

**PEMBUATAN NANO PARTIKEL MAGNETITE (Fe_3O_4) UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH PIGMEN TEKSTIL DENGAN METODE
ELEKTROFENTON**



Disusun oleh :

MOCHAMAD ADITYA WIBISANA 3335190052

MUHAMMAD RAJA NAJAHTAMA 3335190086

**JURUSAN TEKNIK KIMIA – FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2023

LAPORAN PENELITIAN

PEMBUATAN NANO PARTIKEL MAGNETITE (Fe_3O_4) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH PIGMEN TEKSTIL DENGAN METODE ELEKTROFENTON

Diajukan Oleh:

Mochamad Aditya Wibisana 3335190052

Muhammad Raja Najahtama 3335190086

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing dan telah dipertahankan di hadapan Tim

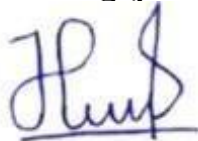
Penguji

Dosen Pembimbing



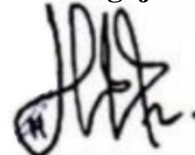
Dr. Widya Ernavati K., S.Si., M. SiNIP.
197910132009122001

Dosen Penguji I



Dr. Javanudin, S.T., M.Eng.
NIP. 197808112005011003

Dosen Penguji II



Heravati, S.Si., M.Si
NIP. 201912022149

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Javanudin, S.T., M.Eng.
NIP. 197808112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : MUHAMMAD RAJA NAJAHTAMA

NIM : 3335190086

JURUSAN : TEKNIK KIMIA

JUDUL : PEMBUATAN NANO PARTIKEL MAGNETITE
(Fe₃O₄) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH PIGMEN
TEKSTIL DENGAN METODE ELEKTROFENTON

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 27 Mei 2024



Muhammad Raja Najahtama

ABSTRAK**PEMBUATAN NANO PARTIKEL MAGNETITE (Fe₃O₄) UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH PIGMEN TEKSTIL DENGAN METODE
ELEKTROFENTON**

Oleh:

Mochamad Aditya Wibisana 3335190052

Muhammad Raja Najahtama 3335190086

Electro-Fenton technology holds promising potential as an alternative technology for efficient and effective wastewater treatment. Electro-Fenton utilizes the principle of electrochemistry involving cathodic reduction. In this research, the treatment of textile pigment wastewater will employ the Electro-Fenton technique. The catalyst used in this study is magnetite nanoparticles (Fe₃O₄). Magnetite nanoparticles are synthesized through the electrodeposition process, where the cathode is carbon felt in a solution of iron (II) sulfate (FeSO₄) and iron (III) nitrate Fe(NO₃)₃ with variations in current, electrode position, and time. This study has two objectives: to synthesize Fe₃O₄ (magnetite) nanoparticles using the electrodeposition method and to use magnetite nanoparticle catalysts in the Electro-Fenton process for textile pigment wastewater and determine the efficiency of wastewater treatment. The results obtained from the synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles using the electrodeposition method showed that the mass deposit of Fe₃O₄ consisted of nanoparticles, with a particle size distribution of 27% of the sample measurements having a particle diameter size of < 100 nm, and the remaining 73% having a size distribution between 107.4 nm and 201.3 nm. In the degradation of Methyl Orange solution using Electro-Fenton catalyzed by Fe₃O₄, the highest efficiency and effectiveness were achieved with carbon felt electrodeposited at a current of 0.3 A for 30 minutes, resulting in a 74.8946% degradation of the MO textile pigment wastewater solution.

Keywords: textile pigment wastewater, electrodeposition, Electro-Fenton, magnetite nanoparticles.

ABSTRAK**PEMBUATAN NANO PARTIKEL MAGNETITE (Fe₃O₄) UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH PIGMEN TEKSTIL DENGAN METODE
ELEKTROFENTON**

Oleh:

Mochamad Aditya Wibisana 3335190052

Muhammad Raja Najahtama 3335190086

Teknologi elektrofenton memiliki peluang yang menjanjikan sebagai teknologi alternatif dalam pengolahan limbah yang efektif dan efisien. Elektrofenton menggunakan prinsip elektrokimia yang melibatkan reduksi katodik, dalam penelitian ini, pengolahan limbah pigmen tekstil akan menggunakan teknik elektrofenton. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah nanopartikel magnetit (Fe₃O₄). Nanopartikel magnetit disintesis melalui proses electrodeposition dimana katoda berupa karbon felt dalam larutan prekursor besi (II) sulfat (FeSO₄) dan besi (III) nitrat Fe(NO₃)₃ dengan variasi arus, variasi posisi elektroda, dan variasi waktu. Pada penelitian ini terdapat 2 tujuan yaitu mensintesis nanopartikel Fe₃O₄ (magnetit) dengan metode electrodeposisi dan menggunakan katalis nanopartikel magnetit dalam proses elektro-fenton terhadap limbah pigmen tekstil beserta mengetahui efisiensi pengolahan limbah. Hasil yang didapat pada sintesis nanopartikel Fe₃O₄ diketahui dengan menggunakan metode electrodeposisi, deposit massa Fe₃O₄ merupakan nanopartikel, dimana distribusi ukuran partikel yang didapat adalah 27% dari sampel pengukuran diameter partikel, memiliki ukuran < 100 nm, dan 73% lainnya memiliki tebaran ukuran antara 107,4 nm – 201,3 nm, dan pada penguraian atau degradasi warna larutan Methyl Orange dengan elektrofenton berkatalis Fe₃O₄ didapatkan nilai efisiensi dan efektivitas tertinggi dengan karbon felt yang telah dielektrodeposisi dengan arus 0,3 A selama 30 menit yaitu sebesar 74.8946% penguraian larutan limbah pigmen tekstil MO.

Kata kunci: limbah pigmen tekstil, electrodeposition, elektrofenton, nanopartikel magnetit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia beserta rahmat-Nya, sehingga dapat menyelesaikan proposal penelitian dengan judul “Pembuatan Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) untuk Pengolahan Limbah Pigmen Tekstil dengan Metode Elektrofenton”.

Penyusunan proposal penelitian ini merupakan bagian dari salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Universitas Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Kami selaku penyusun menyadari bahwa, tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari semasa awal perkuliahan hingga pada penyusunan proposal penelitian ini akan sangatlah sulit bagi kami untuk menyusun dan menyelesaikan proposal penelitian ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

- 1, Allah SWT, karena-Nya kami dimudahkan segala urusan untuk menyelesaikan proposal penelitian ini.
- 2, Orang tua yang tak henti-hentinya selalu mendoakan dan memotivasi untuk senantiasa bersemangat dan tak mengenal kata putus asa. Terima kasih atas segala dukungannya, baik secara material maupun spiritual hingga terselesaikannya proposal ini.
- 3, Sosok Orang tua yang senantiasa selalu mendoakan dan memotivasi kami untuk selalu berusaha, bersemangat dan berjuang tak mengenal kata putus asa.
- 4, Ibu Dr. Widya Ernayati K., S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Penelitian kami yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan kami dengan sebaik mungkin hingga Proposal Penelitian ini dapat terselesaikan.
- 5, Seluruh Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- 6, Teman-teman Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, angkatan 2019 yang telah banyak membantu kami dalam menyusun proposal penelitian hingga dapat terselesaikan.

7, Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan sehingga terselesaikannya proposal ini.

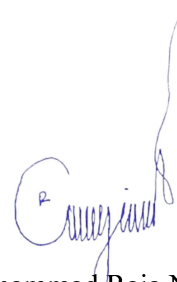
Kami menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan proposal penelitian ini. Besar harapan kami selaku penyusun akan saran dan kritik yang bersifat membangun dari seluruh pihak yang berkenan. Terakhir besar harapan Kami agar proposal ini dapat bermanfaat.

Cilegon, 12 Januari 2023.

Penulis,



Mochamad Aditya Wibisana.
NPM. 3335190052



Muhammad Raja Najahtama
NPM. 3335190086

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Limbah.....	5
2.1.1 Limbah Industri.....	6
2.2 <i>Magnetite</i> (Fe_3O_4).....	6
2.3 Nano Partikel.....	7
2.3.1 Aplikasi Nano Partikel.....	8
2.4 Elektrokimia.....	9
2.5 Sel Elektrolisis.....	10
2.6 Reaksi Reduksi-Oksidasi (Redoks).....	11
2.7 Elektrodeposisi.....	13
2.8 Reaksi Fenton.....	14
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Tahapan Penelitian.....	18
3.1.1 Preparasi Bahan Pendukung.....	18
3.1.2 Elektrodeposisi Nanopartikel Fe_3O_4	19
3.1.3 Proses Elektrofenton.....	21
3.2 Prosedur Penelitian.....	23
3.2.1 Preparasi Bahan Pendukung.....	23
3.2.2 Elektrodeposisi nanopartikel Fe_3O_4	23

3.2.3 Proses Elektro-Fenton Dengan Nanopartikel Fe ₃ O ₄	24
3.2.4 Karakterisasi.....	24
3.3.1 Bahan.....	25
3.3.2 Alat.....	25
3.3.3 Gambar alat.....	25
3.4 Variabel Percobaan.....	26
3.5 Metode pengumpulan data dan Analisa data.....	27
3.5.1 Penentuan Massa Teoritis Nanopartikel Fe ₃ O ₄ yang Terdeposit pada Permukaan Karbon Felt.....	27
3.5.2 .Penentuan Efisiensi Arus.....	27
3.5.3 Efisiensi Elektrofenton / Degradasi Limbah Pigmen.....	28
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Proses Elektodeposisi Nanopartikel.....	29
4.1.1 Pengaruh Arus Terhadap Massa Magnetit (Besi Oksida) Terdeposisi	29
4.1.2 Pengaruh Posisi Terhadap Massa Magnetit (Besi Oksida) Terdeposisi	33
4.2 Proses Elektrofenton	36
4.2.1 Pengaruh Arus Terhadap Efisiensi Elektrofenton.....	37
4.2.2 Pengaruh Posisi Terhadap Efisiensi Elektrofenton.....	38
4.2.3 Pengaruh waktu Terhadap Efisiensi Elektrofenton.....	40
4.3 Analisa Morfologi.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema teknik deposisi elektrokimia.....	14
Gambar 2.2 Presentase pembuangan COD setelah 75 menit treatment 200ml larutan pembuangan ($COD_0=500\text{mg/L}$) dengan metode AO, Fenton dan Fered-Fenton (Brillas, 2009).....	17
Gambar 3.1 Preparasi Bahan Pendukung.....	18
Gambar 3.2 Pembuatan Larutan Prekursor.....	19
Gambar 3.3 Proses Elektrodeposisi.....	20
Gambar 3.4 Pembuatan Larutan Sampel Limbah Dari Methyl Orange Dan Na_2SO_4	21
Gambar 3. 5 Proses Elektrofenton.....	22
Gambar 3.6 Karaterisasi SEM (Scanning Electron Microscope).....	22
Gambar 3.7 Skema Alat Sintesis Nanopartikel Magnetit.....	25
Gambar 3.8 Skema Alat Aplikasi Nanopartikel Pada Penguraian Limbah Pigmen Tekstil, Dengan Metode Elektro Fenton.....	26
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi.....	30
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Posisi Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi.....	33
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi.....	34
Gambar 4.4 Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna.....	37
Gambar 4.5 Pengaruh Posisi Elektroda pada Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna.....	38
Gambar 4.6 Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna.....	40
Gambar 4.7 Hasil Gambar Uji SEM (Scanning Electron Microscope) Magnetit Fe_3O_4 Terdeposisi (a) Perbesaran 10.000 X (b) Perbesaran 20.000 X (c) Perbesaran 30.000 X.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Ukuran Partikel.....	8
Tabel 2.2 Pengertian Reaksi Reduksi Oksidasi.....	12
Tabel 4.1 Perbandingan Pengaruh Arus Antara Logam Yang Terdeposisi Dalam Segi Praktik dan Teori.....	31
Tabel 4.2 Perbandingan Pengaruh Arus Antara Logam Yang Terdeposisi Dalam Segi Praktik dan Teori.....	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Limbah merupakan masalah dari setiap industri, dimana limbah bila tidak diproses atau ditangani sebelum dibuang dapat menyebabkan dampak yang sangat berbahaya terhadap lingkungan. Dengan dampak yang beragam juga tergantung jenis-jenis limbah yang berpaparan dengan ruang lingkungannya. Salah satu jenis limbah tersebut adalah Limbah B3 atau Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun atau sering disingkat dengan B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, membahayakan lingkungan hidup, kesehatan serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Definisi ini tercantum dalam Undang – Undang RI Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan peraturan – peraturan lain di bawahnya.

