

## **TUGAS AKHIR**

### **PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK CV. BATIK INDAH RARADJONGGRANG YOGYAKARTA DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI DITINJAU DARI PARAMETER *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DAN WARNA**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan Guna  
Memperoleh Derajat Sarjana Strata-1 Teknik Lingkungan



**Disusun Oleh :**

**Nama : INDAH PURWANINGSIH**

**NIM : 02 513 126**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2008**

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK CV. BATIK  
INDAH RARADJONGGRANG YOGYAKARTA  
DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI DITINJAU DARI  
PARAMETER *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DAN WARNA**

Nama : INDAH PURWANINGSIH

NIM : 02 513 126

Program Studi Teknik Lingkungan

Telah diperiksa & disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

LUQMAN HAKIM, ST., MSi.

ANDIK YULIANTO, ST., MT.

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Lingkungan,

LUQMAN HAKIM, ST., MSi.

## MOTTO

**Awali gerakmu dengan "Bismillahirrahmannirrahim"  
(Ulama Shalihin)**

Allah meninggikan orang yang beriman dan orang yang di  
beri ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.  
(QS 58:11)

*Ilmu itu bagai lautan dan tak akan ada yang mengenalnya kecuali merasakannya  
(Sayyidil Walid)*

*Kalau Tuhan tidak menjadikan perhambaan dan perbudakan, tentu tidak akan timbul keinginan  
hendak mengejar kemerdekaan. Memang kalau tiada kesakitan, orang tidak mempunyai  
keinginan untuk mengejar kesenangan. Oleh itu tidak keterlaluan jika dikatakan bahwa sakit  
dan pedih adalah tangga menuju kejayaan.  
(Hamka)*

Sebaik-baik pekerjaan ialah sederhana,  
Keindahan dalam dasar kelakuan dan bahasa ialah kesederhanaan.

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan yang Maha Esa, Pencipta Alam semesta berserta isinya dan tempat berlindung bagi Umat-nya. Shalawat serta salam terlimpahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW.

*Alhamdulillahirobbil'alamin* atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH METODE ELEKTROKOAGULASI TERHADAP KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK CV. BATIK INDAH RARADJONGGRANG YOGYAKARTA”**

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat dorongan dan motivasi, bantuan, bimbingan dan arahan, serta adanya kerja sama dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah penulis mengatitkan banyak terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Luqman Hakim, ST., MSi., selaku dosen pembimbing I dan sebagai Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya.
2. Bapak Andik Yulianto, ST., MT., selaku dosen pembimbing II, atas nasehat dan arahnya.
3. Ibu Any juliani, ST., MSc., selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Papa dan Mama serta adik-adik (Ajie Wikana, Danang Priyambodo Tricahyo) tercinta, atas cinta dan kasih sayang serta do'a dan motivasi yang diberikan selama ini.
5. Bapak Ir. H. Kasam, MT. ; Bapak Hudori, ST. ; Bapak Eko Siswoyo, ST. ; Ibu Yureana, ST., MSc. ; Bapak Ir Hananto Hadi Purnomo, MSc., dan seluruh dosen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, atas ilmu yang telah diberikan.
6. Bapak Agus Adi Prananto, selaku bagian pengajaran urusan administrasi tugas di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

7. Pak Tasyono dan Mas Iwan Ardiyanta, laboran Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Terima kasih atas segala bentuk bantuan dan suportnya.
8. Pimpinan dan karyawan CV. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta. Terima kasih atas kerjasama dan bantuan yang diberikan.
9. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penyelesaian laporan ini.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca yang berkaitan dengan keilmuan maupun dapat menjadi studi literatur bagi penelitian yang berhubungan.

*Wassalamu'alaikum Wr.Wb*

Yogyakarta, Juni 2008

Penulis

Indah Purwaningsih

# DAFTAR ISI

|                                                                  | Halaman    |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                       | <b>i</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                                   | <b>ii</b>  |
| <b>MOTTO .....</b>                                               | <b>iii</b> |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                      | <b>iv</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                          | <b>vi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                        | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                       | <b>x</b>   |
| <b>INTISARI .....</b>                                            | <b>xi</b>  |
| <b>ABSTRAKS .....</b>                                            | <b>xii</b> |
| <br><b>BAB I    PENDAHULUAN</b>                                  |            |
| 1.1. Latar Belakang .....                                        | 1          |
| 1.2. Perumusan Masalah .....                                     | 2          |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                                     | 3          |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                                    | 3          |
| 1.5. Batasan Masalah .....                                       | 3          |
| <br><b>BAB II   TINJAUAN PUSTAKA</b>                             |            |
| 2.1. Proses Pembuatan Batik Secara Umum .....                    | 4          |
| 2.2. Limbah Industri Batik .....                                 | 7          |
| 2.3. Karakteristik Air Limbah Batik .....                        | 7          |
| 2.4. Pengaruh Limbah Industri Batik<br>Terhadap Lingkungan ..... | 9          |
| 2.5. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik .....                 | 10         |
| 2.6. Elektrokoagulasi .....                                      | 13         |
| 2.7. Elektrolit .....                                            | 17         |
| 2.8. Plat Elektroda .....                                        | 17         |
| 2.9. Arus Listrik .....                                          | 20         |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 2.10. Waktu Kontak .....                          | 22 |
| 2.11. Parameter-Parameter Penelitian .....        | 22 |
| 2.11.1. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) ..... | 22 |
| 2.11.2. Warna .....                               | 25 |
| 2.12. Hipotesa .....                              | 28 |

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.1. Lokasi Penelitian .....                      | 29 |
| 3.2. Jenis Penelitian .....                       | 29 |
| 3.3. Waktu Penelitian .....                       | 29 |
| 3.4. Variabel Penelitian .....                    | 29 |
| 3.5. Tahap Pelaksanaan Penelitian .....           | 29 |
| 3.6. Alat dan Bahan .....                         | 30 |
| 3.6.1. Alat .....                                 | 30 |
| 3.6.2. Bahan.....                                 | 31 |
| 3.7. Langkah Penelitian .....                     | 31 |
| 3.7.1. Tahap Persiapan .....                      | 31 |
| 3.7.2. Pembuatan Alat Elektrokoagulasi .....      | 31 |
| 3.7.3. Tahapan Cara Kerja.....                    | 32 |
| 3.7.4. Pengambilan Data dan Analisa Sampel .....  | 33 |
| 3.8. Analisis Data .....                          | 33 |
| 3.9. Analisa Data Dengan Menggunakan T-Test ..... | 34 |

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Umum.....                                                            | 36 |
| 4.1.1. Konsentrasi COD .....                                              | 37 |
| 4.1.2. Konsentrasi Warna .....                                            | 41 |
| 4.2. Pengaruh Kuat Arus Terhadap<br>Konsentrasi COD dan Warna .....       | 45 |
| 4.3. Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap<br>Konsentrasi COD dan Warna ..... | 47 |

