

## Efektifitas Penyisihan Fosfat Pada Air Limbah Menggunakan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi dan Fotokatalis Dengan Kaolin-TiO<sub>2</sub>

**Adhi Setiawan\*, Lintang Indra Liuqil Mahfudz, Tarikh Azis Ramadani, Siti Muthi'ah, Muhammad Asrul Nizam, Denny Dermawan**

*Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Indonesia  
Email: adhi.setiawan@ppns.ac.id*

### Abstrak

Kandungan fosfat pada badan air salah satunya bersumber dari air limbah domestik dan industri. Fosfat yang berlebihan dapat menyebabkan eutrofikasi. Alternatif pengolahan fosfat pada air limbah salah satunya menggunakan kombinasi metode elektrokoagulasi dan fotokatalis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak dan besar tegangan pada metode elektrokoagulasi, pengaruh dosis katalis dan waktu penyinaran pada metode fotokatalis, dan karakteristik katalis komposit kaolin-TiO<sub>2</sub>. Penyisihan fosfat dilakukan secara batch menggunakan elektrokoagulasi yang dilanjutkan dengan proses fotokatalis. Metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium dengan variasi tegangan 10, 20, dan 30 V, serta waktu kontak 90 dan 120 menit. Metode fotokatalis menggunakan komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> dan sumber foton lampu UV-C, dengan variasi dosis kaolin-TiO<sub>2</sub> yaitu 120, 180, dan 240 mg/L, serta waktu penyinaran 10, 20 dan 30 menit. Komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM-EDX. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan fosfat pada elektrokoagulasi maksimal diperoleh pada kondisi tegangan 30 V dan waktu kontak 120 menit dengan nilai sebesar 87,31%. Nilai maksimum penyisihan parameter fosfat fotokatalis terjadi pada dosis katalis 240 mg/L dengan waktu reaksi 30 menit dengan nilai sebesar 63,33%.

**Kata kunci :** Elektrokoagulasi, Fosfat, Fotokatalis, Kaolin-TiO<sub>2</sub>.

### Abstract

#### ***The Effectiveness of Phosphate Removal in Wastewater Using a Combination Method of Electrocoagulation and Photocatalyst with Kaolin-TiO<sub>2</sub>***

*One of the phosphate contents in water bodies is sourced from household and industrial wastewater. Excessive phosphates can cause eutrophication. One alternative of phosphate treatment in wastewater is the combination of electrocoagulation and photocatalytic methods. This study aims to determine the influence of contact time and voltage magnitude on the electrocoagulation method, the effect of catalyst dosing and irradiation time on the photocatalyst method, and the characteristics of kaolin-TiO<sub>2</sub> composite catalysts. The electrocoagulation method uses aluminum electrodes with voltage variations of 10, 20, and 30 V, as well as contact times variations of 90 and 120 minutes. The photocatalyst method uses kaolin-TiO<sub>2</sub> composite and UV-C lamp photon sources, with dose of kaolin-TiO<sub>2</sub> variations of 120, 180, and 240 mg/L, as well as irradiation times variations of 10, 20 and 30 minutes. The kaolin-TiO<sub>2</sub> composite is characterized by XRD, FTIR, and SEM-EDX. The results showed that the maximum efficiency of phosphate removal in electrocoagulation was obtained at a voltage of 30 V and a contact time of 120 minutes with a value of 87.31%. The maximum value of photocatalyst phosphate removal occurred at a catalyst dose of 240 mg/L with a reaction time of 30 minutes with a value of 63.33%.*

**Keywords:** Electrocoagulation, Phosphate, Photocatalyst, Kaolin-TiO<sub>2</sub>.

## PENDAHULUAN

Asam fosfat adalah jenis bahan kimia yang memiliki peranan yang penting dalam proses produksi pada industri pupuk. Proses produksi asam fosfat dilakukan dengan mereaksikan antara asam sulfat dengan batuan fosfat sehingga menghasilkan produk samping berupa gipsum. Pada umumnya air limbah pada industri asam fosfat dihasilkan dari beberapa unit proses antara lain produksi asam fosfat, asam sulfat, dan pemurnian gipsum. Air limbah hasil sisa proses produksi asam fosfat pada umumnya memiliki sifat asam dan memiliki kandungan fosfat yang cukup besar sehingga diperlukan proses pengolahan sebelum dibuang ke badan air agar tidak membahayakan lingkungan (Al-Harash et al., 2014).

Fosfat merupakan sumber daya alam yang berperan penting dalam kehidupan, namun pada konsentrasi yang tinggi di badan air dapat menyebabkan masalah pencemaran air seperti eutrofikasi yang ditandai dengan pertumbuhan tanaman air yang tidak terkendali. Eutrofikasi menyebabkan dampak negatif pada badan air yang ditandai dengan munculnya bau dan rasa, penurunan penetrasi cahaya ke dalam air, penurunan konsentrasi oksigen terlarut, dan peningkatan risiko kematian ikan di badan air (Alfionita et al., 2019).

