

REDUKSI Cr(VI) MENJADI Cr(III) DALAM PERAIRAN MEMANFAATKAN ASAM OKSALAT DARI LIMBAH TONGKOL JAGUNG (*ZEA MAYS L*) SECARA FOTOKATALITIK

¹Ana Nurjanah*, ²Mita Akbar Sukmarini, ³Muh. Husriadi,

^{1,2}Universitas Bakti Indonesia, Jalan Kampus Bumi Cempokosari No.40, Dusun Cempokosari, Sarimulyo,
Kec. Cluring, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur 68482

³Universitas Halu Oleo, Kampus Hijau Bumi Tridharma, Anduonohu, Kec. Kambu, Kota Kendari, Sulawesi
Tenggara 93232

*E-mail: anna.nrjh345@gmail.com

Riwayat Article

Received: 27 Desember 2024; Received in Revision: 28 February 2024; Accepted: 10 March 2024

Abstract

Pollutants that are often of concern are heavy metal ions, such as chromium Cr (VI). side effects of chromium on health if there is direct contact with the skin (irritation), if inhaled it will produce irritation of the gastro-intestinal or respiratory tract, characterized by a burning sensation, sneezing, coughing. Chromium in natural waters is converted in two states, namely, Cr (VI) and Cr (III). Cr (VI) easily dissolves in air and forms divalent oxyanions, namely chromate chromate (CrO_4^{2-}) and dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) which can cause kidney disease and lung cancer. The Cr(III) ion species is a species present in food that is used to control glucose and lipid metabolism in cell membranes. In this research, the effectiveness of the Fe(III) catalyst was tested with the addition of oxalic acid (reductant) in the photoreduction process of Cr(VI) to Cr(III). Where is oxalic acid from corn cob extract and a reactor with a 30Watt UV lamp with a time variation of 10; 20; 30; 40; 50; 60; 120; 180; 240 minutes and catalyst 0; 3.8; 7.4; 10.7; 13.7; 16.8 mg/L was measured using Uv-Vis at a wavelength of 540 nm. So this research produced oxalic acid from corn cobs which was tested using FTIR for the O-H group, C=O group and C - O group. The melting point test for oxalic acid was $T = 106 - 107^\circ\text{C}$. The conditions set to reduce Cr (VI) are the optimum contact time of 120 minutes. The use of a catalyst can reduce Cr (VI) metal ions with a catalyst concentration of 13.7 mg/L Cr (VI) which is reduced by 71.94%.

Keywords: Hexavalent chromium, oxalic acid, photocatalytic

Abstrak

Bahan pencemar yang sering menjadi perhatian adalah ion-ion logam berat, seperti kromium Cr(VI). efek samping kromium terhadap kesehatan jika terjadi kontak langsung dengan kulit (iritasi), jika terhirup akan menghasilkan iritasi pada gastro-intestinal atau saluran pernapasan, ditandai dengan rasa terbakar, bersin, batuk. Kromium ada di perairan alami diubah dalam dua keadaan yaitu, Cr(VI) dan Cr(III). Cr(VI) mudah larut dalam air dan membentuk divalent oxyanion yaitu kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) yang dapat menyebabkan penyakit ginjal dan kanker paru-paru. Spesies ion Cr(III) merupakan suatu spesies yang ada dalam makanan yang digunakan untuk untuk mengontrol metabolisme glukosa dan lipid dalam membran sel. Dalam penelitian ini dilakukan uji efektivitas katalis Fe(III) dengan penambahan asam oksalat (reduktor) dalam proses fotoreduksi Cr(VI) menjadi Cr(III). Dimana asam oksalat dari ekstrak tongkol jagung dan reaktor dengan tengangan lampu UV 30 Watt dengan variasi waktu 10; 20; 30; 40; 50; 60; 120; 180; 240 menit dan katalis 0; 3,8; 7,4; 10,7; 13,7; 16,8 mg/L diukur menggunakan Uv-Vis pada panjang gelombang 540 nm. Maka penelitian ini menghasilkan, asam oksalat dari tongkol jagung yang diuji dengan FTIR gugus O-H, gugus C=O dan gugus C - O. Uji titik leleh asam oksalat yaitu $T = 106 - 107^\circ\text{C}$. Kondisi setimbang untuk mereduksi Cr(VI) yaitu pada waktu kontak optimum 120 menit. Penggunaan katalis dapat mereduksi ion logam Cr(VI) dengan konsentrasi katalis 13,7 mg/L Cr(VI) yang tereduksi sebanyak 71,94%.

