

## Sintesis dan Aplikasi Ferrat sebagai Green Chemical dalam Pengolahan Limbah

Dian Majid<sup>1</sup>, Il-Kyu Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya, Indonesia.

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineers, Pukyong National University, Busan, South Korea.

E-mail: majid@unipasby.ac.id

### ABSTRAK

Ferrat merupakan bentuk heksavalen dari besi (Fe(VI)). Ferrat ( $[FeO_4]^{2-}$ ) memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi sehingga dapat mengatasi cemaran logam berat dan berbagai jenis kontaminan tanpa menghasilkan produk samping yang berbahaya. Ferrat dalam kalium ferrat ataupun natrium ferrat dapat disintesis menggunakan oksidasi basah (wet oxidation). Benzothiophene (BT) merupakan salah satu polutan organosulfur yang berbahaya bagi lingkungan. Dalam penelitian ini, BT digunakan sebagai model degradasi polutan. Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis ferrat dalam bentuk kalium dan natrium ferrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalium ferrat memiliki efisiensi degradasi dua kali lebih besar di banding natrium ferrat.

**Kata kunci** : benzothiophene, ferrat, oksidasi

### ABSTRACT

Hexavalent iron species commonly known as ferrate(VI). Ferrate(VI) ( $[FeO_4]^{2-}$ ) is one of the advanced oxidation processes (AOPs) and has strong oxidizing power which can effectively remove suspended solids, heavy metals, and a variety of contaminants in water, without generating harmfully by-products. Salt of Ferrate such as potassium and sodium ferrate(VI) have also been synthesized in laboratory by wet oxidation method. Benzothiophene (BT) as organosulfur is one of priority pollutant. This study aims to synthesized ferrate(VI) in different salt and both of ferrate would be exam with BT as target compound. The result show that potassium ferrate has higher degradation efficiency than sodium ferrate.

**Keywords** : benzothiophene, ferrate, oxidation

### 1. PENDAHULUAN

Peningkatan limbah buangan industri di era modernisasi dapat berdampak buruk bagi lingkungan dan organisme sekitarnya [1]. Sebagian besar polutan yang dihasilkan dari aktifitas industri adalah limbah organik dan logam berat [2]–[4]. Hal ini akan menjadi

permasalahan yang serius jika tidak diatasi secara serius. Olehkarna itu dibutuhkan metode yang tepat dalam mencegah dan mengatasi pencemaran lingkungan. Namun teknologi yang sekarang digunakan tidaklah tepat karna memiliki beberapa kekurangan diantaranya membutuhkan biaya yang

mahal, pengoperasiannya yang rumit, dan membutuhkan proses yang lama [5]–[7].

Proses pengolahan air yang sederhana namun efisien seperti menggunakan koagulan sangatlah tepat dalam pengolahan limbah buangan industri. koagulan yang sering digunakan adalah sulphate, aluminium sulphate, dan ferric chloride [8]–[10]. Namun dengan meningkatnya jumlah dan jenis polutan seperti mikroorganisme, sehingga kemampuan pengolahan limbah harus ditingkatkan guna mengatasi permasalahan tersebut.

Ferrat merupakan bentuk heksavalen dari besi ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) [11]. Ferrat telah diteliti memiliki potensi yang besar sebagai pengolahan air. ferrat mampu bekerja sebagai koagulan, desinfektan dan oksidan [10], [12]–[14]. Ferrat dikenal sebagai green chemical karena ferrat dalam proses oksidasi akan tereduksi menjadi besi(III) yaitu ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) [15]–[19]. selain itu,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  juga dapat berperan sebagai koagulan dari beberapa anion seperti ion fosfat dll [19].

Tujuan penulis adalah untuk mensintesis ferrat dalam bentuk kalium ferrat dan sodium ferrat dan menguji

aktivitas degradasinya menggunakan benzthiophene.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Sintesis Kalium dan Natrium Ferrat

Sintesis kalium dan sodium ferrat menggunakan paten (US Patent 8,961,921 B2) [20] dengan beberapa modifikasi. Langkah awal adalah mencampurkan 0.96 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan 2.36 g  $\text{Na}_2\text{O}_2$ . Kemudian campuran tersebut dipanaskan pada furnace pada  $500^\circ\text{C}$  selama 30 menit. haluskan dan dilakukan penimbangan sebanyak 2 g.

