

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Pada dasarnya limbah merupakan buangan sisa dari proses produksi, baik hasil produksi industri maupun domestik (rumah tangga). Dimana masyarakat bermukim maka terdapat pula limbah, dan dengan adanya kebutuhan produk dari pemukiman masyarakat ataupun kebutuhan masyarakat maka Akan ada produksi produk yang menghasilkan limbah pula. Limbah memiliki berbagai bentuk, dapat berupa padat, cair, dan dalam bentuk gas. Limbah padat lebih dikenal dengan istilah sampah, merupakan limbah yang paling banyak tidak dikehendaki dan memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, tidak memiliki nilai ekonomis dan membutuhkan lahan pembuangan yang semakin waktu semakin besar. Limbah cair walaupun tidak membutuhkan lahan pembuangan namun bila tidak diproses terlebih dahulu dapat mencemari tanah dan lingkungan, dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengkontaminasinya. Limbah gas, sama halnya dengan limbah padat maupun cair bila tidak diproses dan ditangani, sebelum dibuang maka dapat menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan seperti kerusakan pada *ozone*, dan peningkatan gas rumah kaca, juga dapat merusak kesehatan manusia dan makhluk hidup disekitarnya (Waluyo, 2010).

Limbah dapat diklasifikasikan juga berdasarkan komponen kimianya, terdapat limbah organik dan limbah anorganik. Perbedaan antara kedua jenis limbah ini adalah limbah organik tersusun atas komponen organik, yang berarti berasal dari makhluk hidup seperti tanaman, dan hewan. Limbah ini juga dapat terurai secara alami dengan waktu yang singkat tidak seperti limbah anorganik yang membutuhkan waktu yang jauh lebih lama. Sedangkan limbah anorganik merupakan limbah yang berasal dari segala hal yang dibuat atau tidak hidup, seperti segala macam polimer, logam, keramik, dan lainnya (Abdurrahman, U. 2006).

2.1.1 Limbah Industri

Seperti yang diketahui dalam pengklasifikasian limbah, limbah dapat dibagi berdasarkan sumber nya, yaitu limbah domestik yang berasal dari limbah rumah tangga manusia dan limbah industri yang merupakan limbah buangan hasil dari segala aktivitas produksi industri.

Limbah industri juga memiliki definisi segala limbah atau sisa buangan yang dihasilkan dari aktivitas industri, yang didalamnya termasuk segala material yang tidak dapat digunakan dan tidak memiliki nilai guna dan ekonomi akibat aktivitas produksi industri. Limbah ini dapat memiliki bentuk padat, semi-solid, cair maupun gas. Limbah ini dapat berupa limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), ataupun tidak. Limbah industri umumnya dapat berupa besi bekas, pelarut, minyak, bahan kimia, kayu bekas, besi bekas, bahkan sisa buangan organik seperti sayuran dan sisa makanan.

Limbah yang ditelaah dalam penelitian kali ini adalah limbah pigmen dari industri tekstil, atau dapat dibilang limbah tinta pewarna pakaian. Limbah pigmen tekstil ini jika dibuang ke badan air maka dapat menyebabkan penurunan kualitas estetik badan air, meningkatkan kadar biokimia, dan peningkatan nilai COD dan BOD, menghalangi kemampuan fotosintesis makhluk hidup pada badan air (Lellis et al., 2019).

2.2 Magnetite (Fe_3O_4)

Magnetite (Fe_3O_4) merupakan senyawa oksida besi yang memiliki banyak potensi dalam penggunaannya pada berbagai bidang. Besi oksida ini memiliki sifat magnetisme, optikal, dan katalis. Senyawa ini sudah diaplikasikan secara luas untuk berbagai aplikasi seperti sistem penghantaran obat (Dobson, J. et al., 2006), *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) (Haw, C., 2010), pemurnian air (Lakshmanan, R., 2013), dan terapi Hyperthermia (Thiesen, B., Jordan, A., 2008). Senyawa ini juga sudah banyak dilakukan studi karena memiliki sifat yang unik dalam ukuran nano untuk proses yang berhubungan dengan lingkungan. sifat-sifat unik yang dimiliki oleh senyawa ini selain bersifat magnetik (superparamagnetik), juga memiliki area permukaan yang luas.