Jenis – jenis Bahan Berbahaya dan Beracun diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun. Peraturan ini selain mengatur tata laksana pengelolaan B3, juga mengklasifikasikan B3 dalam tiga kategori yaitu B3 yang dapat dipergunakan, B3 yang dilarang dipergunakan dan B3 yang terbatas dipergunakan. Beberapa jenis B3 yang mudah dikenali dan boleh dipergunakan antara lain adalah bahan – bahan kimia seperti amonia, asam asetat, asam sulfat, asam klorida, asetilena, formalin, metanol, natrium hidroksida, termasuk juga gas nitrogen. Lebih lengkapnya daftar B3 yang boleh dipergunakan dapat dilihat pada Lampiran 1 Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2001. Sedangkan B3 yang dilarang dipergunakan antara lain adalah *aldrin, chlordane, ddt, dieldrin, endrin, heptachlor, mirex, toxaphene, hexachlorobenzene dan PCBS*. Daftar tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2. Sedangkan Lampiran 3 berisi daftar B3 yang dipergunakan secara terbatas, antarlain Merkuri, Senyawa merkuri, *lindane, parathion*, dan beberapa jenis CFC.

(*Mengenal Limbah B3 | Dinas Lingkungan Hidup, n.d.*)

Berdasarkan sifatnya, B3 dapat diklasifikasikan menjadi B3 yang mudah meledak, pengoksidasi, sangat mudah sekali menyala, beracun, berbahaya, korosif, bersifat iritasi, berbahaya bagi lingkungan dan karsinogenik (*Mengenal B3 Dan Limbah B3 | Dinas Lingkungan Hidup Dan Kehutanan DIY, n.d., p. 3*).

Salah satu contoh limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan jika tidak diproses atau dimanfaatkan adalah limbah kimia seperti senyawa yang telah disebutkan diatas, dimana limbah kimia ini dapat merusak keseimbangan lingkungan tempat limbah dibuang maupun meracuni makhluk hidup disekitarnya. Contoh dari limbah kimia yang banyak dijumpai adalah limbah cair asam dan basa, limbah ini dapat ditemukan dari skala kecil seperti lab sampai industri besar, oleh karena itu salah satu proses pemanfaatan dari limbah ini dapat dilakukan elektrolisis sehingga didapat hidrogen dan *by-product* nya (Chaurasia and Mondal, 2021).

Salah satu contoh pencemaran lingkungan oleh limbah industri adalah limbah pigmen tekstil, pigmen sendiri dasarnya adalah zat pemberi atau pembawa warna yang akan memberikan warna tertentu bila zat ini ditambahkan atau diberikan, pigmen bukan merupakan zat terlarut melainkan partikel padatan yang sangat kecil yang kemudian dicampurkan dengan cairan. Pigmen dapat berupa zat organik (mengandung karbon) maupun anorganik, umumnya pigmen sintesis akan jauh lebih terang dan tahan lama dibandingkan pigmen organik. Komponen penyusun pigmen anorganik atau sintesis memiliki berbagai variasi salah satu contohnya adalah penggunaan oksida besi sebagai bahan dasar dari pigmen dengan warna *Ochres* seperti kuning kecoklatan, dan oranye kecoklatan (*Pigment | Chemistry | Britannica, n.d.*).

Limbah pigmen ini terutama dari industri tekstil memiliki dampak yang buruk, 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).

Treatment umum yang digunakan dalam menanggulangi limbah pigmen ini adalah dengan menggunakan filter pada buangan air limbah, dan juga

pengkoagulasian limbah pigmen pada suatu tangki, namun dalam percobaan kali ini kami terdorong untuk melakukan treatment dengan teknologi elektrofenton.

Teknologi elektrofenton memiliki peluang yang menjanjikan sebagai teknologi alternatif dalam pengolahan limbah yang efektif dan efisien. Elektrofenton menggunakan prinsip elektrokimia yang melibatkan reduksi katodik. Reduksi pada katoda adalah reduksi oksigen dari udara untuk menghasilkan hidrogen peroksida yang selanjutnya terurai menjadi radikal hidroksida dengan katalis fenton (Fe^{2+}). Radikal hidroksida merupakan oksidator sangat kuat yang dapat mendegradasi berbagai senyawa organik bahkan senyawa organik persisten yang tidak dapat diurai oleh mikroorganisme. Keunggulan utama teknologi elektrofenton adalah proses mineralisasi senyawa organik menjadi karbon dioksida dan air tanpa menyisakan lumpur/*sludge*. Hal ini akan memberikan kontribusi pada pengurangan biaya dalam penanganan *sludge* (Da Pozzo et al. 2005). Proses elektrofenton melibatkan sedikit pereaksi dan energi yang cukup rendah. Oleh karena itu, teknologi elektrofenton memenuhi kriteria sebagai *green process* (Rajendran et al. 2016).

Proses elektrofenton memerlukan material aktif sebagai katalis untuk reduksi oksigen menjadi hidrogen peroksida dan pemecahan hidrogen peroksida menjadi radikal hidroksil untuk degradasi limbah organik. Material yang sangat berpotensi sebagai katalis dalam elektrofenton adalah material magnetit (Fe_3O_4). Magnetit (Fe_3O_4) merupakan mineral besi oksida yang memiliki sifat kemagnetan, kelistrikan, dan katalisis yang khas.

Sintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) atau disebut pula sebagai nanopartikel magnetic menggunakan metode elektrodeposisi/*electroplating* pada permukaan karbon felt, Selanjutnya, karbon felt termodifikasi nanopartikel magnetite nanopartikel tersebut akan Digunakan sebagai elektroda dalam proses elektrofenton untuk mendegradasi limbah pigmen menjadi karbon dioksida dan air tanpa menyisakan *sludge*.

Oleh karena itu kami terdorong untuk melakukan penelitian pemanfaatan limbah untuk dilakukan treatment nanopartikel yang disintesis dengan elektrolisis, terhadap limbah sehingga limbah yang dibuang tersebut aman bagi lingkungan dan makhluk hidup, dan juga didapat hasil limbah dengan post-treatment yang minim

karena zat organik dalam limbah terurai dengan sempurna.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui bagaimana metode dan cara mensintesis nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit), bagaimana penggunaan katalis magnetit nanopartikel dalam reaksi elektrofenton terhadap limbah pigmen tekstil, dan mengetahui bagaimana efektivitas metode pengolahan limbah pigmen tekstil dengan reaksi elektrofenton.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Mensintesis nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit) dengan metode elektrodposisi.
2. Menggunakan katalis nanopartikel magnetit dalam proses elektro-fenton terhadap limbah pigmen tekstil dan mengetahui efisiensi pengolahan limbah.

1.4 Ruang lingkup

Penelitian ini menggunakan sampel limbah pigmen tekstil sintetis yang terdapat pada Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Proses pengolahan limbah pigmen tekstil ini dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar dan Analisis Terpadu, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.

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)

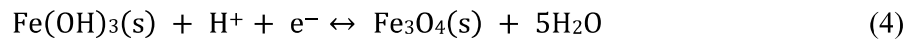


(23.9: Electrolysis of Water, 2016)

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 / galvanik, 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 galvanik 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.

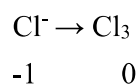
Bilangan oksidasi atau biasa disebut juga sebagai biloks, merupakan suatu bilangan bulat yang digunakan dalam perhitungan perpindahan elektron dimana terjadi pengurangan maupun penambahan elektron pada suatu unsur, atau senyawa. Perubahan bilangan oksidasi merupakan salah satu petunjuk yang menandakan 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.

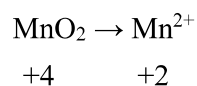
Reaksi Oksidasi:

Pada reaksi oksidasi terjadi penambahan bilangan oksidasi unsurnya



Reaksi Reduksi:

Pada reaksi reduksi terjadi pengurangan bilangan oksidasi unsurnya



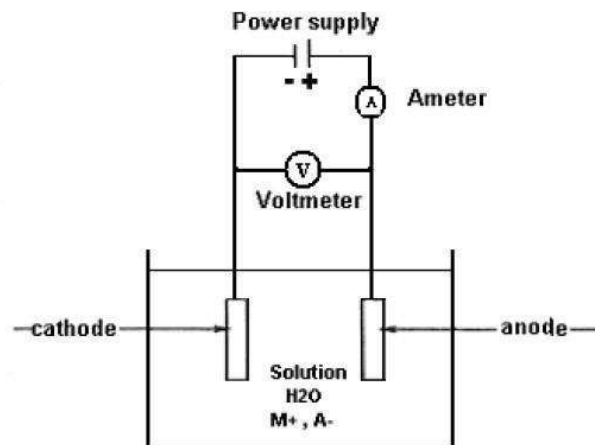
Pada contoh reaksi redoks diatas dapat diketahui bahwa unsur atau senyawa yang teroksidasi adalah klor yang ditunjukkan dengan kenaikan bilangan oksidasi dari -1 menjadi 0, dan yang tereduksi adalah mangan dari +4 menjadi 2+, sehingga klor dalam reaksi redoks tersebut merupakan reduktor dan mangan sebagai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

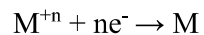
Elektrodeposisi atau juga dikenal sebagai deposisi elektrokimia, adalah proses penumbuhan lapisan film yang terdiri atas pelapis logam pada material dasar (substrat) yang terjadi melalui reduksi elektrokimia dari ion logam yang berasal dari larutan elektrolit untuk mencapai berbagai tujuan seperti untuk 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.

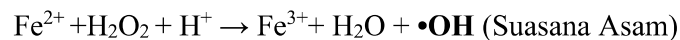
2.8 Reaksi Fenton

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

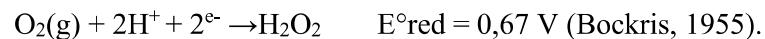
hidroksil radikal $\bullet\text{OH}$ pada kondisi operasi pH yang lebih luas (Chen and Zhu, 2006). Karena pelarutan ion logam dari katalis yang terbatas, sehingga jumlah *sludge* yang dihasilkan jadi dapat diabaikan dan menghilangkan kebutuhan pasca proses (Navalon et al., 2010a). Proses reaksi Fenton 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.

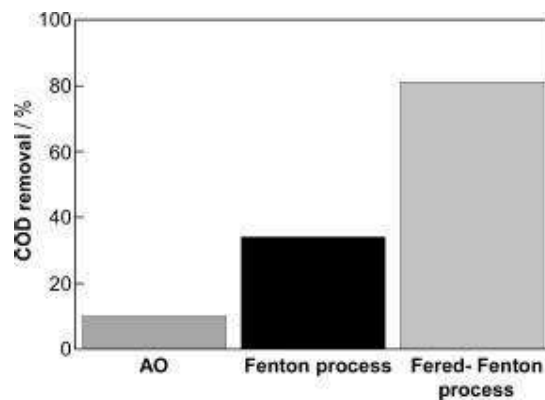


(Chemistry 112, University Of Rhode Island).

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).



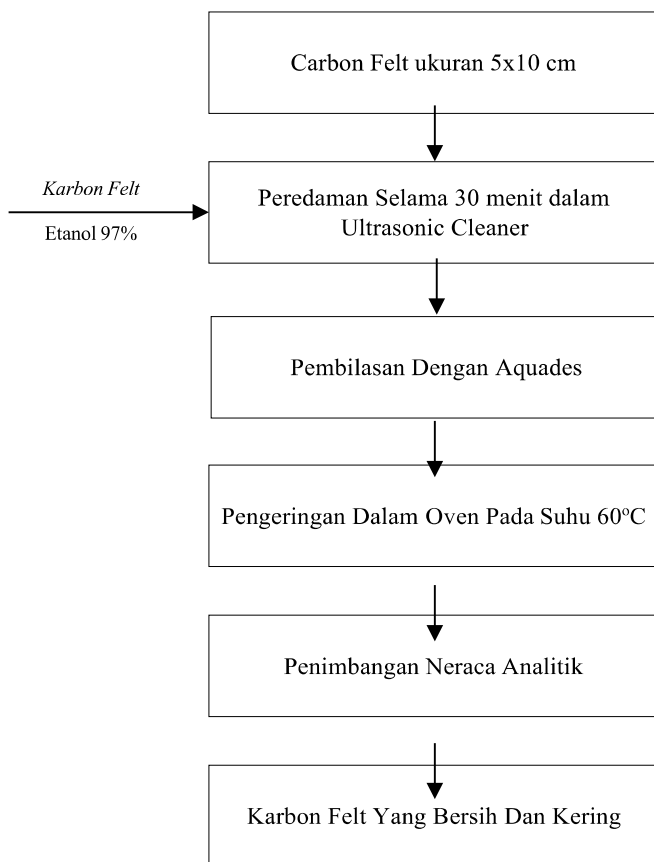
Gambar 2.2 Presentase pembuangan COD setelah 75 menit treatment 200ml larutan pembuangan ($\text{COD}_0=500\text{mg/L}$) dengan metode AO, Fenton dan Fered-Fenton (Brillas, 2009)

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Analisis Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian ini meliputi tiga tahapan yaitu 1) pembuatan nanopartikel magnetit secara elektrokimia 2) pembuatan larutan 3) proses elektrofenton dan 4) Analisa larutan. Tahapan penelitian dalam bentuk diagram alir adalah sebagai berikut:

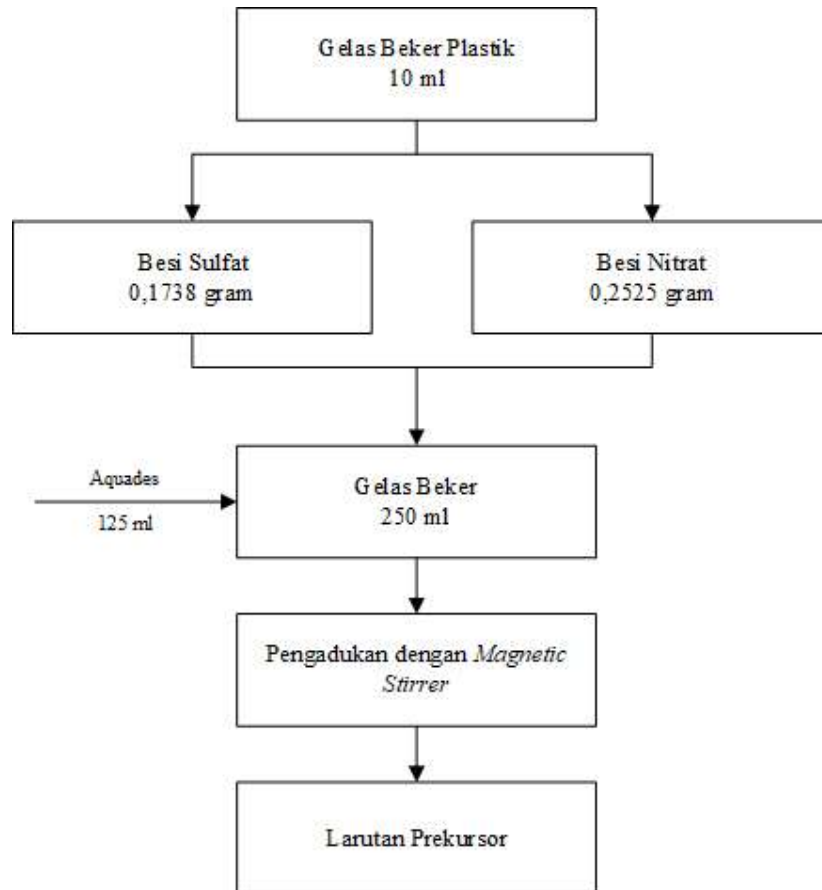
3.1.1 Preparasi Bahan Pendukung



Gambar 3.1 Preparasi Bahan Pendukung

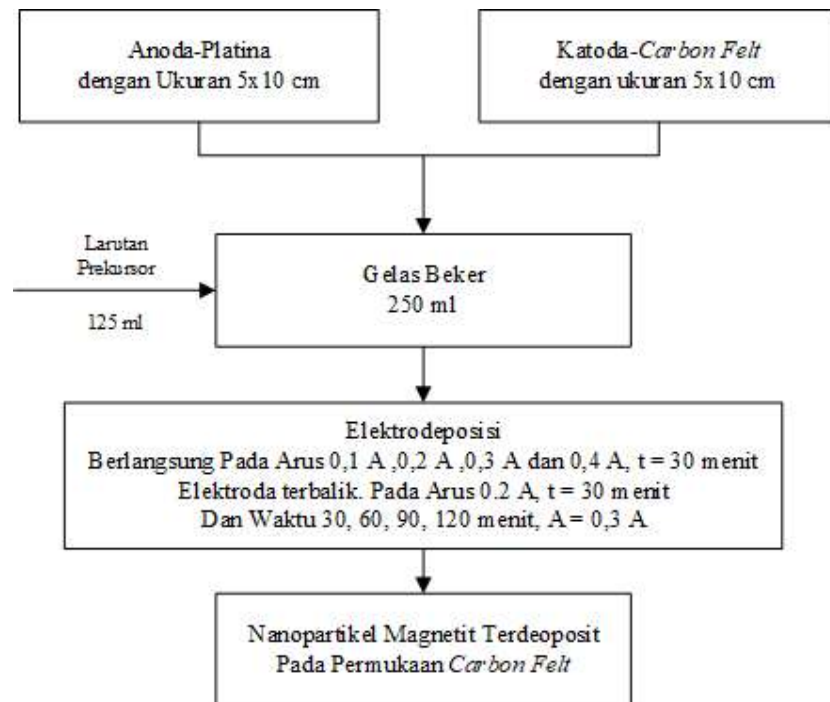
3.1.2 Elektrodeposisi Nanopartikel Fe₃O₄

a. Pembuatan larutan Prekursor



Gambar 3.2 Pembuatan Larutan Prekursor

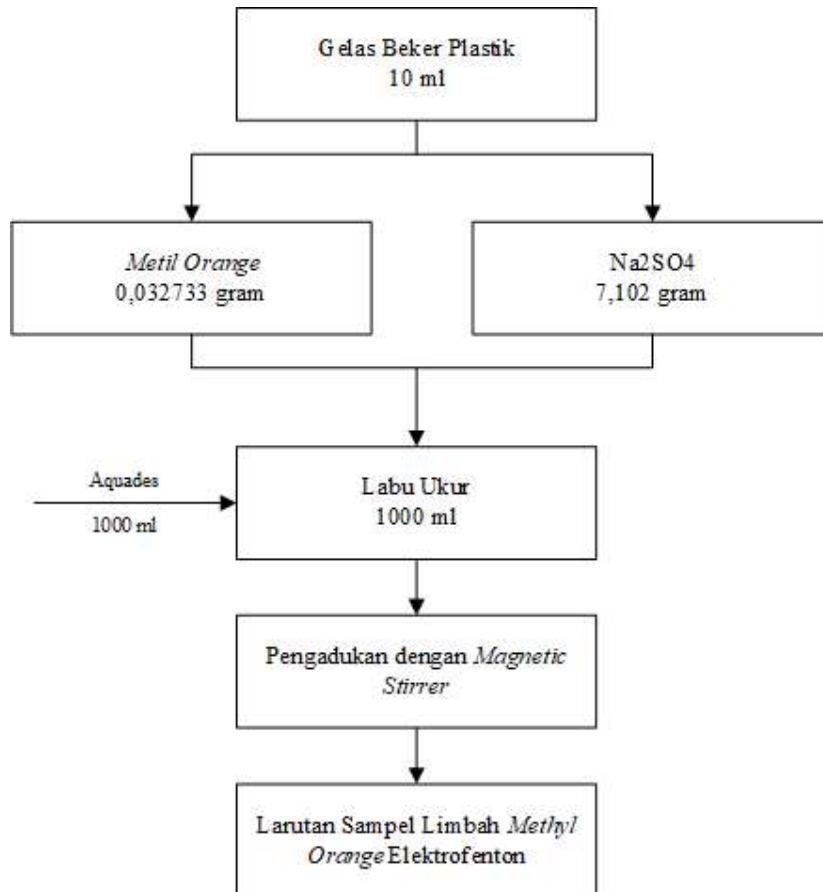
b. Elektrodeposisi



Gambar 3.3 Proses Elektrodeposisi

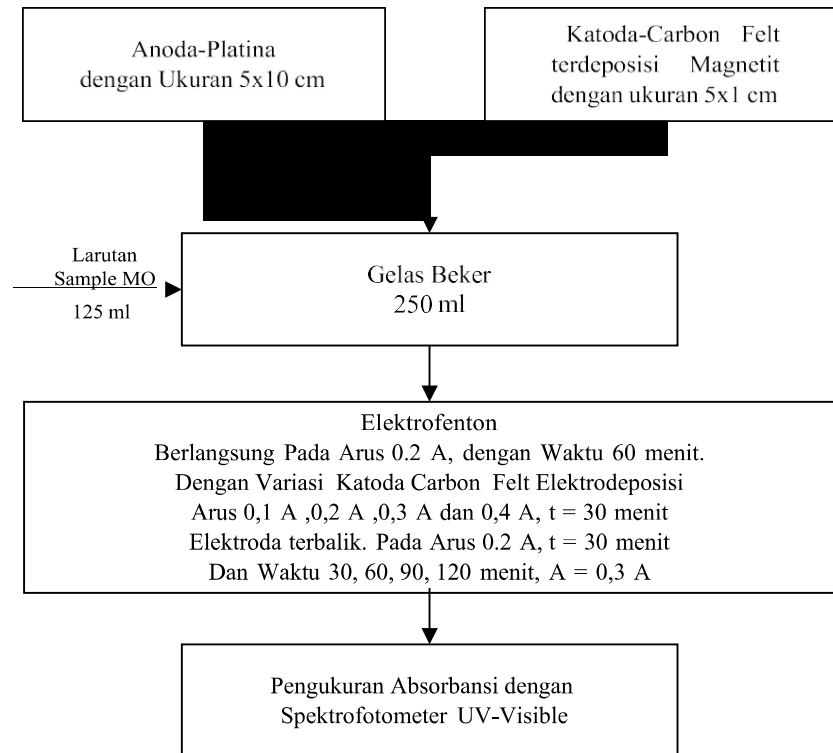
3.1.3 Proses Elektrofenton

- a. Pembuatan larutan sample limbah dari *Methyl Orange* dan Na_2SO_4



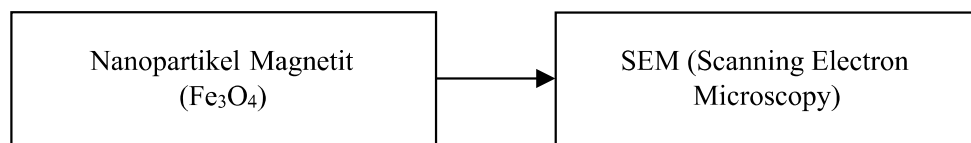
Gambar 3.4 Pembuatan Larutan Sampel Limbah Dari Methyl Orange Dan Na_2SO_4

b. Elektrofenton



Gambar 3.5 Proses Elektrofenton

3.1.4 Karakterisasi



Gambar 3.6 Karaterisasi SEM (Scanning Electron Microscopy)

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan pada penelitian ini dengan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.2.1 Preparasi Bahan Pendukung

Potong karbon felt dengan ukuran 5 x 10 cm, lalu masukan karbon felt yang sudah dipotong pada gelas beaker kaca berukuran 250 ml dan isi dengan etanol sampai tanda batas, lalu tutup bagian atas gelas beaker dengan *plastic wrap*, lalu isi *ultrasonic cleaner* dengan aquades sampai tanda batas pada gelas beaker. Kemudian nyalakan ultrasonic cleaner dan set waktu selama 30 menit. Setelah selesai pencucian, ambil gelas beaker dan keluarkan etanol 97% yang telah digunakan, lalu bilas karbon felt dengan aquades sampai karbon felt terbilas seluruhnya dan bilas karbon felt pada gelas beaker dengan aquades sampai 3 kali. Setelah proses pembilasan keluarkan karbon felt dan letakkan pada loyang, lalu masukan karbon felt kedalam oven dan set suhu 60°C dengan waktu 24 jam.

3.2.2 Elektrodeposisi nanopartikel Fe₃O₄

a. Pembuatan Larutan Prekursor

Siapkan 2 gelas beaker plastik dengan ukuran 10 ml, lalu siapkan gelas ukur tempat mengukur aquades sebanyak 125 ml, lalu siapkan gelas beaker kaca 250 ml untuk tempat pencampuran bahan. Kemudian timbang besi (II) sulfat seberat 0,1738-gram dan besi (III) nitrat 0,2525-gram dengan gelas beaker kecil 10 ml pada timbangan analitik. Kemudian siapkan gelas beaker kaca berukuran 250 ml dan campurkan kedalam gelas beaker 250 ml. setelah larutan besi selesai dicampurkan, lalu aduk larutan selama 10 menit dengan *magnetic stirrer* hingga homogen dan merata.

b. Proses Elektrodeposisi

Karbon felt bersih dipotong dengan ukuran 5 x 10 cm kemudian ditempatkan sebagai katoda dalam sel elektrolisis dengan batang platina (pt) sebagai anoda. Sel elektrolisis dimasukan dalam gelas beaker 250 ml yang berisi larutan elektrolisis / prekursor (dibuat dari larutan besi (II) sulfat dan besi (III) nitrat)

sebanyak 125 ml. Proses elektrolisis dilakukan pada variasi arus (0,1 A, 0,2 A, 0,3 A, 0,4 A, dan arus 0,2 A dengan pembalikan posisi elektroda).