## **BAB V KESIMPILAN DAN SARAN**

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan ..... | 49 |
| 5.2. Saran .....      | 49 |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

|                                                                                      | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tabel 2.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Kecil Batik .....                      | 8       |
| Tabel 2.2. Zat Pencemar Dalam Limbah Batik Cair<br>Pada Proses Pembuatan Batik ..... | 9       |
| Tabel 4.1. Data konsentrasi COD dan Efisiensinya .....                               | 38      |
| Tabel 4.2. Data konsentrasi Warna dan Efisiensinya .....                             | 42      |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                               | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Gambar 2.1. Alur Proses Pembuatan Batik Beserta Limbahnya .....                               | 6       |
| Gambar 2.2. Proses Reduksi Oksidasi Pada Elektrokoagulasi .....                               | 18      |
| Gambar 2.3. Prinsip Kerja Elektrokoagulasi .....                                              | 18      |
| Gambar 3.1. Diagram Alir Tahap Penelitian .....                                               | 30      |
| Gambar 3.2. Alat Elektrokoagulasi .....                                                       | 32      |
| Gambar 4.1. Perubahan Konsentrasi COD terhadap Waktu, kuat Arus<br>dan Jarak Elektroda.....   | 39      |
| Gambar 4.2. Perubahan Konsentrasi Warna terhadap Waktu, kuat Arus<br>dan Jarak Elektroda..... | 43      |

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK CV. BATIK INDAH  
RARADJONGGRANG YOGYAKARTA  
DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI DITINJAU DARI PARAMETER COD  
CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) DAN WARNA**

**INTISARI**

*Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit di gunakan untuk mengolah air limbah. Penelitian ini bertujuan mengetahui tingkat efisiensi penurunan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan kadar warna yang terkandung dalam limbah cair industri batik setelah melalui proses elektrokoagulasi.*

*Penelitian dilakukan dengan menggunakan elektrokoagulasi dengan menggunakan lempengan Stainless Steel sebagai anoda bermuatan positif dan lempengan Alumunium sebagai katoda yang bermuatan negatif sebagai elektroda. Penelitian ini mengolah limbah cair batik di dalam reaktor dengan aliran turbulen dan di aliri listrik supaya ion-ion yang ada pada limbah cair batik teradsorpsi oleh ion-ion pengikat yang di lepaskan oleh elektroda pada alat elektrokoagulasi sehingga akan terjadi ikatan antara ion senyawa organik yang ada pada limbah cair batik dengan ion yang di sebabkan oleh proses elektrokoagulasi. Sampel diambil pada outlet kemudian dianalisa. Analisa laboratorium untuk parameter COD mengacu pada SNI 06-6989.2-2004 metode refluks tertutup secara spektrofotometri serta memperhatikan nilai pH. Sedangkan analisa warna mengacu pada SNI M-03-1989-F secara spektrofotometri. Hasil penelitian mengacu pada baku mutu sesuai dengan KEP. GUB. DIY. No. 281/KPTS/1998.*

*Berdasarkan hasil laboratorium, setelah dilakukan analisa menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD yang tidak signifikan dengan prosentase tertinggi mencapai 29,75 % terjadi pada menit ke 60, kuat arus 25 Volt, dengan jarak elektroda 3 cm, dimana limbah cair batik dalam suasana basa serta rata-rata pH pada waktu penelitian sebesar 10. Sedangkan penurunan konsentrasi warna maximum adalah 64,46% pada menit ke 30, 12Volt, jarak elektroda 1,5 cm. Penurunan COD dan kandungan warna di pengaruhi oleh waktu kontak, kuat arus dan jarak antar elektroda yang di gunakan pada saat melakukan pengolahan limbah cair batik dengan menggunakan elektrokoagulasi.*

**Kata Kunci :** Limbah Cair, Batik, Batik Indah Raradjonggrang, Elektrokoagulasi, COD, Kadar Warna.

**WASTE WATER TREATMENT OF BATIK INDUSTRY AT CV. BATIK INDAH  
RARADJONGGRANG YOGYAKARTA WITH ELECTROCOAGULATION METHOD  
FOR CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) AND COLOUR PARAMETERS**

**ABSTRACT**

*Electrocoagulation represent a process of coagulation using unidirectional electrics current through electro-chemical process which indication of decomposition electrolite for waste water treatment. This research aim to know the level of efficiency degradation of Chemical Oxygen Demand (COD) and colour rate which implied in waste water of batik industry after through electrocoagulation process.*

*Research electrocoagulation is using plate of Stainless Steel as positive anode contents and plate of Alumunium as cathode is negative contents as electrode. This research are waste water treatment of batik industry in reactor with the stream turbulen and be streaming of electrics so that ions exist in liquid waste of batik be string by fastener ion which discharging by electrode of appliance electrocoagulation so that will be happened by the tying of among organic compound ion which exist in waste water of industrial batik with the ion which causing by electrocoagulation process. Sample taken from outlet then be analysed. Laboratory analysis for the parameter of COD relate at SNI 06-6989.2-2004 method refluks closed by spectrofotometri and also pay attention to the value pH. Be in the analysis of colour relate at SNI M-03-1989-F by spectrofotometri. Product of the research relate at KEP. GUB. DIY. No. 281/KPTS/1998.*

*Pursuant of laboratory result, after conducted by a analysis show degradation the existence of concentration COD with the highest percentage reach 29,75 % became of 60 minute, current strength 25 Volt, with the electrode distance 3 cm, where waste water of batik industrial in basa ambience and also mean pH when research is 10. While degradation concentration of colour maximum is 64,46% at 30 minute, 12 Volt, with electrode distance 1,5 cm. Degradation of COD and colour influence by contact time, strong of current and distance of the electrode which using at the waste water processing of batik industry using electrocoagulation.*

**Keyword :** Waste Water, Batik Industrial, Batik Indah Raradjonggrang, Electrocoagulation, COD, Colour Rate.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Air adalah salah satu unsur yang sangat penting bagi lingkungan hidup. Lingkungan dapat dikatakan baik jika unsur-unsur yang menyusun lingkungan tetap terpelihara. Terjadinya pencemaran air sebagai akibat kegiatan masyarakat yang beraneka ragam serta kegiatan industri akan berakibat buruk bagi lingkungan. Pencemaran air ini dapat terjadi karena buangan limbah cair yang dihasilkan oleh industri atau pabrik yang tidak dikelola sebagaimana mestinya dan dibuang begitu saja ke aliran air atau permukaan tanah disekitarnya.

