya radikal OH yang dapat meningkatkan nilai pH.

Pengaruh Proses Kontinyu dalam penurunan TSS, COD, warna, TDS dan pH

Pada sistem aliran kontinyu menggunakan variabel terbaik dari sistem batch dan ada beberapa waktu sampling antara lain 30, 45, 60, 90 dan 120 (menit). Berikut grafik hasil sistem aliran kontinyu:



Grafik- 8 Hubungan antara waktu sampling (menit) dengan penyisihan TSS, COD, warna dan TDS (%) pada proses kombinasi secara kontinyu



Grafik- 9 Hubungan antara waktu sampling (menit) dengan penyisihan pH pada proses kombinasi secara kontinyu

Berdasarkan data **Grafik-8** dan **Grafik-9** di atas diperoleh hasil pada proses kontinyu tertinggi pada waktu sampling ke 120 menit dengan persentase penurunan TSS, COD, warna, TDS dan pH sebesar 84,01%, 87,8%, 94,07%, 32,9% dan 7,2.

Berdasarkan data persentase penurunan pada sistem aliran kontinyu tidak berbeda signifikan. Hal ini dikarenakan pada sistem aliran kontinyu limbah yang diolah selalu terbarukan dan mempunyai waktu yang relative lebih sebentar dalam reaktor. Hasil degradasi yang cukup stabil juga membuktikan jika katalis TiO₂ bersifat *reusable* sehingga bisa diaplikasikan pada jangka waktu lama (Aliah and Karlina, 2015). Selain itu masuknya limbah dengan aliran debit akan mengganggu proses OH radikal dalam proses oksidasi senyawa organik dalam limbah. Hal ini dapat terjadi karena tidak stabilnya aliran air yang ada di dalam reaktor (terjadi turbulensi).

Perbandingan Hasil Removal Sistem Batch dan Sistem Aliran Kontinyu

Tabel- 1 Perbandingan Antara Sistem Batch dan Kontinyu

No	Parameter	Metode Elektrokoagulasi dan Fotokatalis	
		% Removal pada sistem <i>batch</i>	% Removal pada sistem kontinyu
1	TSS	95,11	84,01
2	COD	94,02	87,80
3	Warna	98,32	93,89
4	TDS	62,35	44,52
5	pH	7,7	7,4

Berdasarkan **Tabel-1** dapat dilihat bahwa pada sistem *batch* memiliki kemampuan penyisihan terbesar dalam meremoval kandungan TSS, COD, Warna, TDS, dan pH. Hal ini dikarenakan pada sistem *batch* tidak adanya aliran yang masuk dan keluar sehingga reaksi yang terjadi berjalan secara sempurna dan dapat meremoval kandungan TSS, COD, Warna, TDS sehingga menurun dan pH tetap berada di dalam baku mutu.

Didapatkan pada proses sistem aliran kontinyu terjadi gejala aliran fluida sehingga aliran menjadi turbulen yang dapat mengakibatkan reaksi yang terjadi tidak

sempurna dan ada beberapa flok-flok yang terbentuk juga mengalami perpecahan lagi karena adanya aliran turbulen tersebut, sehingga kemampuan meremoval kandungan TSS, COD, warna, dan TDS menurun. Selain hal tersebut pada sistem kontinyu, aliran limbah yang masuk kedalam reaktor hanya memiliki waktu yang relative sebentar, hal ini menyebabkan kontak proses yang terjadi belum sempurna.

KESIMPULAN

Data hasil penelitian dan pembahasan yang didapatkan memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengolahan limbah batik menggunakan Elektrokoagulasi dengan penambahan elektrolit NaCl mendapatkan hasil parameter COD, TSS, Warna, TDS dan pH masing-masing sebesar 221 mg/L, 34,146 mg/L, 81,87 PtCo, 231 mg/L, 7,84, membuktikan jika pengolahan menggunakan elektrokoagulasi saja belum efisien untuk menurunkan pencemar pada limbah batik karena masih diatas baku mutu.
2. Hasil pengolahan limbah batik menggunakan Fotokatalis dengan penambahan oksidator H₂O₂ mendapatkan hasil parameter COD, TSS, Warna, TDS dan pH masing-masing sebesar 38,46 mg/L, 26 mg/L, 11,19 PtCo, 171 mg/L, 7,7 membuktikan jika pengolahan menggunakan elektrokoagulasi dan dilanjutkan fotokatalis secara *batch* cukup efisien untuk menurunkan pencemar pada limbah batik.
3. Hasil penelitian menunjukkan pada proses kombinasi elektrolit-AOP pada proses elektrokoagulasi-fotokatalis secara *batch* cukup baik dalam mendegradasi beban pencemar limbah batik, namun jika dilakukan secara kontinyu hasil masih diatas baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

Aliah, H. & Karlina, Y. 2015. Semikonduktor Tio₂ Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurnal Istek*, 9.
 Arnita, Y., Elystia, S., & Andesgur, I. (2017). Penyisihan Kadar COD Dan TSS Pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 4(1), 1-9.

- Fatimah, N., & Gunawan, R. (2018). *Penurunan Intensitas Warna Remazol Red Rb 133 Dalam Limbah Batik Dengan Elektrokoagulasi Menggunakan NaCl A Decrease In The Intensity Of Dye Red Remazol Rb 133 In Batik Waste With Electrocoagulation Method Using NaCl.*
- Iswanto, B., DS Silalahi, M., & Dwinarizki Purnama, F. (2009). Pengolahan Air Limbah Emulsi Minyak-Deterjen Dengan proses Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 55.
- Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24–41.
- Rini, R.S., Fajriati, I., Kiswando, A. A. (2019). *Pengaruh Penambahan Hidrogen Perosida (H₂O₂) Terhadap Efektivitas Fotodegradasi Naphtol Menggunakan Fotokatalis TiO₂.* 4(01), 26–40.
- Riyanto, P. D. (2013). *Elektrokimia dan aplikasinya.* Graha Ilmu. Yogyakarta
- Rubí-Juárez, H., Barrera-Díaz, C., Linares-Hernández, I., Fall, C., & Bilyeu, B. (2015). A combined electrocoagulation-electrooxidation process for carwash wastewater reclamation. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(8), 6754–6767.
- Wiratini, N. M., & Kartowasono, N. (2016). Dampak Rangkaian Sel Elektroda Al-C Dalam Elektrokimia untuk Mendegradasi Limbah Tekstil. *Reaktor*, 16(2), 65.