Nanopartikel Fe_3O_4 memiliki reaksi pembentukan dengan elektrodeposisi dalam tiga tahapan, tahapan pertaman dalam reaksi yang terjadi adalah elektrolisis dari air atau H_2O (1)(2), kemudian reaksi pembentukan besi oksida $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ (3), terakhir adalah elektrolisis / reduksi besi oksida menjadi magnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$) pada katoda (4). Ketiga tahapan elektrolisis dan reaksi yang terjadi dalam sintesis Fe_3O_4 memiliki mekanisme reaksi sebagai berikut (Cabrera, 2008):

Elektrolisis air (H_2O)

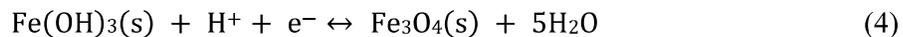


(23.9: Electrolysis of Water, 2016)

Pembentukan Besi Oksida



Reduksi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ menjadi Fe_3O_4 pada katoda



2.3 Nano Partikel

Nano partikel, merupakan partikel yang sangat kecil dengan jangkauan ukuran yang diterima secara umum dari 1 nm (nanometer) sampai dengan 100 nm, nanopartikel sangatlah kecil sehingga nanopartikel tak kasat mata dan memerlukan bantuan mikroskop untuk melihat wujudnya. Mengutip definisi dari European Commission untuk masuk dalam kategorisasi sebagai nanopartikel, 0.15% dari distribusi total partikel harus memiliki ukuran dibawah 100 nm, dan memiliki batas atas maksimal 1000 nm (European Commission, 2010). Kebanyakan nanopartikel ini hanya tersusun dari ratusan atom saja.

Tabel 2.1 Perbandingan Ukuran Partikel

Type Partikel	Jangkauan Ukuran Diameter
Atom dan Molekul Kecil	0.1 nm
Nano Partikel	1 nm sampai dengan 100 nm
Partikel Halus (<i>Particulate Matter</i> PM _{2,5})	100 nm sampai dengan 2,500 nm
Partikel Kasar (<i>Coarse Particle</i> -PM ₁₀)	2500 nm sampai dengan 10,000 nm
Ketebalan Kertas	100,000 nm

Sumber: *Nanoparticle, Britannica*

Sifat dari material akan berubah saat ukuran material mendekati skala atomik. Perubahan ini terjadi akibat peningkatan rasio permukaan area dan volume, yang mengakibatkan atom permukaan material mendominasi performa material. Contoh dari fenomena perubahan sifat material ini adalah tembaga yang merupakan logam yang terbilang lunak saat susunan atom tembaga berukuran 50 nm, namun nanopartikel tembaga dengan ukuran > 50 nm akan menjadi lebih keras, dan memiliki performa kekuatan *ductile* dan maleabilitas yang berbeda. (*Nanoparticle | Definition, Size Range, & Applications | Britannica, n.d.*).

2.3.1 Aplikasi Nano Partikel

Nano partikel memiliki potensi besar dalam pengaplikasiannya di banyak bidang, karena dengan ukurannya yang sangat kecil, partikel ini dapat membuka akses baru kepada hal yang awalnya tidak memungkinkan akibat kemampuan manusia untuk menciptakan sesuatu yang sangat kecil. Dalam bidang kimia sendiri, dengan adanya teknologi nano partikel. maka reaksi yang diinginkan dapat terjadi dengan kecepatan reaksi yang tinggi karena rasio area permukaan yang sangat besar (Khan, I. *et al.* 2019).

2.4 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan salah satu cabang ilmu kimia yang mempelajari mengenai perpindahan elektron yang terjadi pada media penghantar listrik (elektroda). Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi terjadi peristiwa pelepasan elektron terhadap media penghantar pada sel elektrokimia (Harahap, M.R. 2016).