Industri yang mengalirkan buangan limbah cairnya ke aliran-aliran air disekitarnya semakin bertambah banyak, sehingga akan menyebabkan beberapa hal, seperti aliran air yang semakin tercemar, merusak tatanan kehidupan air (ikan, mikroorganisme, dan lain-lain), merusak ketersediaan air untuk kepentingan umum (misalnya: fasilitas rekreasi dan fasilitas belanja) serta tidak layak sebagai sumber persediaan air bersih. Aliran air tersebut juga tidak menjadi sehat sebagai persediaan air industri. Untuk mencegah terjadinya akibat-akibat tersebut, maka diadakan suatu upaya pengawasan atau pemantauan terhadap limbah cair yang dibuang (Mahida, 1984).

Industri Batik Indah Rara Djonggrang yang terletak di Jl. Tirtodipuran No. 18, Brontokusuman, Mergangsan, Yogyakarta adalah salah satu industri diantara puluhan industri batik yang berkembang di wilayah Yogyakarta. Dari kegiatan industri ini dapat menghasilkan limbah cair yang yang dapat mengakibatkan lingkungan dan sekitarnya menjadi tercemar dan tidak sehat. Dengan kata lain bahwa kesehatan lingkungan di lokasi tersebut akan terganggu, bahkan dapat menimbulkan berbagai penyakit.

Dalam proses produksinya, industri batik banyak menggunakan bahan-bahan kimia dan air. Bahan kimia ini biasanya digunakan pada proses pewarnaan atau pencelupan. Pada umumnya polutan yang terkandung dalam limbah industri batik dapat berupa logam berat, padatan tersuspensi, atau zat organik. Oleh karena itu apabila air buangan batik ini dialirkan langsung ke lingkungan tanpa adanya

pengolahan terlebih dahulu, maka akan menurunkan kualitas lingkungan dan merusak kehidupan yang ada di lingkungan tersebut.

Persyaratan air secara fisik meliputi kekeruhan, suhu, bau dan rasa. Kualitas air secara kimia meliputi pH, kandungan senyawa dalam air, kandungan *reside* atau sisa. Sedangkan kualitas air secara biologis, khususnya secara mikrobiologis ditentukan oleh parameter mikroba pencemar.

Air normal memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan dalam suatu kehidupan mempunyai pH berkisar antara 6,5 – 7,5. Air yang mempunyai pH lebih besar dari pH standar akan bersifat basa. Air limbah dan buangan dari kegiatan industri yang dibuang ke badan air umumnya akan mengubah pH sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air.

Adapun parameter pencemaran air buangan industri batik sangat beragam, misalnya bau, *suspended solid*, BOD, COD, warna, nitrat dan lain-lain. Langkah yang harus dilakukan untuk mengurangi pencemaran, khususnya pencemaran air adalah dengan mengolah air buangan tersebut sebelum dibuang ke badan air.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan suatu usaha untuk menurunkan parameter pencemar dengan pengolahan secara fisik. Penelitian ini mencoba memanfaatkan metode ***Elektrokoagulasi*** untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kandungan COD dan warna.

Penelitian yang dilakukan ini masih berskala laboratorium menggunakan proses *batch* dengan metode elektrokoagulasi yang diharapkan dapat menurunkan kadar COD dan warna yang terkandung dalam limbah batik.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Apakah metode elektrokoagulasi dapat menurunkan kadar COD dan warna pada limbah cair industri batik CV. Indah Rara Djonggrang?
- b. Berapakah kuat arus, jarak elektroda dan waktu kontak elektroda pada metode elektrokoagulasi yang paling berpengaruh terhadap kadar COD dan warna secara elektrokoagulasi?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh metode elektrokoagulasi terhadap kadar COD dan warna pada limbah cair industri batik.
- b. Mengetahui pengaruh kuat arus, jarak elektroda dan waktu kontak pada metode elektrokoagulasi terhadap kadar COD dan warna secara elektrokoagulasi.
- c. Menyajikan alternatif teknologi elektrokimia untuk mengolah limbah organik.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Memberikan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair industri batik.
- b. Sebagai referensi kepada penelitian berikutnya agar mencoba berbagai variasi percobaan, sehingga nantinya akan mendapatkan data yang lebih lengkap tentang kemampuan teknologi elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar COD dan warna pada limbah cair industri batik.

### 1.5. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini akan dibatasi pada masalah:

- a. Limbah cair yang diambil dari hasil proses pembatikan pada industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang.
- b. Variasi waktu kontak terhadap elektroda 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit.
- c. Variasi daya listrik 25 Volt dan 12 Volt dengan pemasangan alumunium sebagai katoda dan *stainless steel* sebagai anoda.
- d. Variasi jarak elektroda 1,5 cm dan 3 cm.
- e. Parameter yang akan diteliti adalah kandungan COD dan warna.
- f. Percobaan menggunakan metode *batch*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Proses Pembuatan Batik Secara Umum**

Teknik membuat batik adalah proses pekerjaan dari mori batik sampai menjadi kain batik. Proses pengolahan batik secara umum meliputi:

##### **1. Proses Persiapan Bahan Baku**

###### **a. Persiapan Bahan Baku Mori**

Proses persiapan bahan baku mori terdiri dari proses-proses penyediaan mori, perendaman, pengetelan, penganjian tipis, penghalusan permukaan mori dan pemolaan. Adapun maksud dari tahapan di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- perendaman dan pengetelan, dimaksudkan untuk menstabilkan dimensi, terhilangkan kanji dan zat finish lain,
- penganjian tipis dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang rata, sehingga memudahkan proses pembatikan dan penghilangan lilin batik,
- penghalusan permukaan mori dilakukan agar pemolaan dapat lebih mudah dilaksanakan.

###### **b. Persiapan Bahan Baku Lilin**

Proses persiapan bahan baku lilin batik, lilin batik dibuat dari bermacam-macam bahan yang dicampur menjadi satu dengan perbandingan tertentu sesuai dengan sifat lilin yang di kehendaki. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan lilin batik terdiri dari gondorukem, damar mata kucing, parafin, lilin tawon, gajih atau lemak binatang, minyak kelapa, dan lilin batik bekas lorodan, tetapi tidak semua bahan tersebut di atas ada dalam pembuatan lilin batik.

##### **2. Proses Pembatikan**

Adalah proses pelekatan lilin batik pada mori batik sesuai dengan pola yang diinginkan. Ada beberapa cara, antara lain :

a) Pelekatan lilin secara tulis dengan alat canting tulis, urutan pengerjaannya sebagai berikut:

- Pembatikan Klowong,

- Pembatikan Isen-isen.

b) Pembatikan Tembokan, pengerjaannya sebagai berikut:

- Pembatikan Klowong,
- Pembatikan Isen-isen,
- Pembatikan Tembokan.

Ketiga tahapan pembatikan dengan alat canting tulis dikerjakan pada dua permukaan.

c) Pelekatan lilin dengan alat cap, urutan pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- Pencapan Klowong dan Isen-isen.
- Pencapan Tembokan.