Keywords: Kromium heksavalen, asam oksalat, fotokatalitik

1. Introduction

Jaman modern saat ini banyak sekali bahan pencemar yang mengganggu lingkungan sekitar. Bahan pencemar yang perlu diwaspadai yaitu ion logam berat, seperti kromium heksavalen Cr(VI). Bahaya dari pencemar kromium terhadap kesehatan adalah jika terkena kulit secara langsung akan menyebabkan iritasi, apabila terhirup melalui udara maka mengakibatkan iritasi pada saluran pernapasan atau gastro-intestinal, dengan gejala rasa terbakar, batuk dan bersin. Dampak buruk yang disebabkan dari Cr(VI) maka pemerintah memutuskan mengeluarkan aturan PP (Peraturan Pemerintah) No. 28 tahun 2001 tentang seberapa kadar total Cr maksimum pada kegunaan air baku pada air minum dan aktivitas perikanan yaitu 0,05 mg/L.

Cr adalah bagian dari logam berat yang merupakan polutan. Cr pada lingkungan perairan alami bisa berubah menjadi 2 bentuk yakni, Cr(VI) & Cr(III) (Testa, dkk., 2004). Jenis ion Cr(III) termasuk salah satu jenis yang berada pada makanan dan dimanfaatkan sebagai pengontrol metabolisme glukosa & lipid pada membran sel, kemudian jenis ion Cr(VI) mempunyai kategori karsinogenik dan mutagenik dan pencemar yang paling beracun bagi kehidupan makhluk hidup (Hug, dkk., 1997).

Logam Cr masuk didalam lingkungan bisa berasal dari bermacam-macam sumber, sumber umum yang sering muncul paling banyak pengaruhnya yaitu dari pertambangan, aktivitas industri, zat sisa pembakaran serta mobilitas bahan bakar dan kegiatan rumah tangga. Toksisitas dan mobilitas Cr pada lingkungan perairan terjadi karena keadaan oksidasinya (Testa, dkk., 2004). Keadaan Cr(III) lebih aman dari pada Cr(VI) karena tingkat bahayanya 100 kali lipat, maka dari Cr(VI) harus dirubah (direduksi) menjadi Cr(III) supaya toksisitasnya rendah. Cr(VI) sangat mudah terurai pada lingkungan perairan dan bisa menjadi divalent oxyanion yaitu kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) dari perubahan bentuk tersebut bisa mengakibatkan penyakit kanker paru-paru dan ginjal. Kemudian untuk Cr(III) sendiri bisa mengendap dan dapat terserap oleh senyawa-senyawa anorganik dan organik (Wang, dkk., 2010).

Sedangkan salah satu cara mereduksi Kromium heksavalen yang sudah dilakukan saat ini adalah dengan cara pertukaran ion dan adsorpsi. Pengolahan dengan metode tersebut sangat efektif dan relatif sederhana mempunyai kelemahan dimana saat proses pertukaran ion dan adsorpsi, Kromium heksavalen cuma pindah tempat dari resin penukar ion atau larutan ke adsorben. Kemudian harus dilakukan pengolahan kembali kromium heksavalen yang terjatuh di resin penukar ion atau adsorben dan bahan penukar ion yang sudah jenuh atau padatan adsorben. Berdasarkan kekurangan metode pengolahan limbah yang sudah dilakukan, untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan pengembangan metode fotoreduksi yang lebih efektif dan mudah dilakukan. Metode tersebut memanfaatkan cahaya dari sinar UV yang bisa menurunkan kromium heksavalen yang dinilai berbahaya di lingkungan.

Penelitian dari (Irawan, dkk., 2016) mendapatkan hasil katalis Fe bisa mengurangi kadar Cr dan dalam penelitian (Hug, dkk., 1997) memanfaatkan katalis Fe(III) dan penambahan asam oksalat serta asam sitrat bisa mereduksi ion kromium heksavalen. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan pengolahan uji efektifitas katalis Fe(III) dengan tambahan reduktor asam oksalat, sehingga Cr(VI) pada proses foto reduksi berubah menjadi Cr(III). Keterbaruan dari penelitian ini dibandingkan dari penelitian yang lain adalah pemanfaatan asam oksalat dari ekstrak tongkol jagung dengan menggunakan lampu reaktor UV bertegangan 30 watt, menggunakan variasi waktu dan konsentrasi.