3.2.3 Proses Elektro-Fenton Dengan Nanopartikel Fe₃O₄

a. Pembuatan Larutan sampel limbah dari Methyl Orange dan Na₂SO₄ Siapkan 2 gelas beaker plastik dengan ukuran 10 ml, lalu siapkan gelas ukur tempat mengukur, dan siapkan aquades sebanyak 125 ml, kemudian siapkan gelas beaker kaca 250 ml untuk tempat pencampuran bahan. selanjutnya timbang *Methyl Orange* sebanyak 0,032733-gram dan Na₂SO₄ sebanyak 7,102-gram dengan gelas beaker plastik kecil 10 ml pada timbangan analitik. Kemudian siapkan gelas labu ukur 1-liter dan campurkan. setelah larutan *Methyl Orange* selesai dicampurkan, lalu aduk larutan dengan *magnetic stirrer* sampai larutan tercampur sempurna.

b. Proses Elektro-Fenton

Karbon felt berlapis magnetit digunakan sebagai katoda dalam sel elektro fenton yang berisi larutan limbah sintesis pigmen tekstil dengan anoda titanium. Proses elektrofenton dilakukan dengan media gelas beaker kaca 250 ml yang diisi 125 ml larutan sampel limbah sintesis *methyl orange*. Kemudian dilakukan elektrolisis dengan proses elektrofenton pada variasi arus 0,2 A dan waktu 60 menit. Degradasi limbah diamati dengan perubahan warna larutan yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-Visibel, dengan panjang gelombang 450 nm.

3.2.4 Karakterisasi

a. Analisa SEM

Prosedur ini dimulai dengan pengujian SEM di Lab Nanomaterial, Lab terpadu, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Selanjutnya menganalisis bentuk dari nanopartikel magnetit (Fe₃O₄) lalu morfologi permukaan Fe₃O₄ dilakukan menggunakan SEM.

3.3 Bahan dan Alat

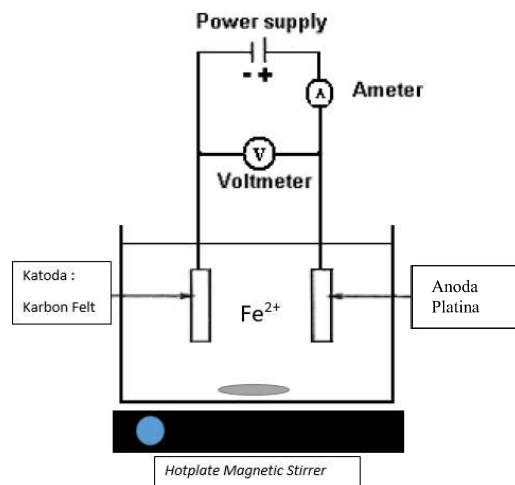
3.3.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan penelitian ini adalah sebagai berikut yaitu besi (II) sulfat, besi (III) nitrat, metil orange, Na_2SO_4 , karbon felt, etanol 97%, aquades, dan anoda platina (pt).

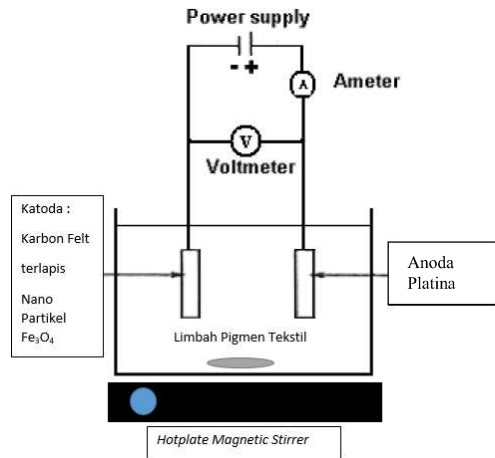
3.3.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam percobaan penelitian ini adalah sebagai berikut yaitu satu unit *DC Power Supply*, gelas beaker 250 ml, gelas beaker plastik 10 ml, gelas ukur 125 ml, labu ukur 1 liter, pipet tetes, cawan kaca, *ultrasonic cleaner*, batang pengaduk, *hotplate magnetic stirrer*, neraca analitik, oven, spektrofotometri UV-VIS, dan SEM (scanning electron microscopy).

3.3.3 Gambar alat



Gambar 3.7 Skema Alat Sintesis Nanopartikel Magnetit



Gambar 3.8 Skema Alat Aplikasi Nanopartikel Pada Penguraian Limbah Pigmen Tekstil, Dengan Metode Elektro-Fenton.

Kemudian berikut gambar skema alat dari aplikasi pada limbah dengan metode elektrofenton, pada proses sintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4), dan pada proses penguraian larutan sampel limbah dari *Methyl Orange* dan Na_2SO_4 .

3.4 Variabel Percobaan

Dalam percobaan penelitian ini terdapat tiga variabel utama, yaitu variabel bebas, variabel tetap, dan variabel terikat. Variabel bebas dalam percobaan penelitian ini adalah rapat arus dan waktu elektrodeposisi karbon felt dengan Fe, dengan variasi rapat arus 0,1 A , 0,2 A, 0,3 A, dan 0,4 A, dengan waktu 30 menit dan variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan arus paling optimal yang didapatkan pada variasi rapat arus, yaitu 0,3 A. Kemudian untuk variabel tetap pada percobaan penelitian ini adalah jenis larutan elektrolisis atau prekursor, anoda dan katoda, suhu, dengan anoda berupa platina pada proses pembuatan nanopartikel dengan elektrodeposisi dan juga pada proses degradasi pigmen tekstil dengan metode elektro-fenton, dan katoda berupa karbon felt, dan suhu larutan elektrolisis bersuhu ruang. Selanjutnya dengan variabel terikat ukuran nanopartikel Ferum (magnetit), massa nanopartikel terdeposit, dan efisiensi penguraian pigmen tekstil *Methyl Orange*.

3.5 Metode pengumpulan data dan Analisa data

3.5.1 Penentuan Massa Teoritis Nanopartikel Fe₃O₄ yang Terdeposit pada Permukaan Karbon Felt

Metode yang digunakan untuk menghitung massa teoritis dari endapan atau deposit nanopartikel magnetit pada karbon felt digunakan teori Hukum Faraday II yang berbunyi “Massa Zat Yang Dihasilkan Pada Elektrode Berbanding Lurus Dengan Massa Ekuivalen Zat” dengan persamaan sebagai berikut.

$$m = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500} \quad e = \frac{Ar}{n}$$

Keterangan :

- m : massa (gr)
- e : mol electron
- I : arus (ampere)
- t : waktu (Sekon)
- Ar : massa molar

3.5.2 Penentuan Efisiensi Arus

Untuk mengetahui efisiensi arus dari elektrolisis deposit nanopartikel magnetit digunakan persamaan berikut sehingga dimana massa terdeposit actual dan teoritis dibandingkan dan diubah dalam persen untuk mendapatkan presentaseefisiensinya.

$$\% \text{ Efisiensi Arus} = \frac{\text{Massa Terdeposit}}{\text{Massa Terdeposit teoritis}} \times 100\%$$

3.5.3 Efisiensi Elektrofenton / Degradasi Limbah Pigmen

Degradasi limbah pigmen akibat dari reaksi elektrofenton dengan magnetit diukur dengan menggunakan persamaan dibawah, dimana konsentrasi atau absorbansi mula limbah *methyl orange*, dikurangi konsentrasi / absorbansi pada akhir elektrofenton limbah dengan Karbon Felt x, dibandingkan dengan konsentrasi mula dan diubah dalam persen.

$$\% \text{ Efisiensi Degradasi Limbah} = \frac{\text{Konsentrasi mula standar MO} - \text{Konsentrasi Karbon Felt x}}{\text{Konsentrasi Mula Standar}} \times 100\%$$

BAB IV

PEMBAHASAN

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mensintesis nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit) dan menggunakan katalis nanopartikel magnetit dalam proses Elektro-fenton terhadap limbah pigmen tekstil dengan prinsip elektrolisis dengan menggunakan metode elektro-fenton serta mengetahui efisiensi proses pengolahan limbah. Pada penelitian ini terdapat tahapan - tahapan yaitu 1) Preparasi bahan pendukung, 2) Elektrodposisi nanopartikel Fe_3O_4 , 3) Proses elektrofenton, 4) Karakterisasi.

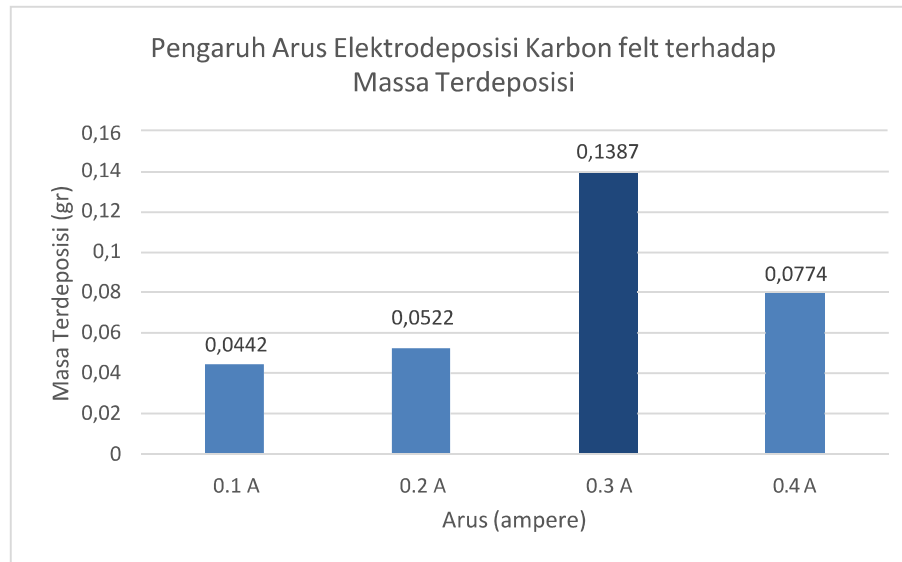
4.1 Proses Elektrodposisi Nanopartikel

Pada prosedur pembuatan nanopartikel Fe_3O_4 karbon felt dipotong dengan ukuran 5x10 cm agar dapat di sesuaikan dengan ukuran gelas beker dan memiliki luas penampang yang sama dengan anoda platina yaitu 5 x 10, dan juga bertujuan agar dalam percobaan berikutnya karbon felt dapat di potong lebih kecil dan di ambil karbon felt untuk percobaan-percobaan berikutnya. Karbon felt yang sudah di potong akan digunakan sebagai katoda dalam sel ektrolisis dengan batang platina sebagai anoda. Pemilihan anoda berupa platina adalah karena sifatnya yang inert atau tidak bereaksi. Katoda dan anoda tersebut akan di masukan pada gelas beker ukuran 250 ml yang berisi larutan prekursor ion besi. Pada proses elektrolisis ini dilakukan pula variasi arus (0,1A, 0,2A, 0,3A, 0,4A,) selama 30 menit dan juga arus 0.3 A dengan waktu (30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit).

4.1.1 Pengaruh Arus Terhadap Massa Magnetit (Besi Oksida) Terdeposisi

Elektrolisis ialah suatu proses reaksi kimia dengan menggunakan perantara elektroda yang terendam dalam sebuah larutan elektrolit saat tegangan di terapkan pada suatu elektroda. (Vogel & Dogra dalam Soemargono, 2013). Elektrolisis merupakan peristiwa Ketika suatu larutan diuraikan menjadi ion – ionnya, yaitu ion positif (kation) dan ion negatif (anion) pada saat arus searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda. Dimana akan terjadi reaksi reduksi pada katoda yang membuat ion logam (+) menjadi terdeposisi dan terdeposit pada katoda, dan terjadi reaksi oksidasi dari anoda.

Tujuan dilakukannya variasi arus ialah untuk menganalisis pengaruh variasi arus elektrolisis terhadap massa terdeposisi dan terdeposit setelah elektrodeposisi, dan parameter absorbansi limbah pigmen setelah dilakukan proses elektrofenton terhadap limbah pigmen.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi

Variasi arus dalam pembuatan nanopartikel magnetite dengan metode elektrodeposisi ini terdapat lima variabel, yaitu 0,1 A, 0,2 A, 0,3 A, 0,4 A, dan 0,2 A dengan variasi katoda anoda yang dipasangkan secara berkebalikan, dan dengan waktu elektrodeposisi selama 30 menit, data yang didapat adalah deposisi magnetit terbesar pada karbon felt didapat dengan arus 0,3 A dengan nilai massa awal *carbon felt* sebelum dilakukan elektrolisis deposisi magnetit sebesar 4,1981 gr dan massa setelah dilakukan elektrolisis sebesar 4,3368 gr sehingga didapati massa magnetit terdeposisi sebesar 0,1387 gr, selisih terbesar didapati antara deposisi arus 0,3 A dengan arus 0,1 A senilai 0,0945 gr, dan selisih terkecil didapati antara deposisi arus 0,3 A dengan arus 0,4 A senilai 0,0613 gr. Pada gambar di atas menunjukkan hasil berat terdeposisi paling besar pada arus 0,3 A sebesar 0,1387 gr.