Prinsip dasar reaksi pada elektrokimia adalah reaksi reduksi oksidasi (redoks) dan reaksi tersebut terjadi pada suatu sistem sel elektrokimia. Ada dua jenis sel elektrokimia yaitu Galvanis dan sel elektrolisis.

- a. Sel Galvani merupakan suatu sel yang dapat membebaskan energi listrik dari reaksi kimia, dan berlangsung secara spontan. Contoh dari Sel Galvani ini adalah: reaksi korosi. Katoda pada sel Galvani memiliki fungsi sebagai penghantar listrik dari sel sehingga memiliki kutub positif. Aliran elektron pada sel galvani mengalir dari elektroda negatif menuju elektroda positif dengan melewati media elektrolit, yang dimana berperan sebagai penghantar arus listrik, sehingga reaksi yang terjadi pada sel galvani adalah reaksi spontan (Mancy, K. H., et. al 1962).
- b. Sel Elektrolit adalah suatu sel yang reaksinya terjadi akibat listrik searah yang melewati elektroda dan elektrolit. Contohnya elektrolisis air, elektroplating. Pada sel elektrolisis elektroda yang berfungsi penghantar listrik adalah anoda sehingga terjadi suatu pelarutan material anoda menghasilkan kation logam (M^+).

Pada sel elektrokimia dilengkapi dengan dua elektroda:

- a. Anoda (reaksi oksidasi) Anoda adalah elektroda tempat terjadi reaksi oksidasi yang ditandai dengan pelepasan elektron. Misalnya $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$
- b. Katoda (reaksi reduksi) Katoda adalah suatu elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, yang ditandai dengan penangkapan elektron. Misalnya $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$

2.5 Sel Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Dalam sel volta / galvani, reaksi oksidasi reduksi berlangsung dengan spontan, dan energi kimia yang menyertai reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari sel volta atau galvani yang potensial selnya negatif.

Sel Elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks yang diinginkan dan digunakan secara luas di dalam masyarakat kita. Baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Baterai aki yang sedang diisi kembali (*recharge*) mengubah energi listrik yang diberikan menjadi produk berwujud kimia yang diinginkan.

Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta. Yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah, pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber listrik. Larutan atau lelehan yang ingin dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam larutan maupun lelehan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah: Penggunaan katalisator. Katalisator Misalnya H_2SO_4 dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH^- yang lebih mudah dielektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Luas permukaan yang tercelup Semakin banyak luas yang menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer

elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan elektron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit (Ni, M. 2010).

Sifat logam bahan elektroda Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai rasio rapat arus terhadap kuat medan listrik.

Konsentrasi Pereaksi Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan persentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap persentase katalis dengan transfer (Rieger, P.H. 1993).

2.6 Reaksi Reduksi-Oksidasi (Redoks)

Konsep dan materi dari ilmu Reaksi-Reduksi atau sering disebut sebagai reaksi redoks merupakan salah satu ilmu yang ada di dalam bidang keilmuan elektrokimia, dengan memperhatikan tabel berikut, peristiwa reaksi reduksi dan oksidasi dapat dipahami konsep dan pengertiannya.

Tabel 2.2 Pengertian Reaksi Reduksi Oksidasi

No	Reduksi	Oksidasi
1	Reduksi adalah pelepasan oksigen dari unsur atau senyawa. Contoh. $2\text{HgO} \longrightarrow 2\text{Hg} + \text{O}_2$	Oksidasi adalah pengikatan oksigen dengan unsur atau senyawa. Contoh. $4\text{NH}_3 + 7\text{O}_2 \longrightarrow 4\text{NO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
2	Reduksi adalah peristiwa pengikatan elektron. Contoh. $\text{Cl}_2 + 2\text{e} \longrightarrow 2\text{Cl}^-$	Oksidasi adalah peristiwa pelepasan elektron. Contoh. $\text{Ca} \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{e}$
3	Reduksi adalah peristiwa penurunan bilangan oksidasi.	Oksidasi adalah peristiwa kenaikan bilangan oksidasi.