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis Fe(III) dari stok FeCl_3 (Hug, dkk., 1997). Fe(III) termasuk senyawa jenis logam transisi yang memiliki beragam manfaat, contohnya bersifat tahan terhadap racun katalis seperti SO_2 dan juga dapat digunakan sebagai katalis, maka bisa senyawa ini bisa dimanfaatkan untuk reaksi fotokatalis dalam proses mendegradasi senyawa. Dengan penambahan asam oksalat dapat mengaktifkan katalis Fe(III). Asam oksalat memiliki rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ dan termasuk turunan dari asam karboksilat yang memiliki 2 gugus karboksil diujung rantai karbon yang lurus.

Alasan pemilihan asam oksalat sebagai reduktor pada penelitian ini karena mudah diperoleh, biaya rendah, dapat ditemui dalam bentuk ampas tebu, serbuk gergaji, tongkol jagung dll. Selain itu asam oksalat termasuk agen reduktor yang efektif dan mempunyai sifat tidak berbahaya (Wahyudi, dkk., 2013). Pada penelitian ini asam oksalat yang digunakan berasal dari ekstraksi limbah tongkol jagung. Tongkol jagung mempunyai karbon dengan bentuk selulosa yang cukup

besar. Dengan memanfaatkan alkali kuat, selulosa yang berbentuk senyawa karbon rantai panjang dapat dipecah menjadi senyawa karbon yang lebih sederhana (Afriandi, dkk., 2015). Asam oksalat merupakan salah satu bentuk senyawa karbon yang didapatkan dari proses pemecahan (Melwita dan Kurniadi, 2014). Melwita (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa asam oksalat dari sintesis tongkol jagung lebih besar dibandingkan dengan hasil dari sintesis sekam padi, dengan prosentase tongkol jagung sebesar 36,54% sedangkan sekam padi hanya sebesar 15%. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dipilihlah asam oksalat dari ekstrak limbah tongkol jagung.

Menurut (Melwita dan Kurniadi, 2014) tanaman jagung dalam tata nama atau sistematika (Taksonomi) tumbuh-tumbuhan jagung diklasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Kelas : Angiospermae
 Ordo : Graminae
 Famili : Graminaceae
 Spesies : Zea mays L.



Gambar 1 Jagung (*Zea Mays L*)

Tongkol memiliki sifat-sifat seperti salah satu bagiannya keras dan sebagian bersifat menyerap (*absorbent*), juga sifat-sifat yang merupakan gabungan beberapa sifat, seperti: tidak terjadi reaksi kimia bila dicampur dengan zat kimia lain (*inert*), dapat erurai secara alami.

Table 1 komposisi tongkol jagung - (Fitriani, dkk., 2018)

Komposisi	Persen (%)
Selulosa	44
Hemiselulosa	30
Lignin	15
Abu	1,5
Air	9,5

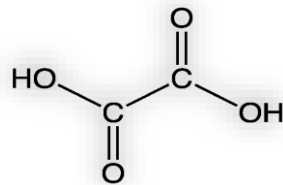
Tongkol jagung merupakan limbah yang belum banyak dimanfaatkan. Padahal, tongkol jagung memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi (Melwi dan Kurniadi, 2014). Kandungan selulosa yang cukup tinggi ini membuat tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat pulp yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembalut yang lebih aman.

Dengan tongkol jagung menjadi sumber agen fotokatalitik yaitu asam oksalat, maka dapat meningkatkan nilai manfaat dari tongkol jagung. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan fotoreduksi Cr(VI) penambahan asam oksalat dari ekstrak tongkol jagung sebagai reduktor dengan katalis Fe(III) untuk melihat seberapa efektifitas Cr(VI) yang tereduksi. Penentuan kadar Cr(VI) dilakukan dengan metode Spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 540 nm.

2. Methodology

2.1. Pembuatan Asam Oksalat

Serbuk tongkol jagung ditimbang sebanyak 15 gram, serbuk tongkol jagung yang sudah ditimbang dimasukkan dalam labu leher dua kemudian ditambah NaOH dengan konsentrasi 2 M sebanyak 250 mL. Kemudian dipanaskan pada suhu 90°C sambil diaduk magnetik stirrer selama 3 jam.