Pengolahan air limbah di industri asam fosfat seringkali menggunakan proses koagulasi-flokulasi konvensional yang menggunakan bahan kimia antara lain *poly aluminium chloride* (PAC), tawas, dan kapur sehingga membutuhkan biaya operasional yang besar dan cenderung menghasilkan volume *sludge* dalam jumlah yang relatif besar. Oleh karena itu, industri asam fosfat memerlukan teknologi pengolahan alternatif yang dapat menunjang proses pengolahan fosfat menjadi lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan proses koagulasi-flokulasi konvensional. Penggunaan metode kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis sebagai pengganti proses koagulasi-flokulasi konvensional merupakan salah satu metode alternatif yang efektif dan efisien dalam menurunkan kandungan fosfat di dalam air limbah industri asam fosfat.

Proses elektrokoagulasi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses koagulasi-

flokulasi konvensional karena peralatan lebih sederhana, mudah dioperasikan, dan tidak memerlukan bahan kimia (Setiawan et al., 2020; Azzahroh et al., 2021). Fotokatalis merupakan salah satu metode *Advanced Oxidation Processes* (AOP) dengan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dengan menghasikan radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi kandungan senyawa organik pada air limbah (Sucahya et al., 2016). Metode Fotokatalis pada umumnya menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai bahan semikonduktor yang berperan sebagai aktivator dan katalis (Wang et al., 2004). Penggunaan material  $\text{TiO}_2$  dalam proses fotokatalis memiliki beberapa keunggulan antara lain harganya relatif murah, ketersediaan melimpah, tidak larut dalam air, dan ramah lingkungan (Sudha dan Sivakumar, 2015). Namun, rendahnya daya adsorpsi  $\text{TiO}_2$  terhadap polutan dapat menyebabkan penurunan aktivitas fotokatalitik dalam aplikasi pengolahan air limbah. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan penggunaan kombinasi  $\text{TiO}_2$  dengan material penyangga berbasis mineral *clay* (Henyach dan Stengl, 2013).

Penggunaan komposit  $\text{TiO}_2$  dengan material *clay* cenderung menghasilkan struktur mesopori yang menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap daya adsorpsi polutan karena luas permukaan spesifik partikel yang relatif besar (Jiang et al., 2013). Kaolin merupakan salah satu material *clay* yang memiliki ketersediaan melimpah di Indonesia dan memiliki harganya relatif murah. Potensi kaolin di Indonesia diperkirakan mencapai 723,56 juta Ton sehingga berpotensi untuk dikembangkan material alternatif pembuatan komposit  $\text{TiO}_2$  (Haryadi, 2010). Penggunaan material kaolin dalam pembuatan komposit memberikan keuntungan dalam proses pemisahan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sehingga memungkinkan katalis untuk digunakan kembali dalam proses pengolahan air limbah (Henyach dan Stengl, 2013).

Kombinasi metode elektrokoagulasi dan fotokatalis dipilih sebagai metode alternatif sehingga diharapkan dapat menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat yang tinggi di dalam proses pengolahan air limbah. Kombinasi metode elektrokoagulasi dan fotokatalis dinilai efektif untuk menghilangkan kandungan senyawa organik. Kombinasi metode elektrokoagulasi dan fotokatalis memiliki beberapa kelebihan antara

lain dapat meminimalkan penggunaan bahan kimia dalam pengolahan air limbah, tidak menghasilkan *sludge*, dan mampu mendegradasi polutan organik menjadi komponen sederhana (Zhang *et al.*, 2013).

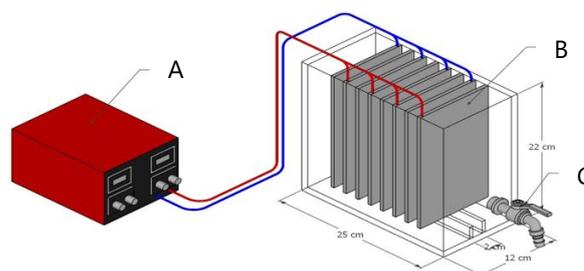
Beberapa penelitian telah melaporkan efektifitas kombinasi proses elektrokoagulasi dan fotokatalis dalam menghilangkan kandungan kontaminan di dalam air limbah. Jati dan Aviandharie (2015) melaporkan bahwa penggunaan metode elektrokoagulasi dan fotokatalis terbukti efektif pada pengolahan limbah logam berat Cr(VI). Proses tersebut mampu menghasilkan efisiensi penyisihan maksimal terhadap Cr(VI) sebesar 98,8% dengan waktu fotokatalisis sebesar 5 jam. Sulistya dan Rachmanto (2020) melakukan pengolahan air limbah industri batik menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis untuk menurunkan kandungan TSS, COD, dan warna. Hasil pengolahan tersebut memperoleh efisiensi penyisihan maksimal terhadap parameter TSS, COD, dan warna masing-masing sebesar 94,58%, 61,02%, dan 88,1%. Boroski *et al.* (2009) melaporkan bahwa penggunaan kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis TiO<sub>2</sub> efektif dalam menurunkan COD pada air limbah industri farmasi dengan efisiensi penyisihan berkisar 86%.