Untuk bahan mori yang tebal dan rapat kedua urutan pengecapan dilakukan pada kedua permukaan bahan, sedangkan untuk bahan mori yang tipis pengecapan dilakukan hanya pada satu permukaan saja.

### 3. Proses Pewarnaan

Proses pewarnaan batik dilakukan pada suhu kamar dan secara garis besar dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- a) Pewarnaan secara coletan, jenis warna yang digunakan antara lain zat warna rapid, zat warna indigosol dan zat warna reaktif.
- b) Pewarnaan secara celupan, zat warna yang digunakan dalam pewarnaan batik secara celupan antara lain zat warna naphthol, zat warna indanthrene, zat warna reaktif dan zat warna soja alam.

### 4. Proses Pelepasan Lilin Batik

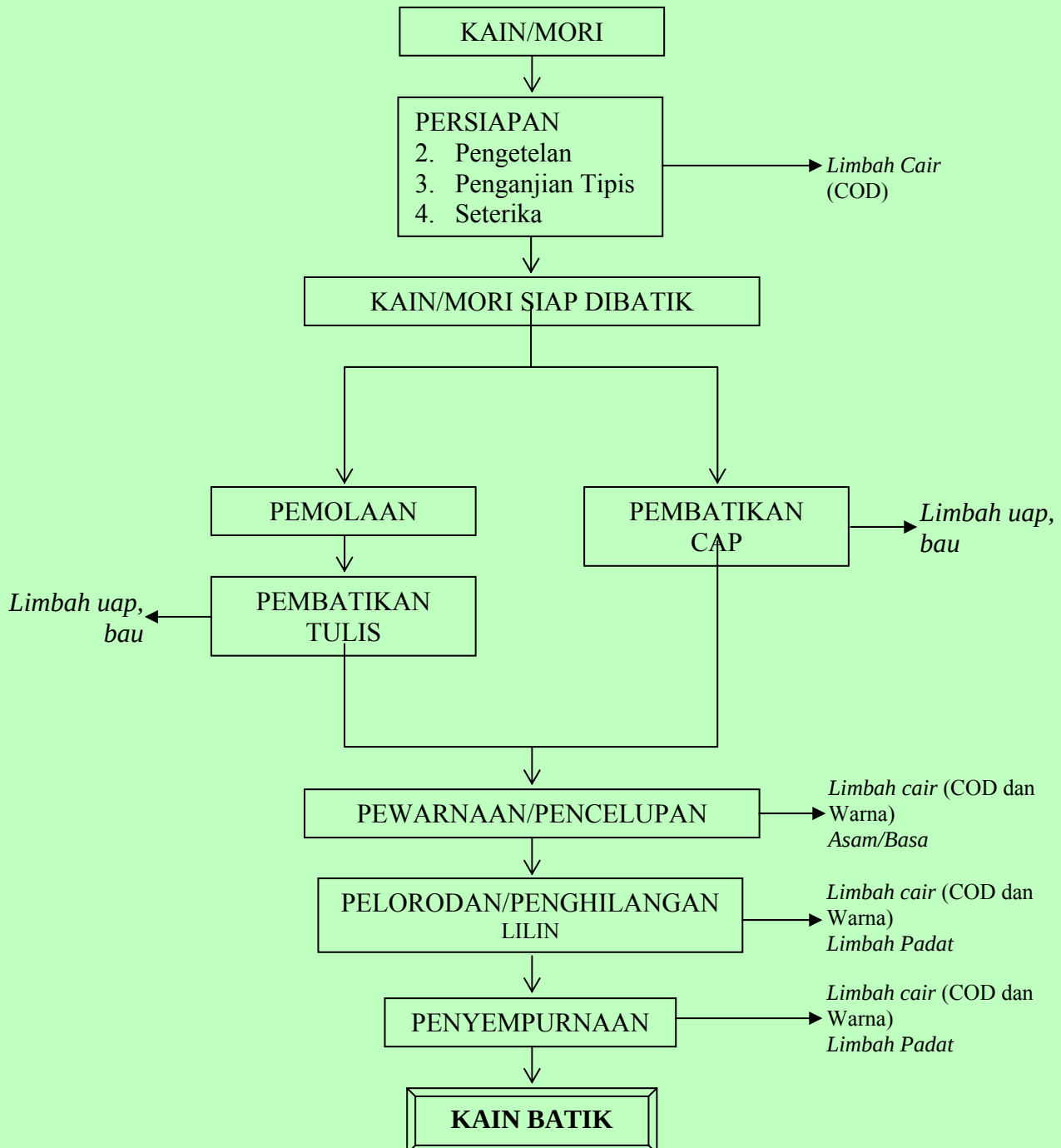
Terdiri dari 2 cara pelepasan, yaitu

- a) Proses kerokan (proses pelepasan sebagian lilin) adalah proses pelepasan sebagian batik cengan cara dikerok dan untuk penyempurnaan proses ini diperlukan adanya penyikatan dimana terlebih dahulu dalam larutan kostik soda.
- b) Proses lorodan (proses pelepasan seluruh lilin) adalah proses pelepasan lilin batik dengan cara direbus dalam air mendidih yang diberi kanji atau soda atau natrium silikat tergantung jenis bahan zat warna yang digunakan supaya proses pelepasan lilin secara keseluruhan dapat sempurna.

### 5. Proses Penyelesaian

Maksud dari proses penyelesaian adalah memperbaiki penampilan

produk batik yang dihasilkan, termasuk meningkatkan ketahanan warna dan pengemasan (Anonim, 1997).



Gambar 2.1. Alur Proses Pembuatan Batik Beserta Limbahnya  
Sumber: Anonim, 1997

## 2.2. Limbah Industri Batik

Kualitas limbah cair industri batik sangat tergantung jenis proses yang dilakukan, pada umumnya limbah cair bersifat basa dan kadar organik yang tinggi yang disebabkan oleh sisa-sisa pembatikan.

Pada proses pencelupan (pewarnaan) umumnya merupakan penyumbang sebagian kecil limbah organik, namun menyumbang warna yang kuat, yang mudah terdeteksi, dan hal ini dapat mengurangi keindahan sungai maupun perairan.

Pada proses persiapan, yaitu proses *nganji* atau penganjian, menyumbang zat organik yang banyak mengandung zat padat tersuspensi. Zat padat tersuspensi apabila tidak segera diolah akan menimbulkan bau yang tidak sedap dan dapat digunakan untuk menilai kandungan COD dan BOD.

Kebanyakan penggunaan bahan pencelup dengan struktur molekul organik yang stabil tidak dapat dihancurkan dengan proses biologis, untuk menghilangkan warna air limbah yang efisien dan efektif adalah dengan perlakuan secara biologis, fisik dan kimia (Alaerts, 1984).