Gambar 2 Struktur asam oksalat

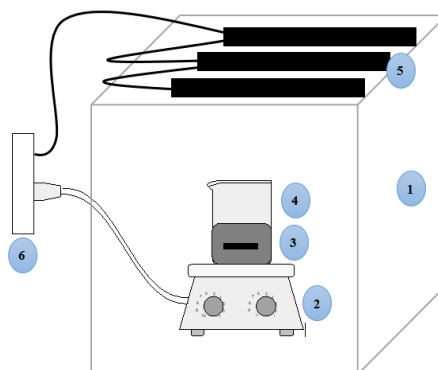
Setelah pemanasan selesai mendinginkan dan menyaring larutan, selanjutnya endapan dicuci dengan aquadest panas. Filtrat hasil penyaringan dicampur dengan filtrat hasil pencucian sampai 400 mL sebagai larutan induk (Afriandi, dkk., 2015). sebanyak 25 mL kemudian ditambahkan (CaCl₂) 1M sebanyak 25 mL, sehingga akan terjadi endapan putih kalsium oksalat. Kemudian endapan disaring dan ditambahkan H₂SO₄ 2M sebanyak 100 mL sehingga endapan akan larut menjadi asam oksalat dan kalsium sulfat. Selanjutnya larutan disaring, kemudian filtrat dimasukkan kedalam erlenmeyer 100 mL dan dipanaskan sampai 70°C selama 1 jam. Selanjutnya didinginkan dalam lemari es selama 24 jam sehingga terbentuk endapan asam oksalat yang berupa kristal jarum berwarna putih. Selanjutnya endapan disaring dan dikeringkan dalam oven suhu 70°C selama 30 menit, kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya (Afriandi, dkk., 2015).

2.2. Uji Cr(VI) Menggunakan Asam Oksalat

30 gram masa asam oksalat ditambahkan 25 mL larutan Cr(VI) 300 mg/L, ditambahkan Fe(III) 100 mg/L sebanyak 2 mL, selanjutnya disinari lampu UV dalam reaktor dengan variasi waktu 10; 20; 30; 40; 50; 60; 120; 180; 240 menit. Kemudian diukur pada panjang gelombang 540 nm.

2.3 Pengaruh Variasi konsentrasi katalis Terhadap Efektivitas Fotoreduksi Cr(VI)

30 gram ditambahkan larutan Cr(VI) 300 mg/L, ditambahkan katalis variasi konsentrasi 0; 3,8; 7,4; 10,7; 13,7; 16,8 mg/L, selanjutnya disinari lampu UV dalam reaktor. Untuk pemisahan filtrat dan resisu dilakukan dengan cara penyaringan dengan kertas saring. Kemudian diukur pada panjang gelombang 540 nm.



Gambar 3. Reaktor fotokatalitik

Reduksi fotokatalitik dilakukan menggunakan reaktor (Gambar 3) yang memiliki ukuran 110 x 35 x 50 cm. Kotak reaktor (1) terbuat dari kayu dan dilengkapi dengan magnetic stirrer (2), sample

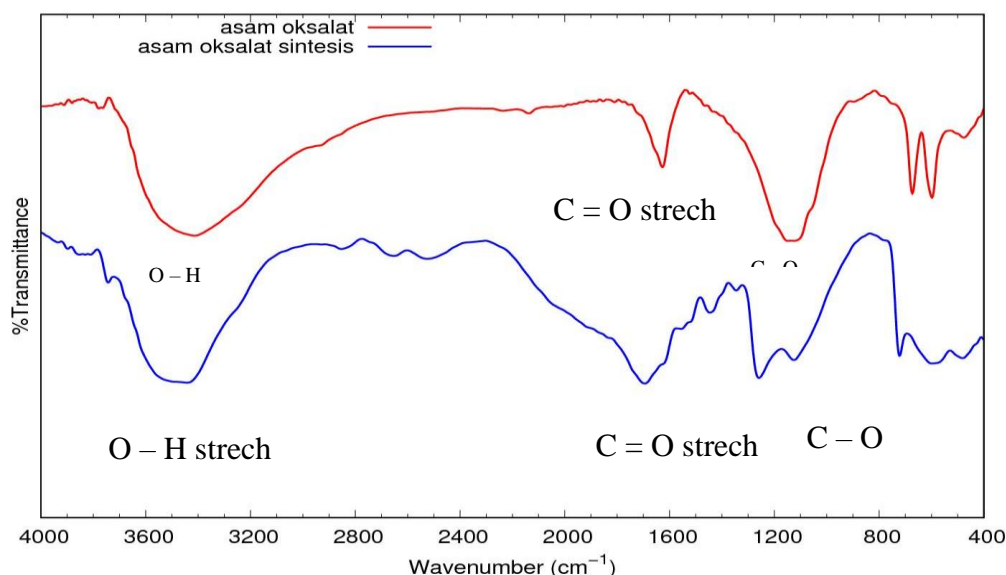
holder (3), dan lampu UV @30 watt, yang memiliki panjang gelombang 254 nm (4) beaker gelas (5). Lampu dan pengaduk magnetik dihubungkan dengan daya listrik menggunakan koneksi saat ini (6)..