Penelitian terdahulu pada umumnya hanya terbatas dalam menginvestigasi penggunaan metode kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis pada pengolahan air limbah industri dengan parameter kontaminan yang terfokus pada COD, logam berat, TSS, dan warna. Penggunaan kombinasi elektrokoagulasi dan fotokatalis menggunakan material berbasis komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> belum dibahas secara detail pada penelitian sebelumnya terutama dalam menurunkan kandungan fosfat di dalam air limbah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu kontak, tegangan, dan dosis katalis dalam menurunkan konsentrasi fosfat menggunakan kombinasi proses elektrokoagulasi dan fotokatalis kaolin-TiO<sub>2</sub>. Penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi terhadap komposit kaolin-TiO<sub>2</sub>. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif metode pengolahan limbah fosfat yang efisien dan efektif sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan bahan antara lain serbuk TiO<sub>2</sub> (Merck), kaolin (SAP Chemicals). Asam klorida 37% (Merck), Etanol 96% (SAP Chemicals), dan air limbah yang diambil setelah proses presipitasi pada pit limbah cair industri asam fosfat di Jawa Timur. Sampling air limbah tersebut dilakukan sebanyak satu kali pengambilan dengan volume total air limbah sebesar 100 L.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain pH meter, timbangan analitik (Shimadzu AY 220), sumber tegangan DC 0-60 V 3A (Zhaoxin), spektrofotometer UV Vis (Agilent Cary 60), kaolin, TiO<sub>2</sub> dan lampu UV-C. reaktor elektrokoagulasi dan fotokatalis masing-masing berdimensi 25 cm x 12 cm x 22 cm dan 30 x 30 x 45 cm. Bahan reaktor elektrokoagulasi terbuat dari akrilik dengan tebal 5 mm. Bahan reaktor fotokatalis terbuat dari kayu. Gambar 1 menunjukkan desain reaktor elektrokoagulasi. Reaktor elektrokoagulasi terdiri dari empat pasang plat anoda dan katoda dari aluminium dengan dimensi 10x20 cm. Gambar 2 menunjukkan desain reaktor fotokatalis. Reaktor fotokatalis terdiri dari 4 lampu UV-C yang dipasang di setiap sisi dalam reaktor. Reaktor fotokatalisis memiliki dimensi 30 cm x 30 cm x 45 cm, berbahan dasar kayu yang dilapisi aluminium foil dengan 4 lampu UVC 10 W di setiap sisinya sebagai sumber energi untuk mendegradasi polutan dalam air limbah.



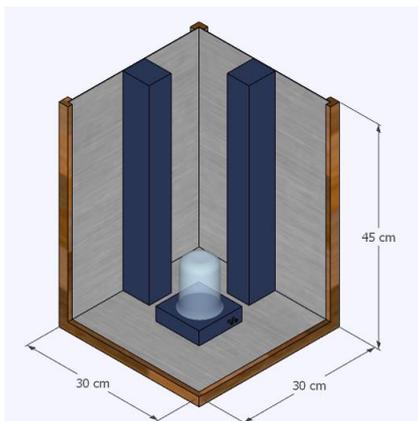
Keterangan :

A = Power Supply

B = Elektroda Aluminium

C = Kran (Outlet)

**Gambar 1.** Reaktor elektrokoagulasi



**Gambar 2.** Reaktor fotokatalis

### Proses Pembuatan Komposit Kaolin-TiO<sub>2</sub>

Preparasi kaolin dilakukan dengan melakukan aktivasi menggunakan asam kuat yaitu asam klorida. Kaolin dicampur dengan asam klorida 5 M, kaolin/HCl 1:10 (b/v) lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 6 jam. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan dinetralkan sampai pH 7 dengan akuades. Setelah itu, kaolin yang dioven pada suhu 100°C selama 24 jam dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Proses pembuatan komposit dengan mengacu pada penelitian Azeez *et al.* (2022). Sejumlah 10 gram kaolin yang telah diaktivasi dicuci dengan akuades sebanyak 1000 mL dan diaduk selama 2 jam. Kaolin selanjutnya dicampur dengan 7 gram TiO<sub>2</sub> dan diaduk selama 24 jam. Hasil pengadukan selanjutnya disentrifugasi pada 4.000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan air dan komposit. Komposit yang telah dipisahkan dicampurkan lagi dengan air dan alkohol dengan volume 1:1. Komposit yang telah dicampurkan diletakkan pada botol untuk dilakukan proses hidrotermal pada suhu 120°C selama 2 jam. Komposit tersebut dilakukan sentrifugasi kembali pada 4.000 rpm selama 15 menit. Komposit yang telah terpisah dioven pada suhu 110°C selama 1 jam.

### Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO<sub>2</sub>

Morfologi dan komposisi unsur dari kaolin serta komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> dianalisis menggunakan metode *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) Inspect S50. Uji X-Ray Diffraction (XRD) X'pert PRO PANalytical

dilakukan dengan sudut  $2\theta$  5°-60° untuk komposisi fasa kaolin serta komposit kaolin-TiO<sub>2</sub>. gugus fungsional dari kaolin aktivasi dan komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> dianalisis menggunakan *Fourier Transform-Infrared* (FTIR) Shimadzu IRPrestige 21.