Tabel 4. 1 Perbandingan Pengaruh Arus Antara Logam Yang Terdeposisi Dalam

Segi Praktik dan Teori						
Waktu (menit)	Arus (Ampere)	Berat Terdeposisi (gr)			Efficiency (%)	
		Praktek	Teoritis (val = 3)	Teoritis (val = 2)	Valensi 3	Valensi 2
30	0,1	0,0442	0,03482	0,052228	127%	85%
	0,2	0,0522	0,06964	0,104456	75%	50%
	0,3	0,1387	0,10446	0,1566839	133%	89%
	0,4	0,0774	0,13927	0,2089119	56%	37%

Pada tabel perbandingan pengaruh arus antara logam yang terdeposisi dalam segi praktik dan teori berdasarkan Hukum Faraday Kedua yang berbunyi *”Apabila sebagian sel elektrolisis tersusun berdasarkan seri atau arus listrik sama (jumlah muatan listrik yang sama juga), maka perbandingan massa zat-zat yang diperoleh akan sama dengan perbandingan massa ekivalen masing-masing”*, Sehingga didapat persamaan massa terdeposisi teoritis sebagai berikut:

$$m = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500} \quad e = \frac{Ar}{n}$$

Keterangan :

m : massa (gr)

e : mol electron

I : arus (ampere)

t : waktu (Sekon)

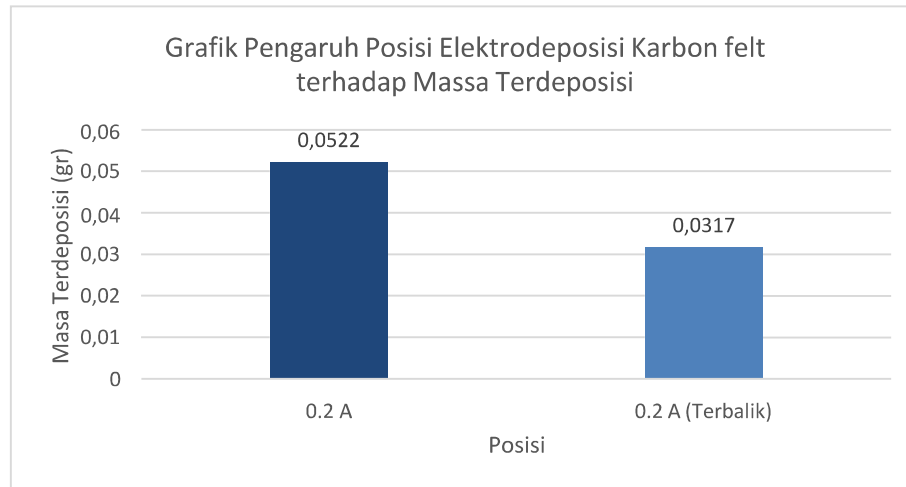
Ar : massa molar

Dimana sesuai prosedur yang dilaksanakan untuk elektrodeposisi pada percobaan ini, dicari massa teoritis (m), mol electron (Ar Fe = 56, n (valensi) =

2 dan 3), arus (I) sesuai dengan variasi percobaan 0,1 A, 0,2 A, 0,3 A, dan 0,4 A, dan waktu (t) yaitu 30 menit / 1800 sekon. Dengan menggunakan persamaan Hukum Faraday kedua didapati nilai massa terdeposisi teoritis untuk valensi 2 dan valensi 3, penggunaan dua data valensi untuk massa teoritis dikarenakan karakteristik dari magnetit yang merupakan besi oksida yang tersusun atas besi dengan valensi yang berbeda yaitu, besi (II) dan besi (III).

Tabel 4.1 menunjukkan hasil efisiensi elektrodeposisi umum terbaik didapati oleh arus 0,3 A, dimana terdeposit massa besi oksida sebesar 0,1387 gr dengan analisa efisiensi valensi dua dan tiga memiliki efisiensi tertinggi, yaitu 133% dan 89%. Pada nilai data efisiensi valensi tiga terdapat dua data yang memiliki efisiensi > 100% yaitu pada arus 0,1 A dan 0,3 A, sedangkan pada valensi dua seluruh data < 100 % yang sesuai dengan hasil teoritis efisiensi, dimana massa aktual / praktek tidak dapat melebihi massa teoritis Hukum Faraday 2. Pola deposisi massa aktual sudah sesuai dengan teori Hukum Faraday 2, dimana semakin tinggi rapat arus pada elektrodeposisi maka semakin tinggi massa yang terdeposisi, dengan adanya kenaikan massa deposisi pada variasi arus 0.3 A yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti suhu reaksi dan kelembaban karbon felt. Data pada Tabel 4.1 ini digunakan sebagai data trial penentuan arus paling optimal untuk pelaksanaan variasi waktu elektrodeposisi.

4.1.2 Pengaruh Posisi Terhadap Massa Magnetit (Besi Oksida) Terdeposisi



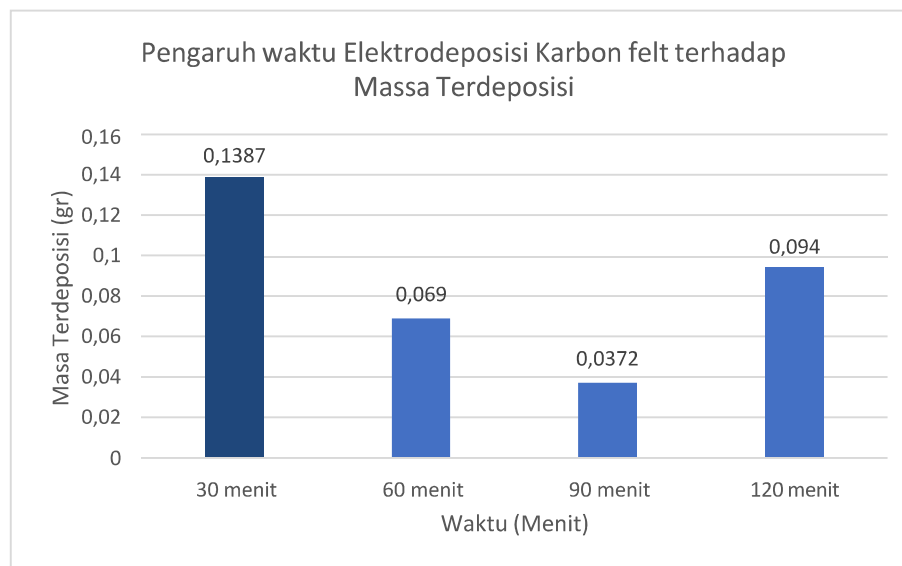
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Posisi Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi

Pada variasi arus dalam pembuatan nanopartikel magnetite dengan metode elektrodeposisi terdapat pula pengaruh posisi yaitu pada *variable* 0,2 A, dan 0,2 A dengan variasi katoda anoda yang dipasangkan secara berkebalikan. Pada *variable* 0,2 A, dan 0,2 A terbalik dilakukan dengan waktu elektrodeposisi 30 menit, lalu data di atas menunjukkan bahwa nilai massa awal *carbon felt* pada *variable* 0,2 A sebelum dilakukan elektrolisis deposisi magnetit sebesar 4,3368 gr dan massa setelah di lakukan elektrolisis sebesar 4,389 gr sehingga didapati massa magnetit terdeposisi sebesar 0,522 gr, kemudian untuk *variable* 0,2 A terbalik menunjukkan bahwa nilai massa awal *carbon felt* sebelum dilakukan elektrolisis deposisi magnetit sebesar 4,363 gr dan massa setelah di lakukan elektrolisis sebesar 4,3947 gr sehingga didapati massa magnetit terdeposisi sebesar 0,0317 gr, dengan selisih deposisi arus 0,2 A dengan 0,2 A terbalik sebesar 0,0205 gr. Pada hasil di atas menunjukkan bahwa pada pengarus posisi berat terdeposisi paling besar di dapatkan pada variasi arus 0,2 A sebesar 0,0522 gr. Nilai data ini sesuai dengan arah reduksi dan oksidasi, dimana posisi terjadinya reduksi adalah pada katoda, sehingga massa terdeposisi dengan posisi

anoda platina dan katoda karbon felt lebih baik daripada dengan posisi berkebalikannya.

Data pada gambar 4.2 menunjukkan adanya perbedaan massa terdeposisi yang signifikan antara posisi elektroda dalam elektrodeposisi, dimana kedua elektroda (platina dan karbon) yang digunakan bersifat inert sehingga tidak terjadi penguraian ion dari elektroda, dan hanya terjadi media penghantaran elektron dan media reduksi logam. Oleh karena itu pada variasi posisi elektroda yang terbalik tetap terdapat logam yang terdeposisi pada karbon dengan posisi sebagai anoda.

4.1.3 Pengaruh Waktu Terhadap Massa Magnetit (Besi Oksida) Terdeposisi



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Massa Terdeposisi

Tujuan dilakukannya variasi waktu adalah untuk dapat mengetahui pengaruh dari waktu elektrodeposisi yang bervariasi terhadap massa terdeposisi setelah elektrodeposisi, dan parameter efisiensi limbah pigmen setelah dilakukan proses elektrofenton. Variasi waktu yang diterapkan adalah waktu elektrodeposisi 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit, dengan arus 0.3 A sesuai dengan data elektrodeposisi percobaan variasi arus. Dimana untuk data elektrodeposisi waktu

30 menit didapat dari percobaan pengaruh arus 0.3 A terhadap massa terdeposisi.

Pada variasi waktu dalam pembuatan nanopartikel magnetite dengan metode elektrodeposisi ini terdapat 4 variabel, dengan menggunakan variasi waktu selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit dengan menggunakan arus elektrodeposisi 0,3 A, data yang didapat adalah deposisi magnetit terbesar pada karbon felt pada waktu 30 menit dengan menggunakan arus 0,3 A dengan nilai massa awal *carbon felt* sebelum dilakukan elektrolisis deposisi magnetit sebesar 4,1981 gr dan massa setelah dilakukan elektrolisis sebesar 4,3368 gr sehingga didapat massa magnetit terdeposisi sebesar 0,1387 gr, selisih terbesar didapat antara deposisi waktu 30 menit dengan waktu 90 menit dengan nilai 0,1015 gr, dan selisih terkecil didapat antara deposisi waktu 30 menit dengan waktu 120 menit dengan nilai 0,0447 gr.

Tabel 4.2 Perbandingan Pengaruh Waktu Antara Logam Yang Terdeposisi Dalam Segi Praktik dan Teori

Waktu (menit)	Arus (Ampere)	Berat Terdeposisi (gr)			Efficiency (%)	
		Praktek	Teoritis (val = 3)	Teoritis (val = 2)	Valensi 3	Valensi 2
30	0,3	0,1387	0,10446	0,1566839	133%	89%
60		0,069	0,20891	0,3133679	33%	22%
90		0,0372	0,31337	0,4700518	12%	8%
120		0,094	0,41782	0,6267358	22%	15%

Perhitungan massa teoritis yang digunakan adalah Hukum Faraday 2, dengan penggunaan dua valensi pada perhitungan dikarenakan sifat dari magnetit yang tersusun atas besi dengan valensi berbeda. Pada Tabel Perbandingan pengaruh waktu antara logam yang terdeposisi dalam segi praktik dan teori, menunjukkan hasil efisiensi masa aktual / praktek terhadap massa teoritis dengan perhitungan valensi besi (III) dan (II), pada pengaruh waktu 60 menit sebesar 33% valensi 3 dan 22% valensi 2, pada waktu 90 menit sebesar 12% dan 8%, dan pada waktu 120 menit 22% dan 15%. Sehingga didapat hasil waktu paling optimal selama 30 menit dengan deposit massa terbesar, dan efisiensi tertinggi.

. Hasil yang di dapat pada tabel perbandingan pengaruh waktu antara logam yang terdeposisi dalam segi praktik dan teori menunjukan hasil yang bervariasi, dan terdapat pola penurunan massa aktual, juga efisiensi nya terhadap massa teoritis. Pada hasil yang bervariasi di atas dapat di sebabkan pula karena temperature. kenaikan maupun penurunan temperature akan berpengaruh pada proses berlangsungnya elektrolisis dan massa terdeposisinya.

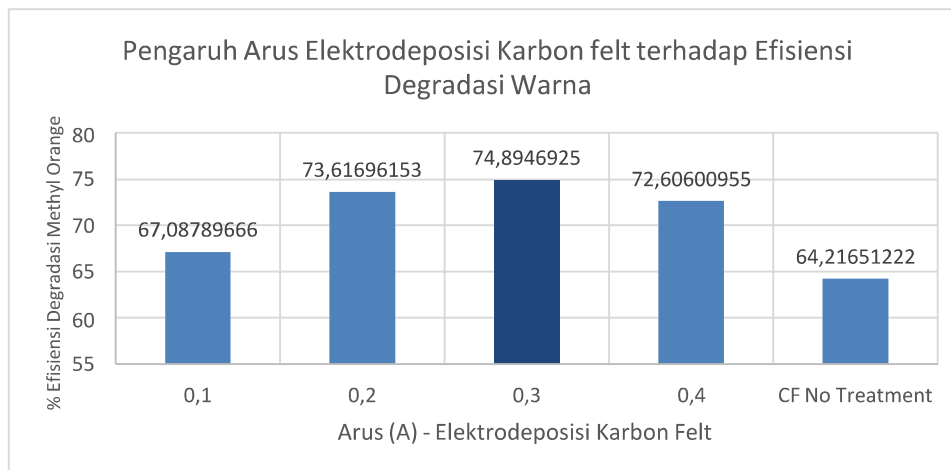
4.2 Proses Elektrofenton

Elektrofenton merupakan teknologi yang didasari elektrogenerasi 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 OH yang terbentuk pada anoda. Pada Prosesnya terdapat dua reaksi yang terjadi yaitu reaksi fenton yang homogen dan heterogen.