3. Results and Discussion

3.1. Asam Oksalat

Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan asam oksalat yaitu diproduksi dari glukosa biomassa, seperti tongkol jagung dengan cara peleburan alkali. Tahap-tahap pembuatan Asam Oksalat dengan proses peleburan alkali (Afriandi, dkk., 2015). Yang pertama yaitu tahap peleburan, pada tahap ini terjadi peleburan antara selulosa yang terkandung dalam bahan baku, direaksikan dengan larutan NaOH 2 M sebanyak 250 mL dengan bantuan pemanasan.

Dalam percobaan ini untuk membuktikan hasil tersebut merupakan asam oksalat, maka kristal asam oksalat dilakukan uji *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Gambar dibawah ini.



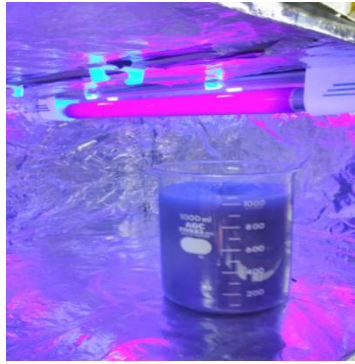
Gambar 4. Spektra FT-IR pada asam oksalat sintesis (garis biru), asam oksalat hasil penelitian (garis merah).

Rumus kimia asam oksalat adalah $H_2C_2O_4$, setelah ditinjau dari spektrum Infra Merah yang didapatkan, maka dapat diketahui bahwa asam oksalat menunjukkan karakter gugus fungsi yang melebar yaitu memiliki serapan kuat vibrasi regangan gugus hidroksi (O - H) yang terdapat pada bilangan gelombang 3200 - 3700 cm^{-1} .

Selain itu untuk menunjukkan adanya asam oksalat juga dilakukan analisis uji titik Kristal dari hasil penelitian di analisa dengan Melting Point Apparatus diperoleh titik leleh $T = 106 - 107^\circ C$. Sedangkan asam oksalat murni mempunyai titik leleh $100,3^\circ C$. Dari perbedaan hasil titik leleh ini kemungkinan disebabkan hasil kristalisasi belum murni atau masih banyak pengotornya. Hal ini juga dibuktikan dari hasil FTIR gambar 4.1 yang memiliki puncak yang melebar.

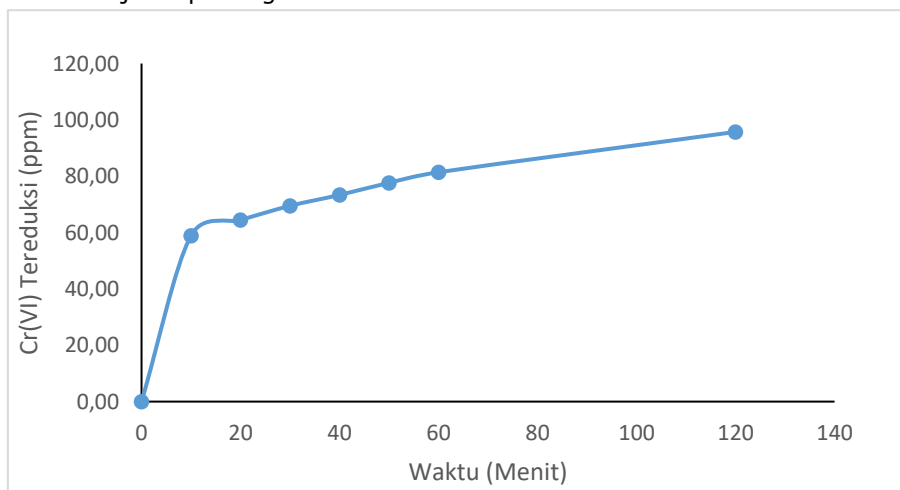
3.2. Pengaruh Variasi konsentrasi katalis Fe(III) Terhadap Efektivitas Fotoreduksi Cr(VI)