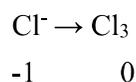
Bilangan oksidasi atau biasa disebut juga sebagai biloks, merupakan suatu bilangan bulat yang digunakan dalam perhitungan perpindahan elektron dimana terjadi pengurangan maupun penambahan elektron pada suatu unsur, atau senyawa. Perubahan bilangan oksidasi merupakan salah satu petunjuk yang menandakan adanya perubahan posisi elektron atom. Berikut terdapat contoh dari reaksi redoks berdasarkan bilangan oksidasi.



Reaksi diatas merupakan reaksi yang melibatkan senyawa kovalen berupa HCl sehingga perpindahan elektron tidak mudah diketahui secara langsung, oleh karena itu digunakan perhitungan biloks untuk mengetahui reaksi oksidasi dan reduksi nya.

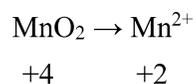
Reaksi Oksidasi:

Pada reaksi oksidasi terjadi penambahan bilangan oksidasi unsurnya



Reaksi Reduksi:

Pada reaksi reduksi terjadi pengurangan bilangan oksidasi unsurnya



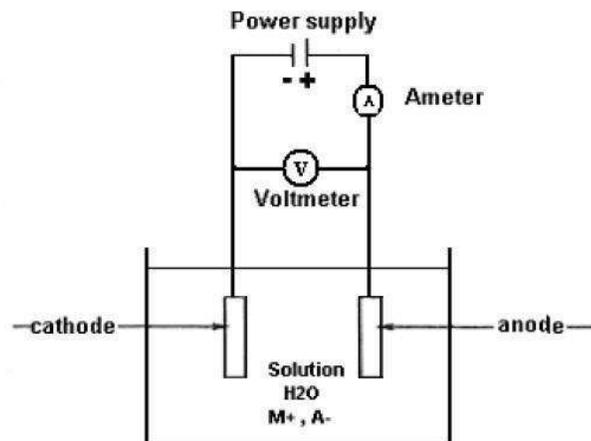
Pada contoh reaksi redoks diatas dapat diketahui bahwa unsur atau senyawa yang teroksidasi adalah klor yang ditunjukkan dengan kenaikan bilangan oksidasi dari -1 menjadi 0, dan yang tereduksi adalah mangan dari +4 menjadi 2+, sehingga klor dalam reaksi redoks tersebut merupakan reduktor dan mangan sebagai oksidator pada reaksi.

Umumnya nilai dari bilangan oksidasi suatu unsur sesuai dengan muatan ion dari unsur tersebut, jika unsur tersebut bersifat elektropositif maka bilangan oksidasinya adalah positif, unsur elektropositif juga umumnya merupakan reduktor yang kuat seperti logam alkali dan alkali tanah, sebaliknya jika unsur tersebut bersifat elektronegatif maka bilangan oksidasinya adalah negatif, unsur elektronegatif juga umumnya merupakan oksidator yang baik. (Astutik et al., 2017)

2.7 Elektrodeposisi

Elektrodeposisi atau juga dikenal sebagai deposisi elektrokimia, adalah proses penumbuhan lapisan film yang terdiri atas pelapis logam pada material dasar (substrat) yang terjadi melalui reduksi elektrokimia dari ion logam yang berasal dari larutan elektrolit untuk mencapai berbagai tujuan seperti untuk tahanan elektrik dan karat yang diinginkan, mengurangi aus dan gesekan, meningkatkan toleransi terhadap panas dan untuk dekorasi. Istilah lain dari elektrodeposisi yang lebih umum adalah *electroplating* (Al-Bat'hi, 2015).

Elektrolit yang digunakan dalam proses ini merupakan larutan konduktor ionik karena mengandung ion positif dan negatif. Tahap awal yang perlu dilakukan adalah menyiapkan spesies cair dari logam yang diinginkan, dengan melarutkan garam logam. Kemudian katoda (elektroda kerja) dimasukkan ke dalam wadah (sel), bersamaan dengan anoda (elektroda lawan). Agar arus listrik dapat mengalir dalam sirkuit, maka kedua elektroda dihubungkan dengan sumber listrik, katoda kutub negatif dan anoda kutub positif dari sumber listrik, agar pada saat elektrolisis terjadi ion logam pada larutan dapat tereduksi menjadi atom logam, yang kemudian akan membentuk endapan atau deposit pada permukaan batang katoda.