Untuk reaksi fenton yang 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. 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 **•OH**

Pada proses ini dilakukan dengan pengamatan degradasi limbah methyl orange dengan penguraian menggunakan hidroksil radikal **•OH** yang tersintesis dengan katalis nanopartikel magnetit yang telah terdeposit pada lembar karbon felt, dimana setelah proses elektrofenton secara homogen didapati terdapat penurunan absorbansi dari larutan limbah methyl orange secara signifikan yang didapat dari hasil spektrofotometri larutan limbah pasca elektrofenton.

4.2.1 Pengaruh Arus Terhadap Efisiensi Elektrofenton



Gambar 4.4 Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna

Pengaruh Arus terhadap efisiensi diketahui melalui analisa spektrofotometer UV-VIS larutan *methyl orange* setelah dilakukan elektrofenton dengan menggunakan karbon felt yang telah di elektrodeposisi dengan besi oksida. Karbon felt yang digunakan untuk proses elektrofenton memiliki ukuran 1 x 5 cm dari ukuran awal 5 x 10 cm, dilakukan proses penguraian warna pada larutan dengan proses elektrofenton selama 60 menit dengan arus 0.2 A, proses elektrofenton ini menjadi standar pelaksanaan untuk seluruh variasi variabel pengaruh yang ada.

Pada hasil analisa spektrofotometri untuk pengaruh arus terhadap efisiensi elektrofenton, dilakukan lima kali proses elektrofenton dengan lima sampel karbon felt yang berbeda, yaitu karbon felt yang telah dielektrodeposisi dengan arus 0.1 A, 0,2 A, 0,3 A, dan 0.4 A selama 30 menit, beserta karbon felt yang tidak dilakukan elektrodeposisi sama sekali terhadap larutan *methyl orange*.

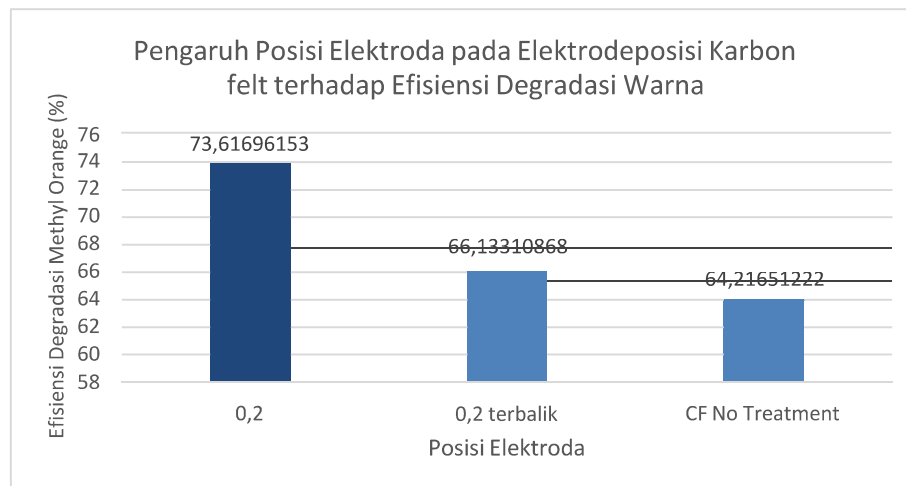
Kemudian larutan yang telah dilakukan treatment elektrofenton dilakukan analisa efisiensi penguraian atau degradasi warna dengan spektrofotometer UV-VIS di Lab Kimia Dasar, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Dengan Larutan Standar Methyl Orange didapati senilai 2,374, sebagai nilai dasar awal larutan sebelum proses elektrofenton, dan untuk nilai larutan setelah

dilakukan proses elektrofenton untuk masing-masing karbon felt dengan variasi elektrodeposisi 0,1 A, 0,2 A, 0,3 A, dan 0.4 A, selama 30 menit, juga karbon felt control (murni) dengan nilai rata-rata sebagai berikut 0.7813, 0.6263, 0.596, 0.6503, dan 0.8495. Sehingga dengan melakukan perhitungan efisiensi degradasi terhadap nilai larutan methyl orange awal didapati efisiensi degradasi warna secara berurutan pada **Gambar 4.4** dan sebagai berikut 67.0878%, 73.6169%, 74.8946%, 72.6060%, dan 64.2165%. Sehingga didapati nilai efisiensi dan efektivitas tertinggi dengan karbon felt yang telah dielektrodeposisi dengan arus 0.3 A selama 30 menit.

Hasil efisiensi degradasi limbah ini berbanding lurus dengan data elektrodeposisi massa, dimana semakin tinggi deposisi massa, didapat hasil efisiensi yang semakin tinggi juga. Hubungan ini mengkonfirmasi berpengaruhnya katalis nanopartikel Fe_3O_4 pada proses elektro-fenton.

4.2.2 Pengaruh Posisi Terhadap Efisiensi Elektrofenton



Gambar 4.5 Pengaruh Posisi Elektroda pada Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna

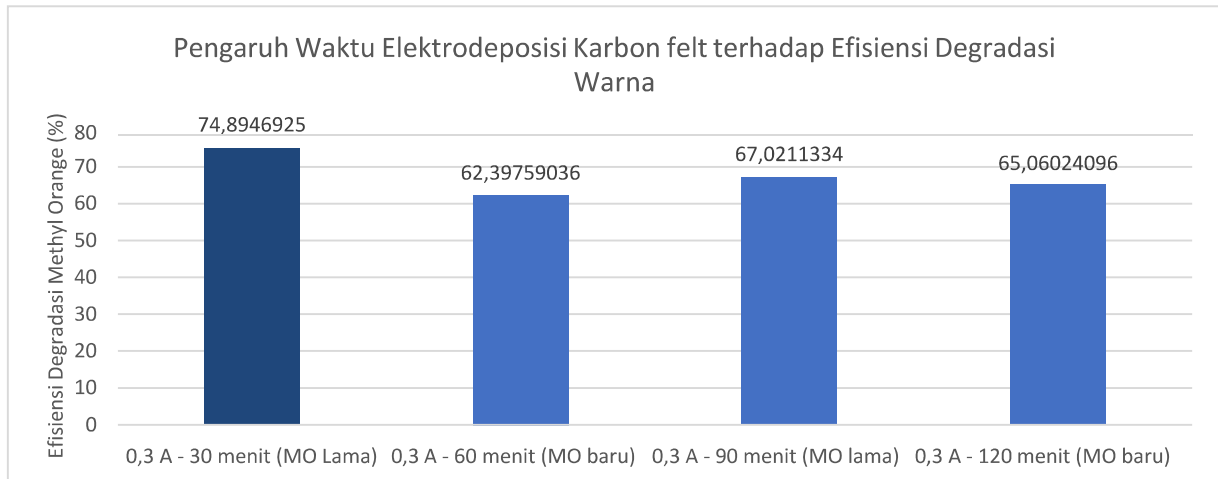
Pengaruh posisi anoda-katoda pada proses elektrodeposisi besi oksida memiliki pengaruh pada efisiensi akhir dari degradasi warna pada proses elektrofenton seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5**, dimana peletakan

posisi anoda katoda yang sesuai untuk proses elektrolisis sangat krusial untuk arah pembentukan massa logam terdeposisi khususnya pada proses elektrodeposisi.

Posisi anoda-katoda yang sesuai untuk mendorong pembentukan deposit logam Fe pada karbon felt untuk pembuatan besi oksida berupa Fe_3O_4 adalah dengan batang Pt atau platina pada kutub positif (anoda), dan Karbon felt pada kutub negatif (katoda), dimana dengan konfigurasi ini, ion bermuatan akan bergerak kearah katoda yang berupa karbon felt sehingga terjadi deposit logam berupa besi oksida pada permukaan karbon felt. Sedangkan untuk posisi elektroda terbalik adalah karbon felt pada kutub positif (anoda) dan batang Pt atau platina pada kutub negatif (katoda).

Dari **Gambar 4.5** dapat diketahui bahwa efisiensi degradasi warna *methyl orange* dengan karbon felt yang dielektrodeposisi dengan arus 0,2 A, selama 30 menit dan posisi elektroda yang sesuai memiliki efisiensi sebesar 73.6169%, sedangkan untuk efisiensi dengan posisi elektroda terbalik 66.1331%, dimana terdapat perbedaan efisiensi yang cukup signifikan. Namun, diketahui juga bahwa pada karbon felt terbalik masih terdapat pembentukan besi oksida mengingat efisiensi karbon felt terbalik masih lebih besar dibandingkan efisiensi penguraian warna karbon felt kontrol (murni) sebesar 64.2165%. Nilai efisiensi ini didapat dari analisa spektrofotometri dimana nilai larutan *Methyl Orange* standar senilai 2,374, dan dengan nilai rata-rata 0.6263, 0.804, dan 0.8495 untuk larutan *Methyl Orange* setelah elektrofenton dengan karbon felt variasi 0,2 A, 0,2 A terbalik, dan kontrol (murni).

4.2.3 Pengaruh waktu Terhadap Efisiensi Elektrofenton



Gambar 4.6 Pengaruh Arus Elektrodeposisi Karbon felt terhadap Efisiensi Degradasi Warna

Pada **Gambar 4.6** menunjukkan data antara waktu elektrodeposisi karbon felt pada arus 0,3 A selama 30 menit dengan efisiensi degradasi warna pada proses elektrofenton, dimana 0.3 A merupakan arus yang digunakan dengan pertimbangan hasil analisa arus elektrodeposisi dengan efisiensi degradasi warna dan massa terdeposit, yang memiliki hasil dan nilai terbaik.

Pada hasil analisa pengaruh waktu elektrodeposisi terhadap efisiensi degradasi warna ini digunakan spektrofotometer UV-VIS, dengan dua larutan standar *Methyl Orange*, dan tiga nilai standar, yaitu Larutan MO (*methyl orange* lama) pengukuran pertama untuk waktu 30 menit, Larutan MO lama pengukuran kedua untuk 90 menit, dan Larutan MO baru untuk 60 menit dan 120 menit. Dengan nilai larutan standar masing-masing secara berurutan adalah berikut 2.374, 2.476, dan 2.766.

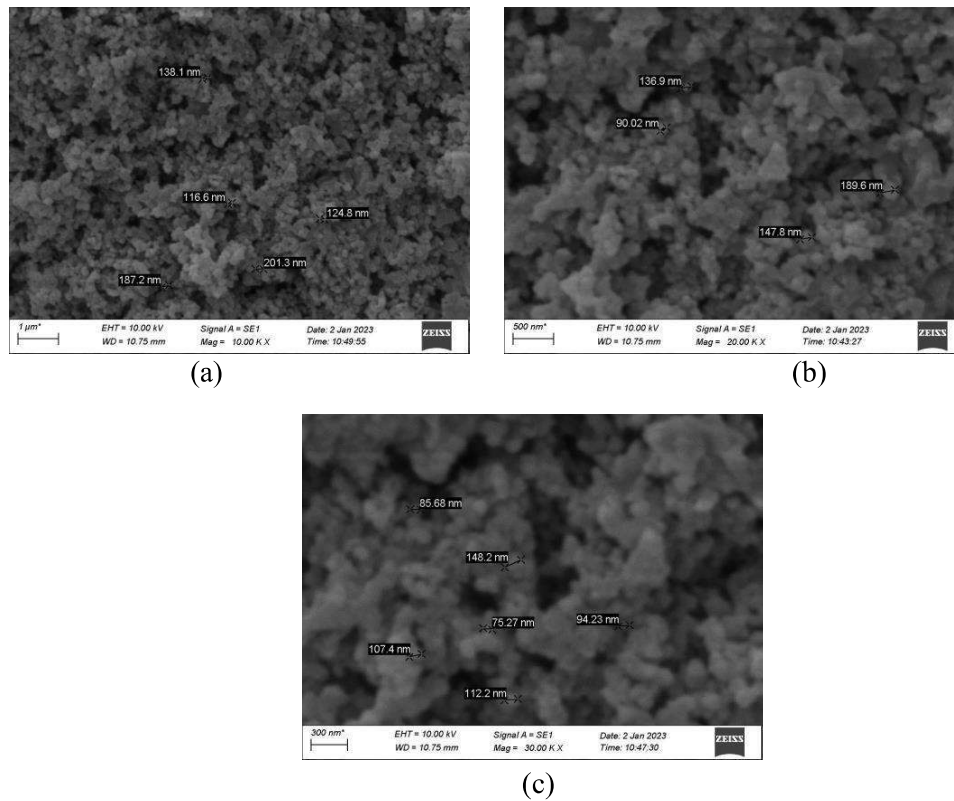
Kemudian dilakukan proses elektrofenton terhadap masing-masing larutan standar tersebut dengan karbon felt yang telah dielektrodeposisi dengan waktu 30, 60, 90, dan 120 menit pada arus 0.3 A, sehingga didapati nilai rata-rata masing larutan pasca elektrofenton berurutan sebagai berikut 0.596, 1.0403, 0.8166, dan 0.9666. Sehingga dapat diketahui nilai efisiensi degradasi warna terhadap larutan standar masing-masing secara berurutan sebagai berikut

74.8946%, 62.3975%, 67.0211%, dan 65.0602%. Sehingga dapat diketahui waktu elektrodeposisi dengan nilai efisiensi degradasi warna terbaik adalah 30 menit, dengan arus 0.3 A, sebesar 74.8946%. Hasil efisiensi degradasi yang didapat berbanding lurus dengan massa terdeposisi, dimana efisiensi degradasi waktu 30 menit sebesar 74.8946%, sesuai dengan massa waktu 30 menit yang merupakan massa tertinggi.