Peneliti mengamati pengaruh waktu Cr(VI) saat tereduksi, dimana penyinaran proses fotoreduksi perlu dipelajari untuk mendapatkan informasi tentang seberapa maksimal Cr(VI) dapat tereduksi secara efektif dengan menggunakan sejumlah asam oksalat dan katalis Fe



Gambar 5 Proses fotoreduksi didalam reaktor

Untuk mengamati pengaruh waktu penyinaran dilakukan proses penyinaran selama 10; 20; 30; 40; 50; 60 dan 120 menit dengan penambahan asam oksalat 30 mg dan katalis 2 mL. Hasil penelitian disajikan pada gambar 6.

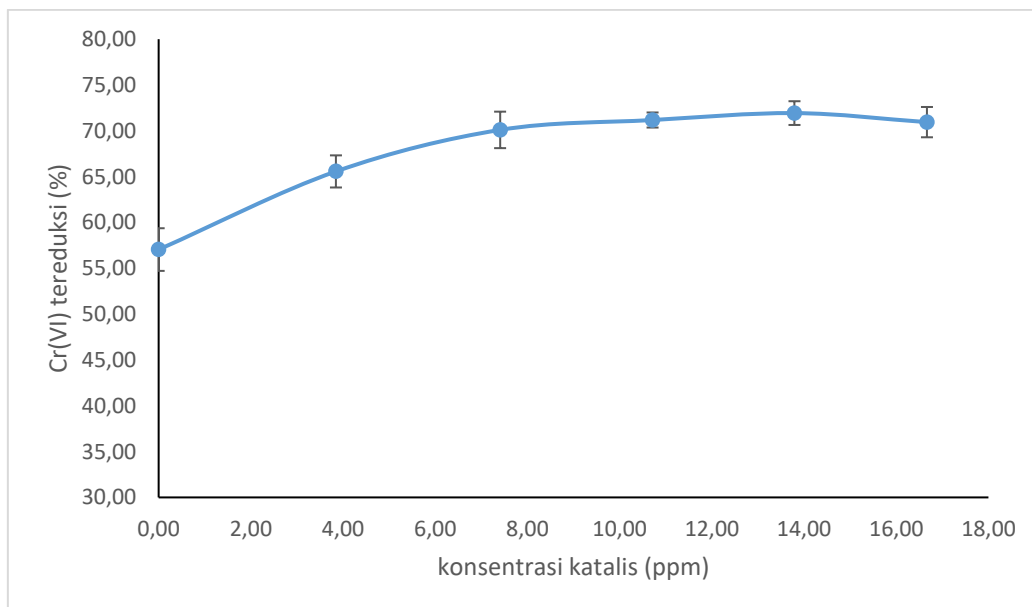


Gambar 6. Pengaruh waktu terhadap efisiensi reduksi Cr(VI)

Gambar 6 diatas terlihat bahwa hubungan antara waktu reduksi (menit) dengan Cr(VI) yang tereduksi, dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama waktu reduksi didalam reaktor maka Cr(VI) yang tereduksi juga semakin meningkat. Dengan waktu reduksi selama 120 menit dapat mereduksi Cr(VI) sebanyak 95%. Hal ini disebabkan semakin lama waktu reduksi senyawa kompleks Fe(III)-oksalat mengalami reaksi fotolisis dengan adanya sinar sehingga membentuk Fe(II) dan radikal karboksil dengan maksimal, maka Cr(VI) yang tereduksi semakin meningkat. Fe(II) dan radikal karboksil itulah yang berperan mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III).