Pencampuran 60 mL  $\text{NaOCl}$  dan 20 gram  $\text{NaOH}$ . Larutan diaduk hingga  $\text{NaOH}$  larut sempurna. Kemudian penambahan 2 gram ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ). Setelah pencampuran semua reagen, terbentuknya sodium ferrat ( $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ ) ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi ungu. sebagian hasil dipisahkan dan sesanya digunakan untuk sintesis kalium ferrat. Pembentukan Kalium ferrat ( $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ) dilakukan dengan penambahan  $\text{KOH}$  sebanyak 10 gram. Langkah terakhir adalah penyaringan menggunakan filter GF/A, dan pencucian menggunakan n-hexane, n-pentane, dan methanol yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang berada pada kalium ferrat. Hasil akhir padatan ( $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ) berwarna hitam keunguan. Untuk menjaga kualitas kalium ferrat dilakukan penyimpanan pada desikator.

### 2.2. Uji Degradasi

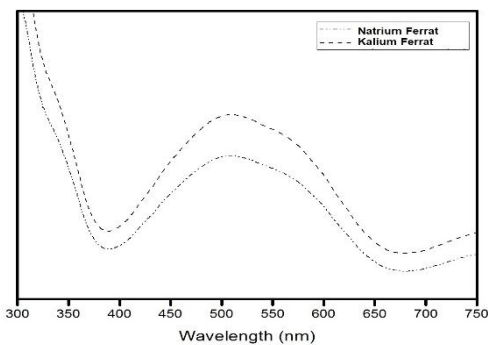
Uji kemampuan degradasi ferrat menggunakan benzothiophene (BT) sebagai senyawa target. degradasi BT

dilakuka pada pH netral (7), konsenrasi ferrat 20ppm dan temperatur 25°C. konsentrasi BT diukur menggunakan GC-FID.

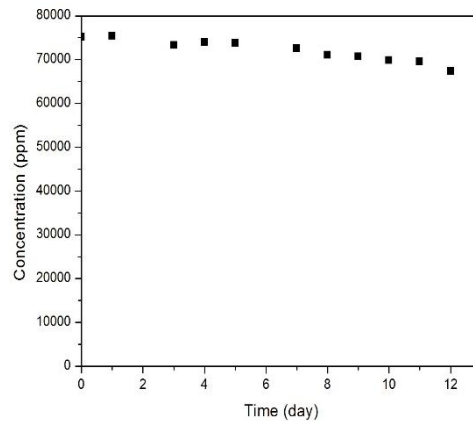
Sampel hasil degradasi dianalisa dengan menggunakan gas chromatography (GC). Dengan kondisi temperatur injeksi dan detektor 250°C dan 300°C. Temperatur awal 40°C (5 menit) dengan kenaikan 8°C/ menit sampai 100°C. Kemudian dilanjutkan kenaikan temperatur 12°C/menit hingga mencapai temperatur akhir 200°C. Pada penelitian ini, dilakukan dua kali (duplo) pengulangan degradasi.

### 3. HASIL PENELITIAN

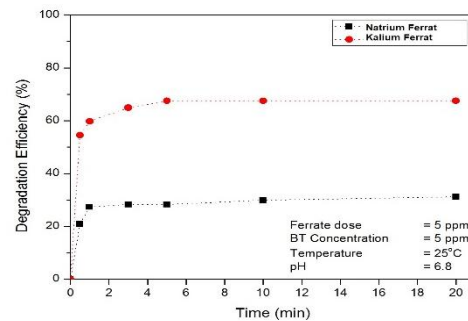
Hasil penelitian menunjukan bahwa kalium ferrat dan sodium ferrat berhasil disintesis yang ditandai dengan serapan pada panjang gelombang ~510nm (**Gambar 1**). Dari hasil uji stabilitas sodium ferrat, ferrat yang disintesis menggunakan metode we oxidation dapat stabil selama kurang lebih 11 hari (**Gambar 2**). Degradasi BT menggunakan kalium ferrat dan sodium ferrat disajikan pada **Gambar 3**. menunjukan bahwa kalim ferrat memiliki aktivitas degradasi yang lebih tinggi dibanding sodium ferrat.