Gambar 2. 1 Skema teknik deposisi elektrokimia

Pada gambar 2.1 menunjukkan skema dari sel elektrolitik untuk elektrodeposisi logam “M” dari larutan garam logam “MA”. Pada jenis penyusunan sel seperti ini, elektron langsung dialiri dari sumber listrik kepada katoda. Dalam larutan arus listrik dibawa oleh ion bermuatan positif kepada katoda yang bermuatan negatif, sehingga ion logam yang berada pada larutan akan bergerak menuju sumber elektron lebih yang berada pada permukaan atau dekat permukaan katoda. Kemudian ion logam akan tereduksi dan mengendap pada permukaan katoda (Guangwei S, et al., 2009).



Ketebalan dari lapisan logam yang terdeposit pada katoda ditentukan oleh durasi, dan arus dari proses elektrolisis sesuai dengan hukum Faraday, semakin lama maka endapan atau deposit logam pada katoda akan semakin tebal.

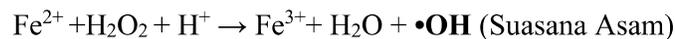
2.8 Reaksi Fenton

Reaksi Fenton sendiri dasarnya dikemukakan pertama kali oleh Henry J. Fenton pada akhir abad ke-19 (Fenton, 1894). yang sekarang telah menjadi salah satu perkembangan paling penting dalam “proses oksidasi lanjutan” atau AOP (*Advanced Oxidation Process*). Berbagai macam teknologi telah dilakukan studi dan diaplikasikan untuk *treatment* air, terutama dalam perihal degradasi polutan organik beracun (Wang and Zhuang, 2017, 2019).

Reaksi Fenton dapat terjadi dalam fasa tunggal ataupun fasa ganda, dimana reaksi fenton ini dapat diklasifikasikan sebagai proses reaksi fenton homogen atau proses reaksi fenton heterogen.

2.8.1 Reaksi Fenton Homogen

Proses reaksi umum Fenton adalah didasari interaksi antara besi ferrous (Fe^{2+}) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang merupakan definisi dari proses reaksi Fenton homogen (Haber dan Weiss, 1934). Haber dan Weiss Percaya bahwa perpaduan campuran antara Fe^{2+} dan H_2O_2 (yang juga umumnya diketahui sebagai reagen Fenton) pada media asam dapat memicu proses dekomposisi H_2O_2 untuk membentuk hidroksil radikal $\bullet\text{OH}$, $E^0 (\bullet\text{OH}/\text{H}_2\text{O}) = + 2.8 \text{ v}$ yang sangat reaktif, dan non-spesifik.



Dimana hidroksil radikal ini mampu mendekomposisi kontaminan organik *recalcitrant* menjadi senyawa yang dapat terurai secara alami atau biodegradable atau bahkan konversi langsung menjadi produk non-toxic, seperti CO_2 , air dan garam anorganik (Haber and Weiss, 1934; Pignatello et al., 2006; Brillas et al., 2009). Dengan menggunakan Reaksi Fenton umum, fasa tunggal, batasan dari perpindahan massa dapat diabaikan sehingga pusat aktif yang dapat diakses dapat berinteraksi dengan reaktan dan media reaksi, yang menyebabkan degradasi cepat dari kontaminan. Namun kemampuan reaksi Fenton masih tetapterbatas kondisi operasi pH yang asam (pH 2-4), konsumsi garam ferrous yang besardan H_2O_2 , dan ampas *sludge* dengan kandungan besi pada tahap koagulasi (Wang and Xu, 2012; Bokare et al., 2014).