### Proses Elektrokoagulasi-Fotokatalis

Proses pengolahan air limbah industri asam fosfat dilakukan menggunakan reaktor elektrokoagulasi dan fotokatalis yang dioperasikan secara *batch*. Sebanyak 5 L air limbah dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama waktu 90 dan 120 menit. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada pH 7 dengan variasi tegangan sebesar 10, 20, dan 30 V. Jarak antar elektroda diatur 1 cm dan hubungan elektroda ke sumber DC dilakukan secara monopolar. Limbah hasil proses elektrokoagulasi dengan efisiensi penyisihan fosfat tertinggi selanjutnya diolah menggunakan reaktor fotokatalis. Proses fotokatalis dilakukan selama waktu 10, 20 dan 30 menit. Variasi dosis fotokatalis sebesar 120, 180, dan 240 mg/L. Lampu UV-C dipasang pada setiap sisi dalam reaktor yang telah dilapisi aluminium foil.

Pengujian parameter pencemar air limbah yang dilakukan yaitu fosfat berdasarkan SNI 6989.31-2005. Pengujian parameter fosfat di dalam air limbah dilakukan sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi-fotokatalis. Hasil pengujian konsentrasi awal fosfat sebelum dilakukan pengolahan menggunakan elektrokoagulasi dan fotokatalis yaitu sebesar 315,50 mg/L. Besarnya efisiensi penyisihan parameter fosfat sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi dan fotokatalis dapat dihitung dengan persamaan (1) (Setiawan *et al.*, 2020):

$$\text{Efisiensi}_{\text{penyisihan}} = \frac{C_o - C_f}{C_o} 100\% \quad (1)$$

Keterangan: C<sub>o</sub> = Konsentrasi awal (mg/L); C<sub>f</sub> = merupakan Konsentrasi akhir (mg/L).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

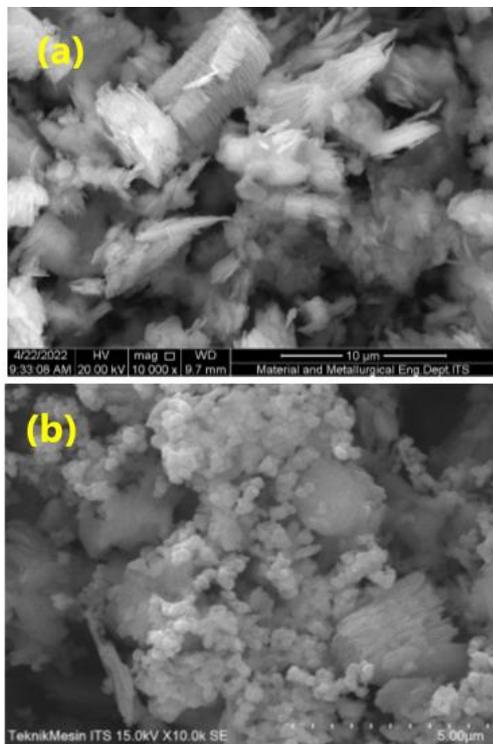
### Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO<sub>2</sub>

Analisis SEM pada Gambar 3 menunjukkan morfologi pada permukaan kaolin yang berupa kelompok lembaran heksagonal berlapis.

Berdasarkan pengukuran diameter kaolin yang didapatkan sebesar 2,528  $\mu\text{m}$ . Menurut Sunardi dan Aryanto (2009) kaolin mempunyai ukuran 1-10  $\mu\text{m}$ . Ukuran kaolin yang telah diaktivasi masih dalam rentang ukuran tersebut.

Morfologi komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> dapat pada Gambar 3 dimana permukaan partikel kaolin-TiO<sub>2</sub> berbentuk gumpalan yang saling membentuk aglomerat. Ukuran sebagian partikel berukuran besar akibat terjadinya gumpalan partikel atau aglomerasi. Hal ini disebabkan sifat TiO<sub>2</sub> sangat reaktif terhadap uap air, sehingga sangat mudah membentuk aglomerat ketika kontak dengan udara (Yang *et al.*, 2008) Ukuran partikel kaolin-TiO<sub>2</sub> dari hasil analisis berkisar antara 26 nm.

Tabel 1 menunjukkan bahwa komposisi dari kaolin terdiri dari unsur yang didominasi dengan kandungan Si, O, dan Al. Adanya kandungan O yang tinggi dapat mengindikasikan bahwa unsur Si dan Al berbentuk senyawa oksida. Pada komposit terdeteksi unsur Ti yang paling dominan yang mengindikasikan kandungan TiO<sub>2</sub> pada komposit kaolin.