4.3 Analisa Morfologi

4.3.1 SEM (Scanning Electron Microscope) Fe₃O₄

Pada uji coba ini atau analisis menggunakan SEM terdapat tujuan untuk mengetahui serta melihat morfologi pada Fe₃O₄ yang terdeposit pada permukaan karbon felt.



Gambar 4.7 Hasil Gambar Uji SEM (Scanning Electron Microscope) Magnetit Fe₃O₄ Terdeposit (a) Perbesaran 10.000 X (b) Perbesaran 20.000 X (c) Perbesaran 30.000 X.

Pada **Gambar 4.7** dapat diketahui beberapa hasil ukur diameter nanopartikel Fe₃O₄ yang terdeposit pada permukaan karbon felt untuk proses elektrodeposisi dengan arus 0.3 A, selama 30 menit. Sampel nanopartikel pada permukaan karbon felt diuji dan dilakukan fotografi di Lab Nanomaterial,

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dengan perbesaran 10.000 X, 20.000 X, dan 30.000 X.

Dilakukan pengambilan 15 pengukuran diameter partikel, dengan rincian 5 pengukuran pada hasil foto SEM pada perbesaran 10.000 X, 4 pengukuran pada perbesaran 20.000 X, dan 6 pengukuran pada perbesaran 30.000 X. Dimana didapat 4 sampel dari 15 sampel pengukuran yang memiliki ukuran diameter partikel <100 nm yang merupakan batas atas ukuran diameter nanopartikel, dengan rincian ukuran diameter sebesar 75,27 nm, 85,68 nm, 90,02 nm, dan 94,23 nm, sehingga didapat nilai 27% sampel dari 15 sampel pengukuran yang memiliki karakteristik sebagai nanopartikel yang memiliki karakteristik ukuran 1 nm – 100 nm. Dengan 11 (73%) dari 15 sampel pengukuran memiliki ukuran diameter partikel 107,4 nm – 201,3 nm, ukuran diameter partikel ini pada dasarnya masih termasuk dalam skala nano (< 1 μm atau < 1000 nm), namun sesuai dengan konsensus umum dunia sains bahwa batas atas ukuran diameter nanopartikel adalah 100 nm.

Dengan data yang didapat pada hasil uji dan foto SEM dari nanopartikel Fe_3O_4 yang terdeposit pada permukaan karbon felt diatas, maka dapat disimpulkan bahwa partikel tersebut merupakan nanopartikel atau partikel yang berukuran nano, dengan pertimbangan 27% (> 0,15% minimal persentase nanopartikel) dari 15 sampel pengukuran memiliki diameter < 100 nm dan melihat dari diameter 73 % sampel > 100 nm memiliki jangkauan ukuran partikel 107,4 nm – 201,3 nm dimana ukuran partikel tersebut masih berada dalam batas maksimal nanopartikel yaitu 1000 nm

Jika ditinjau dari segi bentuk, produk berupa nanopartikel Fe_3O_4 yang tersintesis pada proses elektrodposisi dengan arus 0,3 A, selama 30 menit menunjukkan morfologi semi-*spheric* dan memiliki jejak aglomerisasi ringan pada struktur nanopartikel yang terbentuk. Pada kondisi elektrodposisi ini, diperoleh rerata ukuran partikel sebesar 130,22 nm dengan 15 sampel pengukuran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan Analisa yang telah dilakukan, terdapat kesimpulan yang dapat di ambil ialah sebagai berikut:

1. Pada sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dengan metode elektrodposisi, diketahui terdapat deposit massa Fe_3O_4 yang merupakan nanopartikel, dimana distribusi ukuran partikel yang didapat adalah 27% dari sampel pengukuran diameter partikel memiliki ukuran < 100 nm, dan 73% lainnya memiliki tebaran ukuran antara 107,4 nm – 201,3 nm.
2. Pada penelitian ini terdapat beberapa *variable* yang di gunakan yaitu variasi pengaruh arus, posisi, dan waktu. Pada variasi arus ini didapatkan hasil berat terdposisi paling besar pada arus 0,3 A sebesar 0,1387 gr, lalu untuk pengaruh posisi elektroda di dapatkan hasil berat terdposisi paling besar pada arus 0,2 A dengan posisi tidak terbalik sebesar 0,0522 gr, kemudian pada variasi waktu didapatkan hasil berat terdposisi terbaik dengan waktu 30 menit sebesar 0,1387 gr.
3. Pada penguraian atau degradasi warna larutan *Methyl Orange* dengan elektrofenton berkatalis Fe_3O_4 selama 60 menit dengan arus 0.2 A, didapatkan nilai efisiensi dan efektivitas tertinggi dengan penggunaan karbon felt yang telah dielektrodposisi dengan arus 0,3 A selama 30 menit yaitu sebesar 74.8946% penguraian larutan MO dengan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-VIS.

5.2 Saran

Berdasarkan diskusi serta evaluasi dilapangan yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat dijadikan pembelajaran bagi peneliti-peneliti selanjutnya yaitu diharapkan untuk lebih teiliti lagi dalam melakukan proses-proses atau tahapan-tahapan yang dilakukan, dan lebih berhati-hati lagi saat pengumpulan data serta memperdalam pula terkait pemahaman maupun pengetahuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- 23.9: Electrolysis of Water. (2016, June 27). Chemistry LibreTexts. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introductory_Chemistry_\(CK-12\)/23%3A_Electrochemistry/23.09%3A_Electrolysis_of_Water](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introductory_Chemistry_(CK-12)/23%3A_Electrochemistry/23.09%3A_Electrolysis_of_Water)
- Abdurrahman, U., 2006. Kinerja Sistem Lumpur Aktif pada Pengolahan Limbah Cair. Surabaya.
- Al-Bat'hi, S. A. M., 2015. *Electrodeposition of Nanostructure Materials. In Electroplating of Nanostructures.* IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61389>
- Astutik T.P., Fariati, Herunata,. 2017. "Identifikasi Konsep Sukar dan Kesalahan Konsep Reaksi Redoks". (Malang: Jurnal Zarah Universitas Negeri Malang, 2017), hlm. 23.
- Bockris, J. O., & Oldfield, L. F., 1955. The oxidation-reduction reactions of hydrogen peroxide at inert metal electrodes and mercury cathodes. *Transactions of the Faraday Society*, 51(0), 249–259. <https://doi.org/10.1039/TF9555100249>
- Brillas, E., Sires, I., Oturan, M.A., 2009. Electro-Fenton process and related electrochemical technologies based on Fenton's reaction chemistry. *Chem.*
- Cabrera, L., Gutierrez, S., Menendez, N., Morales, M. P., & Herrasti, P. 2008. Magnetite nanoparticles: Electrochemical synthesis and characterization. *Electrochimica Acta*, 53(8), 3436–3441. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.12.006Rev.109,6570e6631>.
- Chaurasia, Amit & Mondal, Prasenjit., 2021. Hydrogen Production From Waste

and Renewable Resources. 10.4018/978-1-7998-4945-2.ch002.

Chen, J.X., Zhu, L.Z., 2006. Catalytic degradation of Orange II by UV-Fenton with hydroxyl-Fe-pillared bentonite in water. *Chemosphere* 65, 1249e1255.

CHM 112 finding reduction potential of Fe³⁺ to Fe²⁺ in base. (n.d.). Retrieved January 18, 2023, from https://www.chm.uri.edu/weuler/chm112/lectures/iron_reduction_base.htm

Da Pozzo, A., Merli, C., Sirés, I. et al. 2005. Removal of the herbicide amitrole from water by anodic oxidation and electro-Fenton. *Environ Chem Lett* 3, 7–11. <https://doi.org/10.1007/s10311-005-0104-0>

Dobson, J., *Gene therapy progress and prospects: magnetic nanoparticle-based gene delivery*. *Gene therapy*, 2006. 13(4): p. 283.

Dyes and Pigments | Land Disposal Restrictions | Wastes | US EPA. (n.d.). Retrieved January 6, 2022, from <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/web/html/dyes.html>

European Commission of HEALTH & CONSUMER PROTECTION DIRECTORATE-GENERAL, 2010. *Nanomaterials: 3. What are the key criteria for defining nanomaterials?* (n.d.). Retrieved January 4, 2023, from https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials2012/en/1-2/3.htm#1

Fenton, H.J.H., 1894. LXXIII. oxidation of tartaric acid in presence of iron. *J. Chem. Soc. Trans.* 65, 899e911.

Frarid, R dkk. 2012. “Perancangan dan Pembuatan Alat Pemproduksi Gas Brown dengan Metode Elektrolisis Berskala Laboratorium” *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 1, No.1, (2012) 1-4, diakses tanggal 2 April 2014

- Guangwei S., Lixuan M., and Wensheng S., 2009. Electrodeposition of one-dimensional nanostructures, *Recent Patents Nanotechnol*, 3, 182-191.
- Harahap, M. R. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1).
- Haber, F., Weiss, J., 1934. The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts. *Proc. Royal Soc. Lond. Ser. A* 147, 332e351
- Haw, C., et al. 2010., Hydrothermal synthesis of magnetite nanoparticles as MRI contrastagents. *Ceramics International*, 36(4): p. 1417-1422.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Lakshmanan, R., 2013. Application of magnetic nanoparticles and reactive filter materialsfor wastewater treatment. KTH Royal Institute of Technology.
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). *Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290.
<https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Mancy, K. H., Okun, D. A., & Reilley, C. N. (1962). A galvanic cell oxygen analyzer. *Journal of Electroanalytical Chemistry* (1959), 4(2), 65-92.
- Mengenal B3 dan Limbah B3 | Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY. (n.d.). Retrieved September 17, 2021, from <https://dlhk.jogjaprov.go.id/mengenal-b3-dan-limbah-b3>
- Mengenal Limbah B3 | Dinas Lingkungan Hidup. (n.d.). Retrieved January 6, 2022, from <https://dlh.karanganyarkab.go.id/2014/02/24/mengenal-limbah-b3/>

- Ni, M. (2010). Modeling of a solid oxide electrolysis cell for carbon dioxide electrolysis. *Chemical Engineering Journal*, 164(1), 246-254.
- Pigment | chemistry | Britannica. (n.d.). Retrieved January 6, 2022, from <https://www.britannica.com/technology/pigment>.
- Rieger, P. H. (1993). *Electrochemistry*. Springer Science & Business Media.
- Nanoparticle | Definition, Size Range, & Applications | Britannica. (n.d.). Retrieved November 30, 2021, from <https://www.britannica.com/science/nanoparticle>
- Pigment | chemistry | Britannica. (n.d.). Retrieved January 6, 2022, from <https://www.britannica.com/technology/pigment/>
- Pignatello, J.J., Oliveros, E., MacKay, A., 2006. *Advanced oxidation processes for organiccontaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry*. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 36, 1e84.
- Pozzo, Anna Da, Paola Ferrantelli, Carlo Merli, and Elisabetta Petrucci. 2005. "Oxidation Efficiency in the Electro-Fenton Process." *Journal of Applied Electrochemistry* 35 (4): 391–98. <https://doi.org/10.1007/s10800-005-0801-1>.
- Rajendran, S, R J Rathish, S S Prabha, and A Anandan. 2016. "Green Electrochemistry - A Versatile Tool in Green Synthesis: An Overview." *Portugaliae Electrochimica Acta* 34 (5): 321–42. <https://doi.org/10.4152/pea.201605321>
- Simamora, P., Manullang, M., Munthe, J., & Rajagukguk, J. (2018). The Structural and Morphology Properties of Fe₃O₄/Ppy Nanocomposite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1120, 012063. <https://doi.org/10.1088/1742->

6596/1120/1/012063

- Thiesen, B. and A. Jordan, Clinical applications of magnetic nanoparticles for hyperthermia. *International journal of hyperthermia*, 2008. 24(6): p. 467-474.
- Waluyo, L. 2010. *Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. UMM Press
- Wang, J.L., Bai, Z.Y., 2017. Fe-based catalysts for heterogeneous catalytic ozonation of emerging contaminants in water and wastewater. *Chem. Eng. J.* 312, 79e98
- Wang, J.L., Zhuang, S., 2017. Removal of various pollutants from water and wastewater by modified chitosan adsorbents. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47, 2331e2386.
- Wang, J.L., Zhuang, S., 2019. Covalent organic frameworks (COFs) for environmental applications. *Coord. Chem. Rev.* 400, 213046.
- Wang, J.L., Xu, L.J., 2012. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: formation of hydroxyl radical and application. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 42, 251e325.
- Zheng, Y.F., Gu, X.N., Witte, F., 2014. Biodegradable metals. *Mater. Sci. Eng. R* 77, 1e34.