**Figure 1 Spektra UV-Vis Kalium dan Sodium Ferrat**



**Gambar 2 Uji Stabilitas Sodium Ferrat**



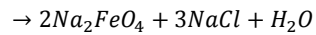
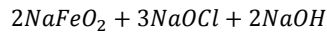
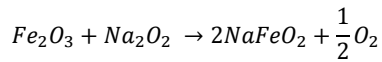
**Gambar 3 Uji Degradasi BT menggunakan Kalium Ferrat dan Sodium Ferrat.**

### 4. PEMBAHASAN

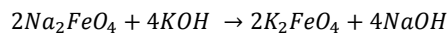
Ferrat merupakan bentuk heksavalen dari besi ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ). Ada beberapa bentuk ferrat dalam bentuk garamnya  $\text{M}_2\text{FeO}_4$  ( $\text{M} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{and Ag}$ ) [21]. Identifikasi ferrat dapat dilakukan dengan menggunakan spektro UV-Vis, sharma (2001) menjelaskan bahwa ferrat memilii panjang gelombang maksimum pada ~510nm [22]. Reaksi

pembentukan ferrat dapat dijelaskan pada reaksi kimia berikut:

Sodium Ferrat:



Kalium Ferrat:



Uji kestabilan ferrat digunakan untuk mengetahui ketahanan ferrat dalam penyimpanan sebelum dipakai. Karna sifatnya yang mudah terdegradasi secara alami (self-decomposition) [23], [24], sehingga uji stabilitas sangatlah penting. pada hasil uji kestabilan menunjukkan bahwa ferrat hasil sintesis memiliki umur selama 11 hari. Hal yang sama didapatkan oleh penelitian sebelumnya bahwa ferrat dapat bertahan selama kurang lebih 2 minggu [25].

Uji kemampuan degradasi ferrat terhadap limbah dilakukan dengan menggunakan senyawa organosulfur yang menjadi salah satu cemaran bagi lingkungan yaitu benzothiophene (BT). Ferrat dapat mendegradasi polutan tanpa menghasilkan hasil samping yang berbahaya, hal inilah yang menjadikan ferrat dikenal sebagai green chemical [26]. Ferrat dapat mendegradasi polutan secara cepat [24]. Dapat dilihat pada **Gambar 3**, degradasi efisiensi kalium ferrat dan sodium ferrat masing masing sebesar 69% dan 30% hanya dalam 20 menit.

Setelah mendegradasi senyawa polutan, ferrat akan terdekomposisi menjadi besi hidroksida (Fe(OH)<sub>3</sub>). Gu (1994), menambahkan bahwa Fe(OH)<sub>3</sub> merupakan endapan yang memiliki kemampuan sebagai adsorben [27].

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sintesis kalium ferrat dan sodium ferrat dapat dilakukan menggunakan metode wet oxidation. Keberhasilan sintesis ferrat ditunjukkan dengan adanya serapan pada panjang gelombang 510nm. Kalium ferrat memiliki efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibanding sodium ferrat. Efisiensi degradasi kalium ferrat sebesar 69%. Berdasarkan hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa ferrat merupakan reagen yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan dalam pengolahan limbah industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Cao, K. Nagarajan, and K.-C. Loh, *Biodegradation of aromatic compounds: Current status and opportunities for biomolecular approaches*, vol. 85. 2009.
- [2] M. A. Bryant, "Bromobenzene A2 - Wexler, Philip BT - Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)," Oxford: Academic Press, 2014, pp. 559–560.
- [3] S. R. Clough, "Toluene A2 - Wexler, Philip BT - Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)," Oxford: Academic Press, 2014, pp. 595–598.
- [4] S. D. Pravasi, "Chlorobenzene A2 - Wexler, Philip BT -