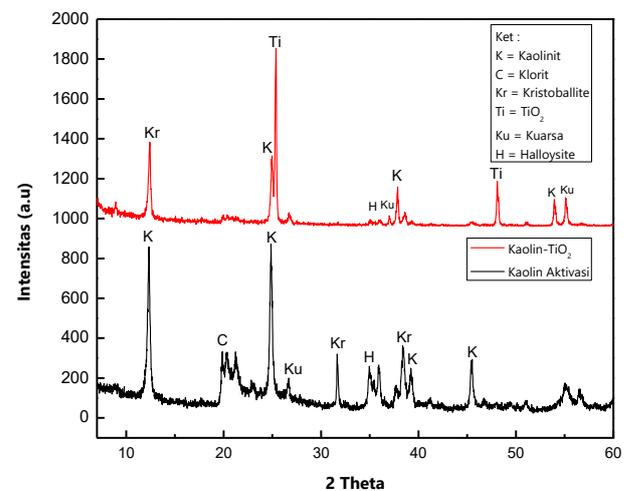


**Gambar 3.** SEM (a) kaolin setelah aktivasi dan (b) komposit kaolin-TiO<sub>2</sub>

Gambar 4 terlihat bahwa puncak difraksi khas kaolinit pada kaolin aktivasi terdapat pada  $2\theta = 12,35^\circ; 19,85^\circ; 21,25^\circ; 24,85^\circ$ , dan  $39,21^\circ$ . Banyaknya puncak kaolinit menunjukkan bahwa sampel kaolin aktivasi memiliki banyak kandungan kaolinit yang merupakan ciri khas kaolin (Lu *et al.*, 2017). Standar difraksi padatan TiO<sub>2</sub> JCPDS 21-1272 untuk anatase yang dikeluarkan oleh *International Centre for Diffraction Data* menunjukkan bahwa pola difraktogram hasil karakterisasi XRD untuk TiO<sub>2</sub> terdapat puncak-puncak identitas anatase yang muncul pada daerah  $2\theta = 22,80^\circ; 25,37^\circ; 37,87^\circ; 43,23^\circ$ ; dan  $48,12^\circ$  (Sunardi *et al.*, 2012). Jika dibandingkan dengan hasil tersebut, difraktogram komposit kaolin-TiO<sub>2</sub> menunjukkan puncak-puncak yang sesuai dengan puncak yang khas untuk TiO<sub>2</sub>, yaitu pada daerah  $2\theta: 25,36^\circ; 37,86^\circ; 48,09^\circ; 55,11^\circ$  dan  $62,72^\circ$ . Banyaknya puncak TiO<sub>2</sub> yang muncul mengindikasikan jika proses impregnasi telah berhasil dilakukan (Sugiarto *et al.*, 2021).

**Tabel 1.** EDX Kaolin Teraktivasi dan Kaolin-TiO<sub>2</sub>

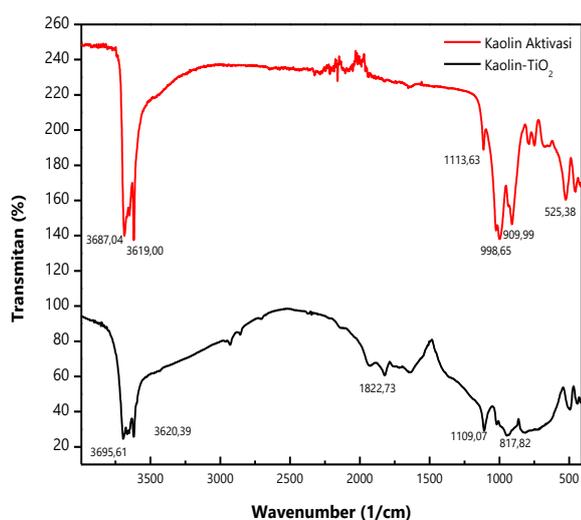
Unsur	Komposisi Unsur (%Wt)	
	Kaolin Teraktivasi	Kaolin-TiO <sub>2</sub>
Si	28,41	9,01
O	44,97	48,57
Na	0,32	0
Al	24,97	9,79
K	1,32	0,50
Ti	0	32,13



**Gambar 4.** Spektra XRD pada kaolin setelah aktivasi dan komposit kaolin-TiO<sub>2</sub>

Gambar 5 merupakan spektra hasil pengujian FTIR. Spektra FTIR dari kaolin aktivasi menunjukkan munculnya serapan pada bilangan gelombang 749,5  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik vibrasi ulur dari Si-O-Si yaitu serapan khas dari kaolin (Hosseini *et al.*, 2011). Selain itu terdapat puncak serapan yang lain yaitu pada bilangan gelombang 3687  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari vibrasi ulur O-H dari  $\text{H}_2\text{O}$  yang masih terkandung didalam kaolin; pada bilangan gelombang 523,38  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari vibrasi ulur Si-O-Al; dan pada bilangan gelombang 998,95  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari vibrasi ulur Si-O.

Spektra FTIR dari komposit kaolin- $\text{TiO}_2$  menunjukkan serapan pada bilangan gelombang 1822,73  $\text{cm}^{-1}$  817,82  $\text{cm}^{-1}$ ; dan 655,8  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik serapan dari  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase (Lu *et al.*, 2017; Sunardi *et al.*, 2012) Hasil ini membuktikan bahwa  $\text{TiO}_2$  telah terbentuk pada permukaan kaolin. Selain itu terdapat puncak serapan yang lain yaitu pada bilangan gelombang 3695  $\text{cm}^{-1}$  dan 1018  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari vibrasi ulur Al-OH dan Si-O. Serapan untuk vibrasi ulur O-H dari air terdapat pada bilangan gelombang 3900  $\text{cm}^{-1}$ . Serapan untuk gugus alkana yang berasal dari sisa senyawa organik karena adanya proses pencucian komposit menggunakan etanol terdapat pada bilangan gelombang 2855  $\text{cm}^{-1}$  dan 2970  $\text{cm}^{-1}$  (González *et al.*, 2020).