3.3. Pengaruh Variasi konsentrasi katalis Fe(III) Terhadap Efektivitas Fotoreduksi Cr(VI)

Dalam penelitian ini variasi penambahan konsentrasi katalis sangat berperan penting pada proses reduksi. Hal ini dibuktikan pada hasil penelitian proses reduksi Cr(VI) secara fotokatalitik, dengan variasi konsentrasi 0; 3,8; 7,4; 10,7; 13,7; 16,8 mg/L penambahan asam oksalat 0,03 mg, dan proses reduksi selama 120 menit. Hasil penelitian bisa dilihat pada dibawah ini

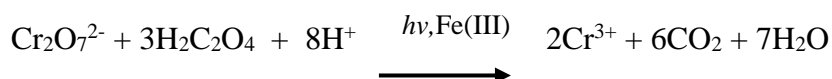
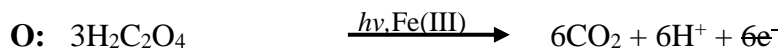
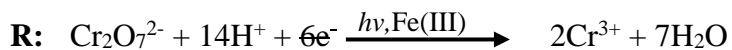
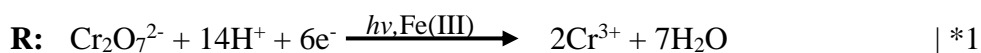


Gambar 7. Pengaruh konsentrasi katalis terhadap efisiensi reduksi Cr(VI)

Pada Gambar 7 terlihat pengaruh jumlah katalis terhadap efisiensi reduksi Cr(VI). Saat penggunaan katalis dengan konsentrasi 0 mg/L terdapat efisiensi Cr tereduksi yaitu sebesar 57,04%, karena asam oksalat sendiri merupakan agen pereduksi, jadi meskipun belum ada penambahan katalis Cr(VI) dapat tereduksi meskipun hasilnya belum terlalu maksimal. Disini katalis berperan untuk mempercepat proses reduksi Cr(VI).

Dengan penambahan konsentrasi katalis sebanyak 7,4 mg/L jumlah Cr(VI) yang tereduksi mengalami kenaikan yang signifikan yaitu 65,74%. Ketika penambahan katalis semakin banyak hasil yang tereduksi juga semakin banyak. Ini dibuktikan saat penambahan katalis Fe(III) 13,7 mg/L Cr(VI) dapat tereduksi sebanyak 71,94%. Tetapi saat penambahan katalis mencapai 16,7 mg/L jumlah Cr(VI) yang tereduksi mengalami penurunan menjadi 70,95%, menunjukkan bahwa katalis berfungsi untuk mempercepat proses reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III).

Adapun reaksi reaksi yang terjadi seperti dibawah ini:



Semakin banyak jumlah katalis, radikal bebas yang terbentuk semakin banyak maka Fe(III) yang tereduksi menjadi Fe(II) juga banyak, sehingga jumlah Cr(VI) yang tereduksi semakin efisien. Namun untuk penambahan katalis diatas 13,7 mg/L, penambahan katalis tidak lagi menaikkan efisiensi reduksi yang signifikan.

Hal ini dibuktikan dengan perbandingan mol dimana, Fe(III) sebagai katalis fotoreduksi membentuk senyawa kompleks dengan asam oksalat. Jika kompleks yang terbentuk adalah 1:1 maka semakin tinggi konsentrasi katalis rasio mol asam oksalat : mol Fe(III) semakin rendah sehingga mengakibatkan kemampuan reduksi menjadi rendah. Rasio mol asam oksalat : mol

Fe(III) ketika konsentrasi katalis Fe(III) 13,7 mg/L adalah 1 : 1,2 sementara rasionya menjadi 1 : 1,01 jika konsentrasi katalis 16,6 mg/L.

4. Conclusion

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Karakteristik asam oksalat dari serbuk tongkol jagung dilakukan uji FTIR gugus O-H, gugus C=O dan gugus C - O. Sedangkan hasil uji titik leleh asam oksalat dari tongkol jagung yaitu $T = 106 - 107^{\circ}\text{C}$.
2. Kondisi setimbang untuk mereduksi Cr(VI) yaitu pada waktu kontak optimum 120 menit.
3. Penggunaan katalis dapat mereduksi ion logam Cr(VI) dengan konsentrasi katalis 13,7 mg/L Cr(VI) yang tereduksi sebanyak 71,94%.