## 2.3. Karakteristik Air limbah Batik

Karakteristik air limbah dapat digolongkan dalam sifat fisika, kimia dan biologi. Dengan mengetahui jenis polutan yang terdapat dalam air limbah, dapat ditentukan unit proses yang dibutuhkan.

### a. Karakter Fisika

Karakter fisika air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang diterakan kedalam skala. Bau merupakan parameter yang subyektif. Pengukuran bau tergantung pada sensitivitas indera penciuman seseorang. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Misalnya, bau seperti telur busuk menunjukkan adanya hidrogen sulfida. Pada air limbah, warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*.

b. Karakter kimia

Karakter kimia air limbah meliputi senyawa organik dan senyawa anorganik. Senyawa organik adalah karbon yang dikombinasi dengan satu atau lebih elemen-elemen lain (O, N, P, H). Saat ini terdapat lebih dari dua juta senyawa organik yang telah diketahui. Senyawa anorganik terdiri atas semua kombinasi elemen yang bukan tersusun dari karbon organik. Karbon anorganik dalam air limbah pada umumnya terdiri atas *sand*, *grit*, dan mineral-mineral, baik *suspended* maupun *dissolved*. Misalnya: klorida, ion hidrogen, nitrogen, fosfor, logam berat dan asam.

c. Karakter Biologis

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 105-108 organisme/ml. Kebanyakan merupakan sel tunggal yang bebas ataupun berkelompok dan mampu melakukan proses kehidupan (tumbuh, metabolisme, dan reproduksi). Secara tradisional, mikroorganisme dibedakan menjadi binatang dan tumbuhan. Namun, keduanya sulit dibedakan. Oleh karena itu, mikroorganisme kemudian dimasukkan kedalam kategori protista, status yang sama dengan binatang ataupun tumbuhan. Virus diklasifikasikan secara terpisah. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air.

Tabel 2.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Kecil Batik

| No. | Parameter    | Satuan | Nilai  | Baku Mutu  |
|-----|--------------|--------|--------|------------|
| 1.  | pH           | -      | 5.8    | 6 – 9      |
| 2.  | BOD          | mg/l   | 1260   | 30 – 300   |
| 3.  | COD          | mg/l   | 3039.7 | 60 – 600   |
| 4.  | TSS          | mg/l   | 855    | 100 – 400  |
| 5.  | Minyak/Lemak | mg/l   | 60.0   | 1.0 – 20.0 |
| 6.  | Phenol       | mg/l   | 0.926  | 0.1 – 2.0  |
| 7.  | Warna        | PtCo   | 185    | 50         |
| 8.  | Nitrat       | mg/l   | 82.17  | 0.06 – 5.0 |
| 9.  | Cr           | mg/l   | 0.0    | 2.0        |
| 10. | Sisa Khlor   | mg/l   | -      | 600 – 1200 |

(Sumber : Anonim, 1997), (Baku Mutu : Kep. Gubernur Kepala DIY. No: 281/KPTS/ 1998).

Pada setiap proses pembuatan batik akan menghasilkan bahan yang dapat mencemari lingkungan seperti dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Zat Pencemar dalam Limbah Batik Cair Pada Proses Pembuatan Batik

| No | Jenis Proses                                                                                                | Zat-zat Pencemar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Bahan Pencemar        |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. | Persiapan                                                                                                   | Kanji, minyak kacang, soda abu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Rendah (cair)         |
| 2. | Pembatikan                                                                                                  | Uap lilin batik.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Kontak langsung (gas) |
| 3. | Pewarnaan:<br>a. Naphtol<br><br>b. Indigosol<br><br>c. Reaktif Dingin<br><br>d. Rapid<br><br>e. Indanthreen | Naphtol, Garam Diazonium, NaOH, TRO, Kanji.<br><br>Indigosol, NaNO <sub>2</sub> , HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , TRO, Kanji.<br><br>Reaktif, NaCl, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> , TRO, Kation Aktif, Kanji.<br><br>Rapid, NaOH, Kanji.<br><br>Indanthreen, NaOH, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , TRO, NaCl, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> COOH, Kanji. | Sangat tinggi (cair)  |
| 4. | Pelepasan lilin batik                                                                                       | Lilin batik, minyak, Lemak, kostik soda, soda abu dan kanji.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Tinggi (cair, padat)  |
| 5. | Penyelesaian                                                                                                | Kanji, zat resin finishing.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Rendah (cair)         |

(Sumber : Baku Mutu : Kep. Gubernur Kepala DIY. No: 281/ KPTS/ 1998)

#### 2.4. Pengaruh Limbah Industri Batik Terhadap Lingkungan

Pengelolaan lingkungan adalah usaha atau upaya agar tanah, air dan udara tidak tercemar oleh air buangan, sehingga tidak menimbulkan pencemaran potensial lebih lanjut pada penderita pencemaran potensial yaitu manusia dan makhluk hidup lain. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tujuan pengelolaan lingkungan adalah terkendalinya dan terpeliharanya kesehatan secara menyeluruh (Sumarwoto, 1993).

Lingkungan hidup adalah kesatuan dengan kesemua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan hidup dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya (Rusidana, 2006).

Air bekas cucian pembuatan batik yang menggunakan bahan-bahan kimia banyak mengandung zat pencemar/racun yang dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan, kehidupan manusia, binatang maupun tumbuh-tumbuhan. Zat warna dapat mengakibatkan penyakit kulit dan yang sangat membahayakan adalah dapat mengakibatkan kanker kulit (Sugiharto, 1987).

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut dalam air. Hal ini mengakibatkan matinya ikan dan bakteri-bakteri di dalam air, juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman atau tumbuhan air, sehingga proses *self purification* yang seharusnya dapat terjadi pada air limbah menjadi terhambat (Sugiharto, 1987).

Semakin banyak zat organik dalam perairan akan mengalami pembusukan akibat selanjutnya adalah timbulnya bau hasil penguraian zat organik. Di samping bau yang ditimbulkannya, maka menumpuknya ampas akan memerlukan tempat yang banyak dan mengganggu keindahan tempat di sekitarnya. Dan selain bau dan tumpukan ampas yang mengganggu, maka warna air limbah yang kotor akan menimbulkan gangguan pemandangan.

## **2.5. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik**

Maksud dan tujuan pengolahan limbah cair industri batik adalah untuk menghilangkan unsur-unsur pencemar dari limbah batik dan untuk mendapatkan *effluent* dari pengolahan yang mempunyai kualitas yang dapat diterima oleh badan air penerima buangan tanpa gangguan fisik, kimia dan biologis.

Pengolahan adalah proses yang dilakukan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan akibat proses fisika, kimia dan biologi dengan melibatkan satuan operasi atau satuan proses pada unit-unit bangunan pengolahan (Tjokrokusumo, 1998).