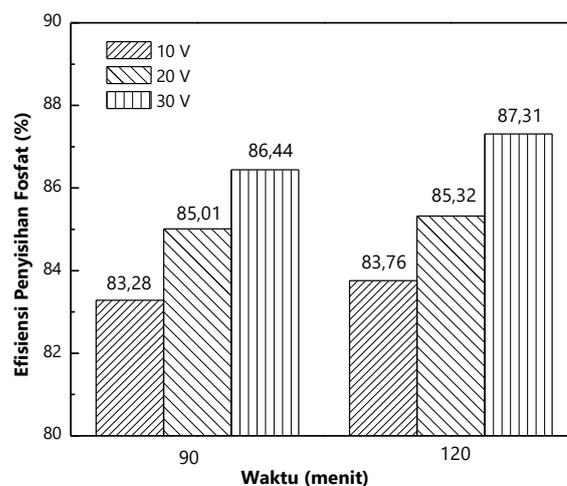


**Gambar 5.** Spektra FTIR pada kaolin setelah aktivasi dan komposit kaolin- $\text{TiO}_2$

### Proses Elektrokoagulasi-Fotokatalisis

Gambar 6 menunjukkan nilai efisiensi penyisihan parameter fosfat di dalam air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu kontak dan tegangan dalam proses elektrokoagulasi menyebabkan meningkatnya efisiensi penyisihan parameter fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan maksimum dari parameter fosfat terjadi pada kondisi waktu kontak 120 menit serta tegangan 30 V dengan perolehan sebesar 87,31%. Hasil penelitian yang diperoleh dari penelitian ini memiliki tren yang sama dengan yang dilaporkan oleh Hashim *et al.* (2018). Hasil penelitian tersebut melaporkan bahwa meningkatkan tegangan serta waktu kontak dalam proses elektrokoagulasi cenderung meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat. Hal tersebut disebabkan dengan peningkatan tegangan menyebabkan laju oksidasi logam Al membentuk  $\text{Al}^{3+}$  akan semakin cepat sehingga dapat meningkatkan pembentukan flok yang menyebabkan penurunan konsentrasi fosfat di dalam limbah. Ion  $\text{Al}^{3+}$  yang terbentuk akan mengalami hidrolisis membentuk flok  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sehingga dapat menurunkan konsentrasi fosfat melalui adsorpsi ion fosfat pada  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dan senyawa polimernya (Tibebe *et al.*, 2019).

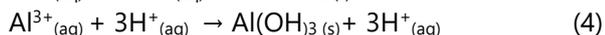
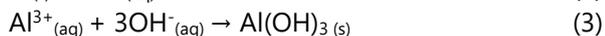
Pada saat arus listrik dialirkan melewati elektroda Al terjadi proses oksidasi menghasilkan kation logam yang langsung mengalami lebih banyak reaksi membentuk hidroksida logam polimer yang berbeda. Proses tersebut mirip dengan koagulasi dengan garam koagulan secara



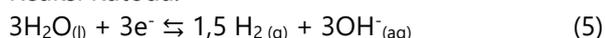
**Gambar 6.** Efisiensi penyisihan fosfat pada proses elektrokoagulasi

konvensional. Beberapa reaksi kimia pada proses elektrokoagulasi air limbah dengan kandungan fosfat menggunakan elektroda Al dapat ditulis sebagaimana persamaan reaksi kimia (2) sampai dengan (5) berikut (Tian *et al.*, 2016):

Reaksi anoda:



Reaksi Katoda:



Pada proses presipitasi fosfat akibat adanya reaksi ion fosfat dengan ion aluminium dapat ditulis dengan persamaan reaksi (6) berikut:

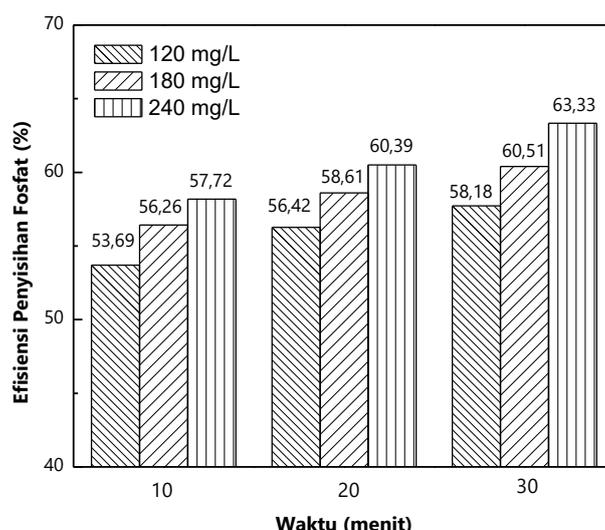


Waktu proses elektrokoagulasi memegang peranan penting dalam proses penyisihan parameter fosfat di dalam air limbah. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan waktu elektrokoagulasi cenderung meningkatkan persentase penyisihan fosfat. Waktu penyisihan fosfat maksimum pada semua variasi tegangan terjadi pada waktu 120 menit. Hal tersebut disebabkan peningkatan waktu elektrokoagulasi menyebabkan peningkatan jumlah koagulan aluminium hidroksida yang diproduksi (Tibebe *et al.*, 2019). Peningkatan waktu elektrokoagulasi memberikan kontribusi

terhadap laju pembentukan gelembung gas hidrogen yang lebih tinggi yang membantu menurunkan konsentrasi fosfat dan proses flotasi flok (Behbahani *et al.*, 2011).