References

- Afriandi, Akbar, F. and Amri, I. (2015) 'Studi Kajian Pembuatan Asam Oksalat dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Lama Waktu Pengadukan dari Bahan Dasar Ampas Tebu', 3(1), pp. 1-7.
- Anam, C., Sirojudin dan Firdausi, K (2007) 'Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi Ftir', Berkala Fisika, 10(2), pp. 79-85-85.
- Anindyawati, T. (2010) 'Potensi Selulase Dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik', Berita Selulosa, 45(2), pp. 70-77.
- Coniwanti, P. Oktarisky dan Rangga. W (2008) 'Bahan Baku Pembuatan Asam Oksalat Dengan Reaksi Oksidasi Asam Nitrat', 15(4).
- Febrianty, Irma. R. (2016) 'Perbandingan Metode Hidrolisis Asam Dan Basa Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Asam Oksalat', JKK, 5(4), pp. 22-28
- Feng, X., Ding, S. and Zhang, L. (2012) 'Photocatalytic reduction of hexavalent chromium induced by photolysis of ferric/tartrate complex', Bulletin of the Korean Chemical Society, 33(11), pp. 3691-3695.
- Fitriani, Rauf, F., Vonieta I., Syahril, R. M., (2018) 'Sellulosa , Hemisellulosa , and Lignin Content of Complete Feed Based Corn Cob Substituted Azolla pinnata at Different Levels', 7(3), pp. 220-228.
- Gusnedi, R. (2013) 'Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat', Pillar of Physics, 2, pp. 76-83.
- Haryani, K., Hargono, H. and Budiayati, S. (2011) 'Pembuatan Khitosan Dari Kulit Udang Untuk Mengadsorpsi Logam Krom (Cr^{6+}) Dan Tembaga (Cu)', Reaktor, 11(2), p. 86. doi: 10.14710/reaktor.11.2.86-90.
- Hidayati M., Endang T. (2008) Perbedaan Degradasi Ion Cr(VI) Dengan Penyinaran UV Dan Tanpa Penyinaran UV, 01(01), pp, 21-28.
- Hug, S. J., Laubscher, H. U. and James, B. R. (1997) 'Iron(III) catalyzed photochemical reduction of chromium(VI) by oxalate and citrate in aqueous solutions', Environmental Science and Technology, 31(1), pp. 160-170.
- Irawan, R. M. B. and Nurcholis, L. (2016) 'Pemanfaatan Logam Transisi Tembaga dan Nikel Sebagai Bahan Katalis Untuk Mereduksi Emisi Gas Karbon Monoksida Kendaraan Bermotor', Simposium Nasional Teknologi Terapan, 4(10), pp. 458-468.
- Lei W., Changbo Z., Feng W. & Nansheng D., (2006) 'Photoproduction and determination of hydroxyl radicals in aqueous solutions of Fe (III)- tartrate complexes: a quantitative assessment', 59(07), pp. 803-813.

- Linsebigler, A. L., Lu, G. and Yates, J. T. (1995) 'Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results', *Chemical Reviews*, 95(3), pp. 735–758.
- Melwita, E. and Kurniadi, E. (2014) 'Pengaruh waktu hidrolisis dan konsentrasi H₂SO₄ pada pembuatan asam oksalat dari tongkol jagung', *Teknik Kimia*, 20(2), pp. 55–63.
- Testa, J. J., Grela, M. A. and Litter, M. I. (2004) 'Heterogeneous Photocatalytic Reduction of Chromium(VI) over TiO₂ Particles in the Presence of Oxalate: Involvement of Cr(V) Species', *Environmental Science and Technology*, 38(5), pp. 1589–1594.
- Triyati, E. (1985) 'Spektrofotometri Ultra-Violet dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya dalam Oseanologi', *Jurnal Oseana*, X(1), pp. 39–47.
- Wahyudi, H., Zaharah, T. and Wahyudi, N. (2013) 'Ekstraksi Mangan Dengan Proses Leaching Asam Sulfat Menggunakan Tandan Kosong Sawit Sebagai Reduktor', 2(1), pp. 34–37.
- Wang, N., Zhu, L., Deng, K., She, Y., Yu, Y., and Tang, H. (2010) 'Visible light photocatalytic reduction of Cr(VI) on TiO₂ in situ modified with small molecular weight organic acids', *Applied Catalysis B: Environmental*. Elsevier B.V., 95(3–4), pp. 400–407.
- Ye, Y., Congcong C., Hui F., Jin Z., Juanjuan M., Jianrong C., Junhua Y, Lichun K., Zhaosheng Q. (2013) 'Visible photoluminescence of polyoxoniobates in aqueous solution and their high electrocatalytic activities for water oxidation', *Open Journal of Inorganic Chemistry*, 03(03), pp. 59–69.
- Zhu, F. X. and Qi, W. F. (2007) 'Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation', *Dianzi Yu Xinxu Xuebao/Journal of Electronics and Information*, 107, pp 263-83.