Ada tiga cara pengolahan air limbah batik berdasarkan karakteristik, yaitu :

### **1. Pengolahan limbah cair secara fisik**

Bertujuan untuk menyisahkan atau memisahkan bahan pencemar tersuspensi atau melayang yang berupa padatan dari dalam air limbah. Pengolahan limbah cair secara fisik pada industri batik misalnya penyaringan dan pengendapan. Proses penyaringan dimaksudkan untuk memisahkan padatan tersuspensi atau padatan terapung yang relatif besar seperti lilin batik, zat-zat

warna, zat-zat kimia yang tidak larut dan kotoran-kotoran pada limbah cair. Proses penyaringan ini dilakukan sebelum limbah tersebut mendapatkan pengolahan lebih lanjut. Sedangkan proses pengendapan ditujukan untuk memisahkan padatan yang dapat mengendap dengan gaya gravitasi.

## 2. Pengolahan limbah cair secara kimia

Bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (*koloid*), menetralkan limbah cair dengan cara menambahkan bahan kimia tertentu agar terjadi reaksi kimia untuk menyisihkan bahan polutan. Penambahan zat pengendap disertai dengan pengadukan cepat menyebabkan terjadinya penggumpalan, hasil akhir proses pengolahan biasanya merupakan endapan yang kemudian dipisahkan secara fisika. Zat-zat pengendap yang ditambahkan biasanya adalah Kapur, Fero Sulfat, Feri Sulfat, Aluminium Sulfat, Feri Khlorida dan sebagainya.

## 3. Pengolahan limbah cair secara biologi

Pengolahan secara biologi ini memanfaatkan mikroorganisme yang berada di dalam air untuk menguraikan bahan-bahan polutan. Pengolahan limbah cair secara biologi ini dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Pengolahan ini digunakan untuk mengolah air limbah yang *biodegradable*.

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

- a) Reaktor pertumbuhan tersuspensi, di dalam reaktor ini mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Proses lumpur aktif, lagoon dan kolam oksida termasuk dalam jenis reaktor pertumbuhan tersuspensi.
- b) Reaktor pertumbuhan lekat, di dalam reaktor ini mikroorganisme tumbuh di atas media pendukung dengan membentuk lapisan film untuk melekatkan dirinya.

Proses pengolahan secara biologi pada prinsipnya dibedakan menjadi tiga jenis :

- Proses aerob, yang berlangsung dengan adanya oksigen,
- Proses anaerob, yang berlangsung tanpa adanya oksigen,
- Proses fakultatif, yang berlangsung dengan atau tanpa adanya oksigen.

Menurut penelitian sebelumnya (Setyaningsih 1999), melakukan penelitian tentang pengolahan limbah batik dengan proses kimia dan *adsorpsi* karbon aktif. Tujuan utamanya adalah menghilangkan warna dari limbah batik dengan menggunakan  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{Ca(OH)}_2$  sebagai koagulan. Metode yang digunakan secara *batch* terhadap perubahan waktu kontak dan konsentrasi dari variasi karbon yang digunakan. Jenis karbon aktif yang digunakan adalah tempurung kelapa, sekam padi, batu bara lokal dan batu bara impor. Hasil dari penelitian tersebut adalah penurunan warna yang paling besar dicapai dengan menggunakan karbon aktif sekam padi yaitu sebesar 95,16 %, sedangkan dengan tempurung kelapa hanya sebesar 75,81 %. Kekurangan dari penelitian tersebut diatas adalah biaya operasional terlalu mahal, dan membutuhkan koagulan dengan dosis optimum  $\text{FeSO}_4$  sebanyak 300 mg/L dan  $\text{Ca(OH)}_2$  sebanyak 200 mg/L.

Menurut penelitian Anto (2002), pengolahan limbah cair industri tekstil dengan menggunakan metode oksidasi (ozone dan ultra violet). Model pengolahan yang berdimensi (pxlxt) 2x1x1,75 m. Dimana kapasitas maksimumnya adalah 10 m<sup>3</sup>/hari dengan menggunakan power 750 Wh. Hasil dari penelitian adalah penurunan konsentrasi COD dari 4.000 – 25.000 mg/L menjadi 17 – 23 mg/L. Hasil limbah cair tekstil dengan metode oksidasi (*ozone – ultra violet*) lebih baik dari standar baku mutu kelas I sebanyak 40 mg/L. Kekurangan dari penelitian tersebut adalah biaya operasional yang mahal dikarenakan penggunaan daya listrik yang cukup banyak untuk mengolah limbah cair tekstil tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyaningsih (2002), bertujuan untuk melihat pengaruh waktu detensi, variasi konsentrasi limbah dan variasi glukosa sebagai kosubstrat dalam penyisihan warna dan penurunan organik sebagai COD dari limbah pewarnaan batik menggunakan reaktor kontinyu *fixed-bed* anaerob-aerob. Digunakan bakteri *mixed culture*, fakultatif anaerob yang telah diadaptasi dengan limbah pewarnaan batik. Dilakukan penelitian pendahuluan secara *batch* dan dapat diketahui bahwa limbah pewarnaan batik stabil pada pH netral untuk jangka waktu 4-5 hari, limbah pewarnaan batik *biodegradable*, pengolahan anaerob merupakan pilihan pengolahan pertama dari rangkaian pengolahan. Didapatkan hasil yang optimum pada pengenceran limbah 1:5, dengan persentase penurunan warna sebesar 69,3 % sedangkan persentase penurunan COD sebesar 56,6 %. Sedangkan

pada konsentrasi optimum penambahan glukosa 500 mg/L dengan persentase penurunan konsentrasi warna sebesar 44 %, dan persentase penurunan COD sebesar 79,2 %. Aklimatisasi reaktor kontinyu dilakukan pada kondisi operasional yaitu waktu kontak (td) : 27 jam. Persentase penurunan COD aerob adalah 48,9 %, pada kondisi optimum pengenceran 1:5, persentase penyisihan warna sebesar 22,52 % dan panjang gelombang 372 nm. Sedangkan pada kondisi optimum penambahan glukosa 500 mg/L didapatkan penurunan COD sebesar 49,55% dan persentase penurunan warna sebesar 33,17 %. Nilai absorbansi pada panjang gelombang 541 nm. Dari hasil penelitian didapat efluen kandungan warna primer (kuning, merah dan biru) dan konsentrasi COD (mg/L) yang telah memenuhi Baku Mutu yang berlaku. Kekurangan dari penelitian ini adalah membutuhkan waktu yang sangat lama dan biaya yang dibutuhkan sangat banyak.

Dari ketiga penelitian yang telah dilakukan, metode elektrokoagulasi yang akan digunakan lebih efisien dari segi waktu dan biaya.

## 2.6. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinyu dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana salah satu elektrodanya terbuat dari aluminium. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi dimana logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutub negatif, sedangkan elektroda positif (Fe) akan teroksidasi menjadi  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  yang berfungsi sebagai koagulan.

Proses elektrokoagulasi memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mengolah limbah cair.