Gambar 7 menunjukkan efisiensi penyisihan parameter fosfat di dalam air limbah menggunakan fotokatalis kaolin-TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan peningkatan waktu reaksi fotokatalisis pada interval 10–30 menit serta dosis katalis 120–240 mg/L mampu meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat berkisar 53,69–63,33%. Nilai maksimum penyisihan parameter fosfat terjadi pada waktu reaksi 30 menit serta dosis katalis 240 mg/L dengan perolehan nilai sebesar 63,33%. Menurut Suryandari *et al.* (2019) bahwa penurunan kadar fosfat pada air limbah pada proses fotokatalisis dapat terjadi akibat terbentuknya radikal hidroksil •OH yang berperan sebagai agen reduktor senyawa organik termasuk fosfat.

Adanya interaksi antara radikal •OH dengan fosfat akan menghasilkan senyawa yang tidak berbahaya. Penyisihan fosfat menggunakan fotokatalis kaolin-TiO<sub>2</sub> terjadi melalui proses adsorpsi fosfat ke permukaan partikel fotokatalis yang secara simultan disertai dengan proses oksidasi fotokatalitik terhadap fosfat. Pada proses fotokatalisis ini terjadi proses adsorben yang lebih dominan untuk menyerap fosfat pada air limbah fosfat (Azeez *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan efisiensi penyisihan fosfat pada proses fotokatalisis cukup besar.



**Gambar 7.** Efisiensi penyisihan fosfat pada proses fotokatalis kaolin-TiO<sub>2</sub>

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode elektrokoagulasi dan fotokatalis kaolin-TiO<sub>2</sub> terbukti efektif dalam menurunkan kadar fosfat di dalam air limbah. Peningkatan waktu kontak dan tegangan pada elektrokoagulasi menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dari 10-30V dengan waktu kontak 90 dan 120 menit menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan fosfat berkisar antara 83,28-87,31%. Efisiensi penyisihan elektrokoagulasi maksimal diperoleh pada kondisi tegangan 30 V dan waktu kontak 120 menit dengan nilai sebesar 87,31%. Peningkatan tegangan menyebabkan laju oksidasi logam Al membentuk Al<sup>3+</sup> akan semakin cepat sehingga dapat meningkatkan pembentukan flok yang menyebabkan penurunan konsentrasi fosfat di dalam limbah. Pada proses fotokatalis menunjukkan bahwa semakin besar waktu penyinaran dan dosis kaolin-TiO<sub>2</sub> semakin tinggi efisiensi penyisihan fosfat. Peningkatan waktu reaksi fotokatalis pada interval 10–30 menit serta dosis katalis 120–240 mg/L mampu meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat berkisar 53,69–63,33%. Nilai maksimum penyisihan parameter fosfat terjadi pada waktu reaksi 30 menit serta dosis katalis 240 mg/L dengan perolehan nilai sebesar 63,33%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfionita, A.N.A., Patang, P. & Kaseng, E.S. 2019. Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air di Sungai Jeneberang. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(1): 9–23.
- Al-Harashseh, M., Batiha, M., Kraishan, S. & Al-Zoubi, H. 2014. Precipitation Treatment of Effluent Acidic Wastewater from Phosphate-Containing Fertilizer Industry: Characterization of Solid and Liquid Products. *Separation and Purification Technology*, 123: 190–199.
- Azeez, S.O., Saheed, I.O., Adekola, F.A. & Salau, S.S. 2022. Preparation of TiO<sub>2</sub>-Activated Kaolinite Composite for Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye. *Chemical Society of Ethiopia*, 1(1011–3924): 13–24.
- Azzahroh, A., Setiawan, A. & Ramadani, T.A. 2021. Kombinasi Elektrokoagulasi Berbasis Aerasi dengan Penambahan NaCl dalam Penyisihan Minyak dan Lemak, 4<sup>th</sup> *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, Surabaya, Oktober 30.
- Behbahani, M., Moghaddam, M.R.A. & Arami, M. 2011. A comparison Between Aluminum and Iron Electrodes on Removal of Phosphate from Aqueous Solutions by Electrocoagulation Process. *International Journal of Environmental Research*, 5(2): 403–412.
- Boroski, M., Rodrigues, A.C., Garcia, J.C., Sampaio, L.C., Nozaki, J. & Hioka, N. 2009. Combined Electrocoagulation and TiO<sub>2</sub> Photoassisted Treatment Applied to Wastewater Effluents from Pharmaceutical and Cosmetic Industries. *Journal of Hazardous Materials*, 162: 448–454.
- González, V.A., Duten, X. & Sauce, S. 2020. Plasma-Catalysis for Volatile Organic Compounds Decomposition: Complexity of the Reaction Pathways during Acetaldehyde Removal. *Catalysts*, 10(10): 1146.
- Haryadi, H. 2010. Perkembangan dan Prospek Bahan Galian Nonlogam Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 6(1): 45–63.
- Hashim, K.S., Khaddar, R.A., Jasim, N., Shaw, A., Phipps, D., Kot, P., Pedrola, M.O., Alattabi, A.W., Abdulredha, M. & Alawsh, S.H. 2018. Electrocoagulation as A Green Technology for Phosphate Removal from River Water. *Separation and Purification Technology*, 210: 135–144.
- Henych, J.I. & Stengl, V.C. 2013. Feasible Synthesis of TiO<sub>2</sub> Deposited on Kaolin for Photocatalytic Applications. *Clays and Clay Minerals*, 61(3): 165–176.
- Hosseini, S.A., Niaei, A. & Salari, D. 2011. Production of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from Kaolin. *Open Journal of Physical Chemistry*, 1(2): 23–27.
- Jati, B.N. & Aviandharie, S.A. 2015. Kombinasi Teknologi Elektrokoagulasi dan Fotokatalis dalam Mereduksi Limbah Berbahaya dan Beracun Cr(VI). *Jurnal Kimia Kemasan*, 37(2): 133–140.
- Jiang, Z., Kong, L., Alenazey, F.S., Qian, Y. Xiao, T. & Edwards, P.P. 2013. Enhanced Visible-Light-Driven Photocatalytic Activity of Mesoporous TiO<sub>2</sub>-xNx Derived from Ethylenediamine-Based Complexes. *Nanoscale*, 5(12): 5396–5402.