LAMPIRAN

a. Data Perhitungan Massa Terdeposisi Pada Proses Elektrodeposisi

Variasi Arus

Sample	Waktu (menit)	Arus	Massa Carbon Felt (gr)		Berat Terdeposisi (gr)
			Sebelum	Sesudah	
1		0.1 A	3.4493	3.4935	0.0442
2		0.2 A	4.3368	4.389	0.0522
3	30	0.3 A	4.1981	4.3368	0.1387
4		0.4 A	4.2011	4.2785	0.0774
5		0.2 A (Terbalik)	4.363	4.3947	0.0317

Variasi Waktu

Sample	Waktu (menit)	Arus	Massa Carbon Felt (gr)		Berat Terdeposisi (gr)
			Sebelum	Sesudah	
1	30	0.3 A	4.1981	4.3368	0.1387
2	60		4.0173	4.0863	0.069
3	90		4.0057	4.0429	0.0372
4	120		4.0589	4.1529	0.094

Variasi Posisi Elektroda

Sample	Waktu (menit)	Arus	Massa Carbon Felt (gr)		Berat Terdeposisi
			Sebelum	Sesudah	
1	30	0.2 A	4.3368	4.389	0.0522
2		0.2 A (Terbalik)	4.363	4.3947	0.0317

b. Data Perhitungan Massa Terdeposisi Teoritis dan Aktual Pada Proses Elektrodeposisi dan Efisiensi Arus

Persamaan Penentuan Massa Teoritis

$$m = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500} \quad e = \frac{Ar}{n}$$

Keterangan :

- m : massa (gr)
e : mol electron
I : arus (ampere)
t : waktu (Sekon)
Ar : massa molar

Dimana diketahui :

- $e = \frac{Ar}{n} = 56 / 3$
I : 0,1 A, 0,2 A, 0.3 A, dan 0.4 A
t : 30 menit atau 1800 detik
Ar : 56

Persamaan Efisiensi Arus

$$\% \text{ Efisiensi Arus} = \frac{\text{Massa Terdeposisi Aktual}}{\text{Massa Terdeposisi teoritis}} \times 100\%$$

Sehingga didapat hasil massa terdeposisi teoritis dan dari massa teoritis dapat diketahui juga efisiensi arus dengan membandingkan berat terdeposisi aktual atau praktek, dengan berat teoritis. Penentuan tersebut dapat menggunakan persamaan efisien arus terhadap massa aktual untuk variasi arus dan waktu.

Variasi Arus

Waktu (menit)	Arus (Ampere)	Berat Terdeposisi (gr)			Efficiency (%)	
		Praktek	Teoritis (val = 3)	Teoritis (val = 2)	Valensi 3	Valensi 2
30	0,1	0,0442	0,03482	0,052228	127%	85%
	0,2	0,0522	0,06964	0,104456	75%	50%
	0,3	0,1387	0,10446	0,1566839	133%	89%
	0,4	0,0774	0,13927	0,2089119	56%	37%

Variasi Waktu

Waktu (menit)	Arus (Ampere)	Berat Terdeposisi (gr)			Efficiency (%)	
		Praktek	Teoritis (val = 3)	Teoritis (val = 2)	Valensi 3	Valensi 2
30	0,3	0,1387	0,10446	0,1566839	133%	89%
60		0,069	0,20891	0,3133679	33%	22%
90		0,0372	0,31337	0,4700518	12%	8%
120		0,094	0,41782	0,6267358	22%	15%

c. Data Perhitungan Efisiensi Elektrofenton

Persamaan Efisiensi Elektrofenton / Degradasi Warna MO

$$\% \text{ Efisiensi Degradasi Limbah} = \frac{\text{Konsentrasi mula standar MO} - \text{Konsentrasi Karbon Felt} \times \text{Konsentrasi Mula Standar}}{\text{Konsentrasi Mula Standar}} \times 100\%$$

Konsentrasi / Absorbansi Larutan MO dibandingkan terhadap Absorbansi Larutan Setelah Proses Elektrofenton menggunakan Karbon Felt terlapis nanopartikel Sebagai Elektroda

Hasil data Efisiensi Elektrofenton dengan Variasi Arus (30 Menit)

Carbon Felt Elektrodeposisi Arus (A)	Absorbansi			AVG Value	Efficiency of Color Degradation
0.1	0.779	0.781	0.784	0.781333333	67%
0.2	0.627	0.626	0.626	0.626333333	74%
0.3	0.596	0.596	0.596	0.596	75%
0.4	0.651	0.65	0.65	0.650333333	73%
Carbon Felt Tanpa Elektrodeposisi	0.85	0.849		0.8495	64%
Larutan MO	2.374				

Hasil data Efisiensi Elektrofenton dengan Variasi Waktu (0.3 A)

Carbon Felt Elektrodeposisi Waktu	Absorbansi			AVG Value	Efficiency of Color Degradation
30 menit (MO Lama)	0.596	0.596	0.596	0.596	74%
60 menit (MO baru)	1.039	1.041	1.041	1.040333333	62%
90 menit (MO lama)	0.82	0.81	0.82	0.816666667	67%
120 menit (MO baru)	0.967	0.967	0.966	0.966666667	65%
MO Baru	2.765	2.772	2.763	2.766666667	
MO Lama	2.477	2.476	2.476	2.476333333	

d. Data Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy)

Hasil Analisa Sampel Pengukuran Nano Partikel.

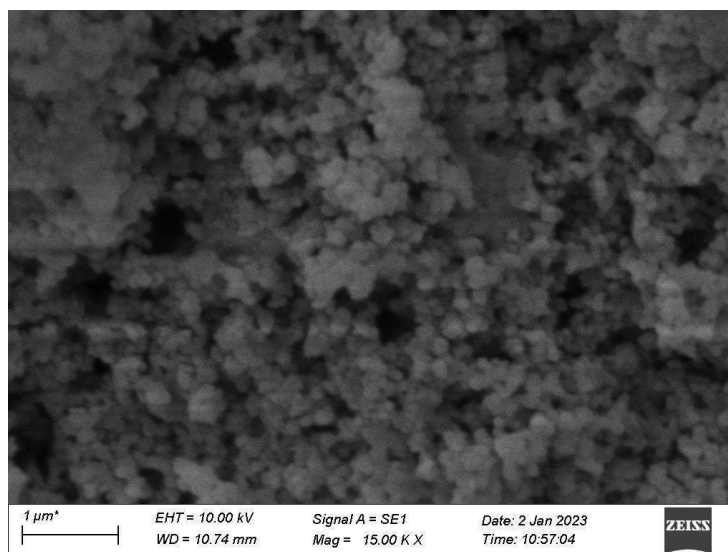
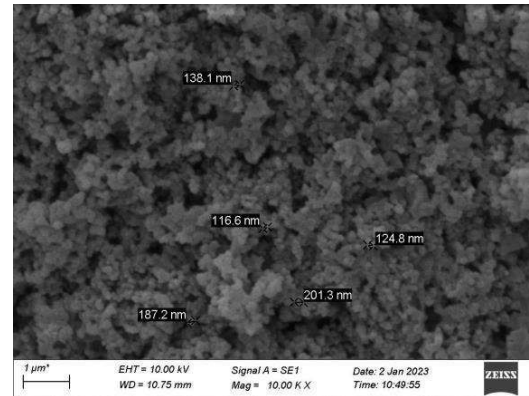
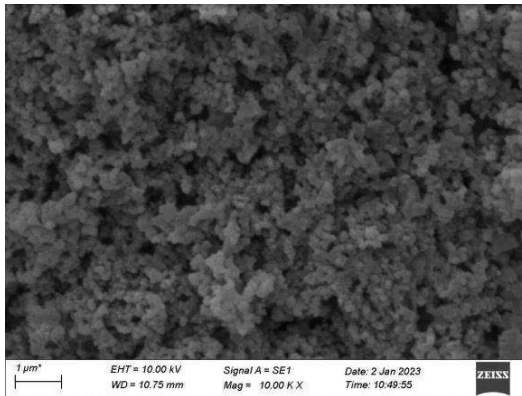
No.	Diameter Terukur (nm)	persen nanopartikel	Persentase	AVG Size (nm)
1	75,27			
2	85,68	4/15 x 100	27%	
3	90,02			
4	94,23			
5	107,4			
6	112,2			
7	116,6			
8	124,8 nm			130,22
9	136,1			
10	136,9	11/15 x 100	73%	
11	147,8			
12	148,2			
13	187,2			
14	189,6			
15	201,3			

Test Report

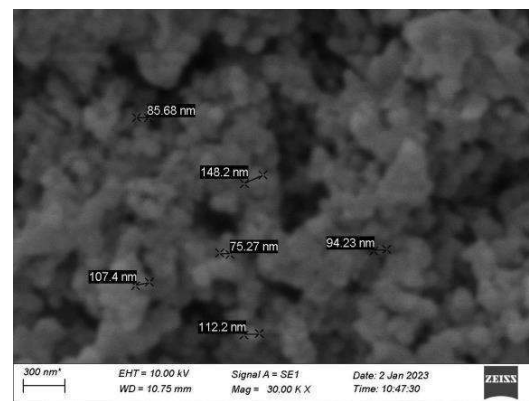
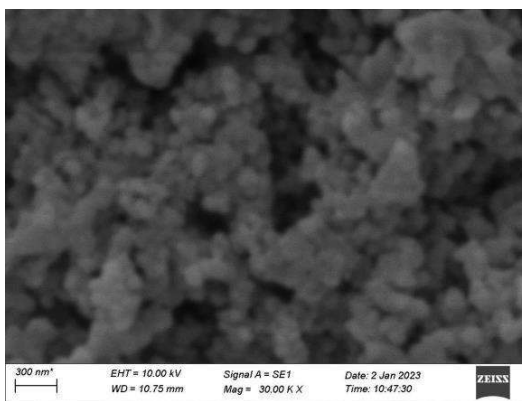
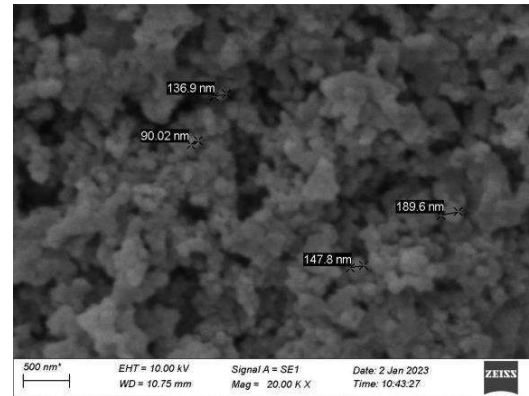
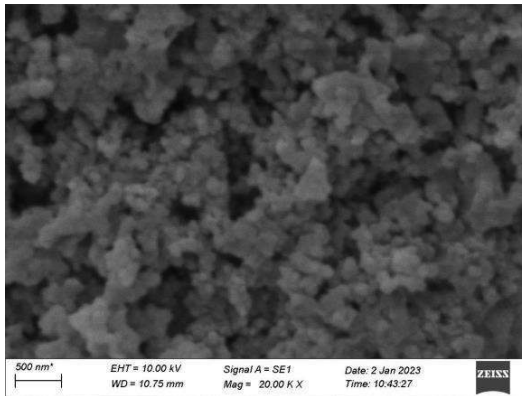
Name of Project	SEM 082 - Carbon Felt
User Name	Safitri Mukti Rahayu
Name of the Test	SEM
Test Date	January 02, 2023

Test Runs Image

SAMPLE A



EVO 10 - CARL ZEISS



Test Conditions

Sample	Carbon Felt
Parameters	Voltage 10kV; Sample A & 5kV; Sample B
	Magnification 10.00K - 30.00K
Preparation	Coating Au; 20mA (2min)s

Validation

Chair of Integrated Laboratory

Dr. Didied Haryono, ST., MT.
NIP. 196810062001121002

Head of Nanomaterials Laboratory

Dr. Lusiani Dewi Assaat, S.Pd., M.Si.
NIP. 198010102005012003