### a. Kelebihan Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah sudah dilakukan sejak ratusan tahun yang lalu, tetapi nanti abad 20 ini telah ditemukan berbagai pengembangan teknologi tentang elektrokoagulasi, berikut ini kelebihan dari elektrokoagulasi :

1. Elektrokoagulasi memerlukan peralatan sederhana dan mudah untuk dioperasikan.
2. Flok yang dihasilkan elektrokoagulasi ini sama dengan flok yang dihasilkan koagulasi biasa.

3. Keuntungan dari elektrokoagulasi ini lebih cepat mereduksi kandungan koloid/partikel yang paling kecil, hal ini disebabkan pengaplikasian listrik kedalam air akan mempercepat pergerakan mereka didalam air dengan demikian akan memudahkan proses.
4. Gelembung-gelembung gas yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi ini dapat membawa polutan ke atas air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan.
5. Dapat memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi, dikarenakan tidak dipengaruhi temperatur.
6. Tidak diperlukan pengaturan pH.
7. Tanpa menggunakan bahan kimia tambahan.

b. Kelemahan Elektrokoagulasi

Ada beberapa kekurangan elektrokoagulasi ini, berikut ini kekurangan dari proses elektrokoagulasi :

1. Tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda.
2. Besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda.
3. Penggunaan listrik yang mungkin mahal.
4. Batangan anoda yang mudah mengalami korosi sehingga harus selalu diganti.

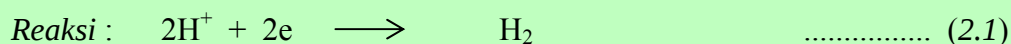
Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi, yaitu sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif (disebut kation) yang bergerak pada katoda yang bermuatan negatif. Sedangkan ion-ion negatif bergerak menuju anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan sebagai anion (bermuatan negatif).

Elektroda dalam proses elektrokoagulasi merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda. Menurut Johanes (1978) reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

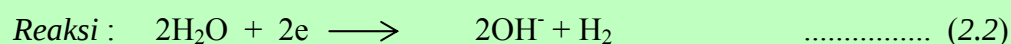
### a. Reaksi pada Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion  $H^+$  dan ion ion logam.

1. Ion  $H^+$  dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



2. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen ( $H_2$ ) pada katoda.



Dari daftar  $E^0$  (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah beralngsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

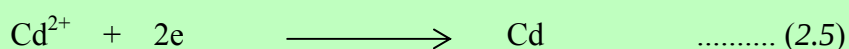
K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, (H), Sb, Bi, Cu, Hg,  
Ag, Pt, Au.

Dengan memakai deret volta, kita memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Logam-logam yang terletak di sebelah kiri H memiliki  $E^0$  negatif, sedangkan logam-logam yang terletak di sebelah kanan H memiliki  $E^0$  positif.
- b. Makin ke kanan letak suatu logam dalam deret volta, harga  $E^0$  makin besar. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi.
- c. Makin ke kiri letak suatu unsur dalam deret volta, harga  $E^0$  makin kecil. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kiri sukar mengalami reduksi serta mudah mengalami oksidasi.
- d. Oleh karena unsur-unsur logam cenderung melepaskan electron (mengalami oksidasi), maka logam-logam di sebelah kiri merupakan logam-logam yang aktif (mudah melepaskan elektron), sedangkan logam-logam di sebelah kanan merupakan logam-logam yang sukar melepaskan

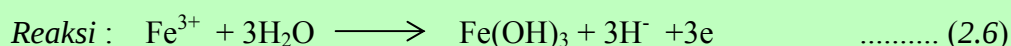
elektron. Emas terletak di ujung paling kanan, sebab emas paling sukar teroksidasi.

- e. Makin ke kanan, sifat reduktor makin lemah (sukar teroksidasi). Makin ke kiri, sifat reduktor makin kuat (mudah teroksidasi). Itulah sebabnya, unsur-unsur dalam deret volta hanya mampu mereduksi unsur-unsur di kanannya, tapi tidak mampu mereduksi unsur-unsur di kirinya.
3. Jika larutan mengandung ion-ion logam lain, maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

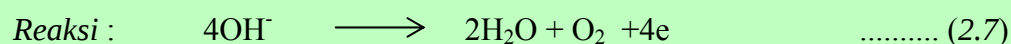


#### b. Reaksi pada Anoda

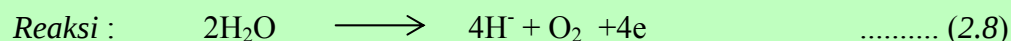
1. Anoda terbuat dari logam stainless steel akan teroksidasi:



2. Ion  $OH^-$  dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen ( $O_2$ ):



3. Anion-anion lain ( $SO_4^-$ ,  $SO_3^-$ ) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya ( $H_2O$ ) membentuk gas oksigen ( $O_2$ ) pada anoda:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit.

Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Johanes, 1978).

Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air

akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya.

Setelah air mengalami elektrokoagulasi, kemudian dilakukan proses pengendapan, yaitu berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel atau flok yang terbentuk tadi. Kemudian efluen yang dihasilkan akan dianalisa di laboratorium.

Proses pengendapan adalah pemisahan dengan pengendapan secara gravitasi dari partikel-partikel padat di dalam air. Proses yang dilakukan bertujuan untuk menurunkan partikel-partikel *discrete* yang mengendap dengan kecepatan konstan dan pengendapan partikel-partikel flok yang mempunyai kecepatan mengendap dipengaruhi pertambahan floknya sendiri (Chotib, 1998).

## 2.7. Elektrolit

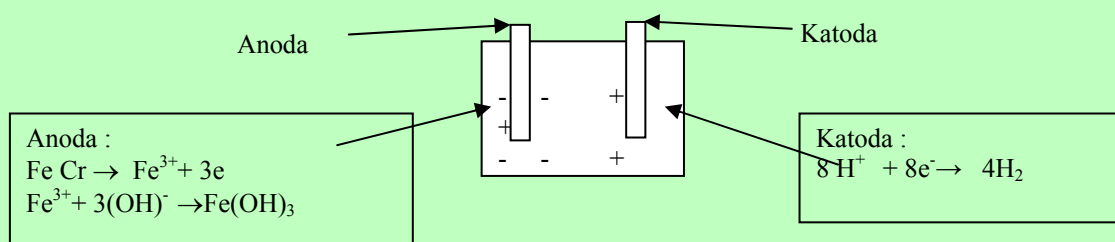
1. Suatu medium penghantar arus dimana arus mengalir disesuaikan dengan sifat zat/bahan. Keharusan seringkali pada larutan asam yang encer, basa, atau endapan tetapi terkandung beberapa media yang lain dengan ditambahkan endapan, ionisasi gas-gas, beberapa endapan dan sebagainya.
2. Suatu zat kimia yang dilarutkan dalam suatu pelarut (biasanya air), sehingga menghasilkan suatu konduksi (penghantar arus) media. Ini adalah larutan elektrolit diberikan pada elektrolit, hubungan selalu akan terjadi penepisan (pemisahan) yang merata (Johanes, 1978).