- Lu, Z., Wu, A., Ou, X., Zhang, S., Niu, J., Ji, S. & Ling, Y. 2017. Enhanced Antiaging And Mechanical Properties of Polyamide 1010 by Sol-Hydrothermal Synthetic Titanium Dioxide-Coated Kaolinite Addition. *Journal of Alloys and Compounds*, 693: 381–388.
- Setiawan, A., Ariningtyas, N.A., Mayangsari, N.E. & Dewi, T.U. 2020. Penyisihan Fluoride dan COD Air Limbah Industri Asam Fosfat Menggunakan Kombinasi Presipitasi dan Elektrokoagulasi. *Jurnal Metana*, 16(2): 47–54.
- Sucahya, T.N., Permatasari, N. & Nandiyanto, A.B.D. 2016. Review: Fotokatalisis untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(1):1–15.
- Sudha, D. & Sivakumar, P. 2015, Review on the Photocatalytic Activity of Various Composite Catalysts, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 97: 112–113.
- Sugiarto, C., Setiawan, A. & Mayangsari, N.E. 2021. Efektivitas Metode Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Fly Ash dalam Mendegradasi Kandungan Amonia Pada Limbah Artifisial, 4<sup>th</sup> Conference Proceeding on Waste Treatment Technology, Surabaya, Oktober 30.
- Sulistya, A. & Rachmanto, T.A. 2020. Peningkatan Efektivitas Elektrokoagulasi Dan Fotokatalis Pada Proses Degradasi Limbah Batik. *Jurnal Envirous*, 1(1): 9–15.
- Sunardi, S. & Arryanto, Y. 2009. Purifikasi Dan Karakterisasi Kaolin Alam Asal Tatakan, Tapin, Kalimantan Selatan, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Mei 16.
- Sunardi, S., Irawati, U. & Sybianti, N.R. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamine B. *Sains dan Terapan Kimia*, 6(2): 118–129.
- Suryandari, A.S., Mustain, A., Pratama, D.W. & Maula, I. 2019. Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis Berbasis Katalis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Terhadap Mutu Air Limbah Power Plant. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 3(2):95–101.
- Tian, Y., He, W., Zhu, X., Yang, W., Ren, N. & Logan, B.E. 2016. Energy efficient electrocoagulation using an air-breathing cathode to remove nutrients from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 292:308–314.
- Tibebe, D., Kassa, Y., & Bhaskarwar, A. N., 2019, Treatment and Characterization of Phosphorus from Synthetic Wastewater Using Aluminum Plate Electrodes in the Electrocoagulation Process, *BMC Chemistry*, 13:1–14.
- Wang, X., Pehkonen, S.O. & Ray, A.K. 2004, Removal of Aqueous Cr(VI) by a Combination of Photocatalytic Reduction and Coprecipitation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43(7): 1665–1672.
- Yang, J., Bai, H., Jiang, Q. & Lian, J. 2008. Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Carbon-Doped TiO<sub>2</sub> Films Obtained by Heating TiO<sub>2</sub> Gel-Film in An Ionized N<sub>2</sub> Gas. *Thin Solid Films*, 516(8):1736–1742.
- Zhang, Y., Cong, Y.Q. & Wang, Q. 2013. Electrocoagulation-TiO<sub>2</sub> Photoassisted Combined System Applied to Methyl Orange Wastewater Removal. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12(3): 517–526.