2.8.2 Reaksi Fenton Heterogen

Pada proses reaksi Fenton heterogen, katalis padat yang digunakan umumnya bersifat non-korosif dan tidak terlalu bergantung pada pH, sehingga proses reaksi ini dapat mengaktivasi H_2O_2 secara efisien untuk menghasilkan

hidroksil radikal $\bullet\text{OH}$ pada kondisi operasi pH yang lebih luas (Chen and Zhu, 2006). Karena pelarutan ion logam dari katalis yang terbatas, sehingga jumlah *sludge* yang dihasilkan jadi dapat diabaikan dan menghilangkan kebutuhan pasca proses (Navalon et al., 2010a). Proses reaksi Fenton terjadi pada permukaan atau bawah permukaan (*sub-surface*) katalis nya maka jumlah situs aktif reaksi akan menjadi terbatas, dan aksesibilitas katalis terhadap reaktan menjadi hal yang sangat penting.

2.8.3 Katalis

Dari berbagai katalis yang telah diketahui selama ini seperti Al, Mn, Ag, Au, Ru dan lainnya,, katalis berbasis Fe untuk reaksi Fenton merupakan pilihan katalis yang paling umum digunakan karena biokompatibilitasnya yang bagus, tingkat racun yang cukup rendah, ketersediaan material yang banyak, dan tersedia secara masif pada lapisan kulit bumi (Zheng et al., 2014). Salah satu faktor penting yang membuat katalis berbasis Fe sangat umum digunakan juga adalah karena pertimbangan ekonomi, semenjak harga Fe atau besi sangatlah rendah diantara logam transisi lainnya, dan katalis Fe dapat disintesis dengan mudah menggunakan berbagai cara yang praktis (Wang and Bai, 2017).

2.8.4 Elektro-Fenton

Teknologi elektrofenton merupakan teknologi yang didasari elektro-generasi secara kontinyu dari H_2O_2 pada katoda yang sesuai dengan masukan / kandungan O_2 atau udara.



Dengan penambahan katalis Fe^{2+} pada larutan yang *ditreatment* untuk menghasilkan hidroksil radikal bebas $\bullet\text{OH}$ yang terbentuk pada anoda. Pada proses elektrofenton, ion Fe dapat di reduksi secara katodik menjadi Fe^{2+} , melalui reaksi berikut yang diketahui sebagai reaksi katalisis elektrokimia.

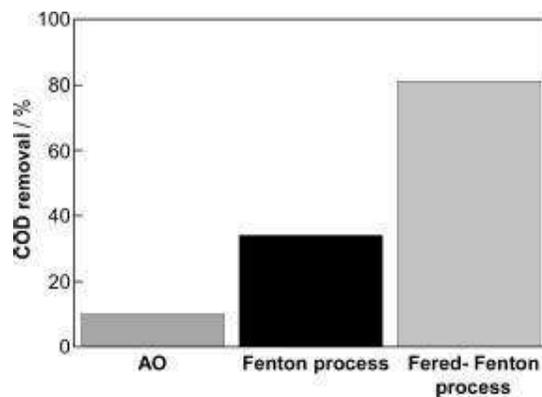


(Chemistry 112, University Of Rhode Island).

Dengan regenerasi Fe^{2+} yang cepat akibat reaksi katalisis elektrokimia maka produksi hidroksil radikal bebas akan lebih cepat. Hal ini mempercepat proses dekontaminasi larutan organik.

Dengan menganalisa potensial reduksi antara elektrolisis elektrogenesis dari hidrogen peroksida atau H_2O_2 dan regenerasi Fe^{2+} , dapat diketahui proses elektrolisis reduksi dari Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} lebih dominan dibandingkan dengan proses elektrogenesis hidrogen peroksida, dengan keduanya memiliki nilai potensial reduksi yang positif.

Dilakukan perbandingan metode AOP, Fenton dan juga menggunakan metode Fered-Fenton, dimana dilakukan penambahan H_2O_2 dan Fe^{2+} secara bersamaan ke dalam sel elektrolisis, dapat diilustrasikan perbandingannya dengan gambar 2.2 yang menunjukkan perbandingan *removal COD* proses Fered-Fenton, Proses Fenton dan AO (Advanced Oxidation) (Brillas et al., 2009).



Gambar 2.2 Presentase pembuangan COD setelah 75 menit treatment 200ml larutan pembuangan ($\text{COD}_0=500\text{mg/L}$) dengan metode AO, Fenton dan Fered-Fenton (Brillas, 2009)