- Encyclopedia of Toxicology (Third Edition),” Oxford: Academic Press, 2014, pp. 870–873.
- [5] C. E. Flores-Chaparro, L. F. Chazaro Ruiz, M. C. Alfaro de la Torre, M. A. Huerta-Diaz, and J. R. Rangel-Mendez, “Biosorption removal of benzene and toluene by three dried macroalgae at different ionic strength and temperatures: Algae biochemical composition and kinetics,” *J. Environ. Manage.*, vol. 193, pp. 126–135, May 2017.
- [6] N. Musilová-Kebrlová, P. Janderka, and L. Trnková, “Electrochemical processes of adsorbed chlorobenzene and fluorobenzene on a platinum polycrystalline electrode,” *Collect. Czechoslov. Chem. Commun.*, vol. 74, pp. 611–625, 2009.
- [7] M. Wu *et al.*, “Degradation of halogenated benzenes in solution by electron beam irradiation method,” *Environ. Technol.*, vol. 30, no. 2, pp. 191–197, Feb. 2009.
- [8] J.-Q. Jiang, B. Lloyd, and L. Grigore, *Preparation and Evaluation of Potassium Ferrate as an Oxidant and Coagulant for Potable Water Treatment*, vol. 18, 2001.
- [9] S. Licht *et al.*, “Analysis of ferrate(VI) compounds and super-iron Fe(VI) battery cathodes: FTIR, ICP, titrimetric, XRD, UV/VIS, and electrochemical characterization,” *J. Power Sources*, vol. 101, no. 2, pp. 167–176, 2001.
- [10] V. K. Sharma, “Potassium ferrate(VI): an environmentally friendly oxidant,” *Adv. Environ. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 143–156, 2002.
- [11] R. Prucek *et al.*, “Ferrate(VI)-Prompted Removal of Metals in Aqueous Media: Mechanistic Delineation of Enhanced Efficiency via Metal Entrenchment in Magnetic Oxides,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 4, pp. 2319–2327, Feb. 2015.
- [12] J. Jiang, “Advances in the development and application of ferrate ( VI ) for water and wastewater treatment,” no. September, pp. 165–177, 2014.
- [13] S. J. de Luca, C. N. Idle, and A. C. Chao, “Quality improvement of biosolids by ferrate(VI) oxidation of offensive odour compounds,” *Water Sci. Technol.*, vol. 33, no. 3, pp. 119–130, 1996.
- [14] G. W. Thompson, L. T. Ockerman, and J. M. Schreyer, “Preparation and Purification of Potassium Ferrate. VI,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, no. 3, pp. 1379–1381, Mar. 1951.
- [15] G. A. K. Anquandah and V. K. Sharma, “Oxidation of octylphenol by ferrate(VI),” *J. Environ. Sci. Heal. Part A*, vol. 44, no. 1, pp. 62–66, Jan. 2009.
- [16] J.-Q. Jiang and B. Lloyd, “Progress in the development and use of ferrate(VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment,” *Water Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 1397–1408, 2002.
- [17] D. G. Lee and H. Gai, “Kinetics and mechanism of the oxidation of alcohols by ferrate ion,” *Can. J. Chem.*, vol. 71, no. 9, pp. 1394–1400, Sep. 1993.
- [18] K. Osathaphan, W. Kittisarn, P. Chatchaitanawat, R. A. Yngard, H.

- Kim, and V. K. Sharma, "Oxidation of Ni(II)-cyano and Co(III)-cyano complexes by Ferrate(VI): Effect of pH," *J. Environ. Sci. Heal. Part A*, vol. 49, no. 12, pp. 1380–1384, Oct. 2014.
- [19] T. D. Waite and M. Gilbert, "Oxidative destruction of phenol and other organic water residuals by iron (VI) ferrate," *J. (Water Pollut. Control Fed.)*, pp. 543–551, 1978.
- [20] V. K. Sharma, "Apparatus and Method For Producing Liquid Ferrate," 31-Mar-2011.
- [21] Y. D. Perfiliev and V. K. Sharma, "Higher Oxidation States of Iron in Solid State: Synthesis and Their Mössbauer Characterization," in *Ferrates*, vol. 985, American Chemical Society, 2008, pp. 112–123 SE–7.
- [22] V. Sharma, C. R. Burnett, and F. Millero, *Dissociation constants of the monoprotic ferrate(VI) ion in NaCl media*, vol. 3. 2001.
- [23] X. Sun, Q. Zhang, H. Liang, L. Ying, M. Xiangxu, and V. K. Sharma, "Ferrate(VI) as a greener oxidant: Electrochemical generation and treatment of phenol," *J. Hazard. Mater.*, vol. 319, pp. 130–136, 2016.
- [24] M. Dian and K. Il-Kyu, "Degradation of Toluene by Liquid Ferrate(VI) and Solid Ferrate(VI) in Aqueous Phase," *J. Environ. Eng.*, vol. 144, no. 9, p. 4018093, Sep. 2018.
- [25] F. B. Laksono and I. Kim, "Removal of 2-Bromophenol by Advanced Oxidation Process with In-situ Liquid Ferrate (VI)," pp. 128–135, 2016.
- [26] N. Graham, C. Jiang, X.-Z. Li, J.-Q. Jiang, and J. Ma, "The influence of pH on the degradation of phenol and chlorophenols by potassium ferrate," *Chemosphere*, vol. 56, no. 10, pp. 949–956, 2004.
- [27] B. Gu, J. Schmitt, Z. Chen, L. Liang, and J. F. McCarthy, "Adsorption and desorption of natural organic matter on iron oxide: mechanisms and models," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 1, pp. 38–46, Jan. 1994.