## 2.8. Plat Elektroda

Sebuah elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non-logam dari sebuah sirkuit (misal: semikonduktor, sebuah elektrolit atau sebuah vakum) (Faraday, M., 1834).

Sebuah elektroda dalam sebuah sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari voltase yang diberikan ke sel. Sebuah elektroda bipolar adalah sebuah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel dan katoda bagi sel lainnya (Faraday, M., 1834).

Elektroda terbuat dari bahan aluminium, untuk selanjutnya dipasang pada posisi katoda, dan bahan *stainless steel* dipasang pada posisi anoda dengan ukuran lebar 6 cm dengan panjang 10 cm dan tebal 8 mm. Anoda terpasang berjumlah 4 buah, sedangkan katoda terpasang berjumlah 3 buah yang dialiri arus listrik searah dan disusun secara paralel.



Gambar 2.2. Proses Reduksi Oksidasi Pada Elektrokoagulasi

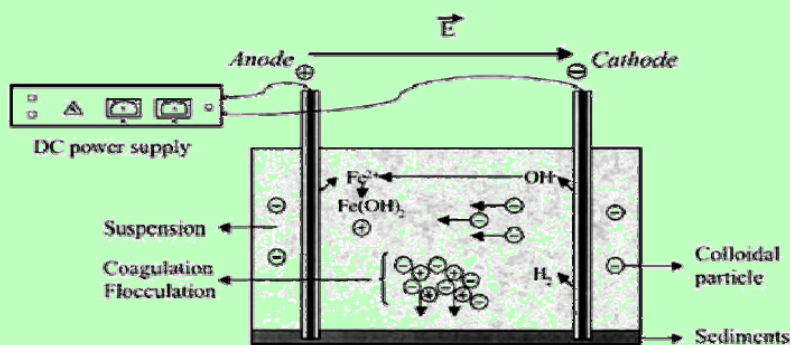
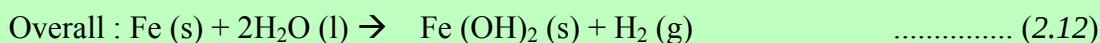
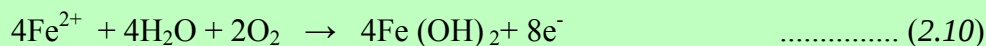


Figure 1. Principle of electrocoagulation process [15].

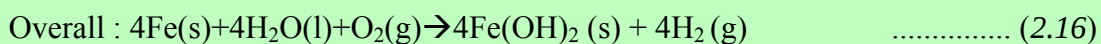
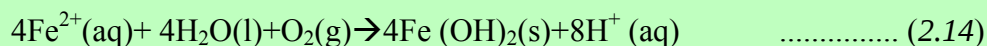
Gambar 2.3. Prinsip Kerja Elektrokoagulasi

Dari gambar 2.2. dan 2.3. diatas di jelaskan bahwa prinsip kerja elektrokoagulasi dalam membantu menurunkan COD dan warna yaitu dengan pembentukan reaksi koagulasi dan flokulasi (Faiqun, 2007). Mekanisme pembentukan terjadi pada batangan anoda dan katoda dapat ditunjukkan pada reaksi sebagai berikut:

(a) Mechanism 1 :



(b) Mechanism 2 :



Dari hasil reaksi di atas menjelaskan tentang proses reduksi pada batangan Fe sebagai elektroda dan pelepasan ion  $\text{H}^{+}$  pada saat elektrokoagulasi. Proses inilah yang membantu dalam penurunan COD yang terjadi karena pada saat elektrokoagulasi proses koagulasi dan flokulasi juga terjadi dimana karena proses flokulasi dan koagulasilah parameter COD akan turun. Selain itu diketahui bahwa molekul-molekul yang ada pada limbah cair industri batik akan terbentuk menjadi flok dimana partikel-partikel koloid pada limbah bersifat adsorpsi (penyerapan) terhadap partikel atau ion atau senyawa yang lain yang ada pada limbah, misalnya koloid  $\text{Fe(OH)}_3$  bermuatan positif karena permukaannya menyerap ion  $\text{H}^{+}$ . Prinsip proses kerja yang terjadi pada elektrokoagulasi secara umum sama seperti teori *double layer* yaitu pembentukan flokulasi partikel bersifat adsorpsi dimana elektroda positif yang teroksidasi sebagai koagulan, pada elektrokoagulasi bermuatan positif akan menyerap ion – ion negatif pada limbah seperti nitrat, phenol, nitrit dan senyawa organik lainnya dan membentuk flok yang membantu proses penurunan COD (Ramesh, 2007).

Pada teori *double layer* lingkaran terdalam akan diisi oleh koagulan bermuatan positif dan akan menyerap ion-ion negatif yang terletak pada lingkaran lebih luar, karena adanya muatan positif dan negatif bertemu maka terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dan ion negatif sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat antar ion-ion tersebut, sehingga terbentuk koagulan dimana koagulan- koagulan tersebut akan membentuk flok yang akhirnya akan menurunkan senyawa organik yang ada dalam limbah. Ion-ion lain yang terdapat pada limbah seperti logam berat akan teradsorpsi oleh koagulan dan terbentuk flok yang akan membantu menurunkan parameter logam berat akan tetapi untuk logam berat sangat sedikit sekali pengaruhnya terhadap penurunan COD karena logam berat bermuatan negatif akan lebih banyak teradsorpsi oleh koagulan dibandingkan dengan senyawa organik sehingga senyawa non organik tidak berpengaruh terhadap penurunan COD.

Pemasangan anoda dan katoda disesuaikan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Su-Hee Shin (2004). Dalam penelitian tersebut digunakan 2 anoda yang terbuat dari *carbon steel* dan 2 buah katoda yang terbuat dari *stainless steel*, dengan diameter anoda masing-masing 1,2 cm dan 1,7 cm. Sedangkan untuk katode, masing-masing berdiameter 2,1 cm dan 2,7 cm, tinggi 33 cm. Lama proses elektrokoagulasi yang dijalankan adalah 30-60 menit dalam volume limbah 3 liter.

Sedangkan untuk luasan yang digunakan berdasarkan pada penelitian Faiqun (2007). Penelitian itu menggunakan besi sebagai anoda dan katodanya. Ukuran besi yang digunakan adalah 130 mm x 50 mm x 4 mm, total luasan efektif elektroda 142,40 cm<sup>2</sup> dengan jarak antar elektroda 50 mm dan kuat arus listrik 30 V/10 A, digunakan untuk mengolah volume limbah 2000 mL. Pengadukan yang dilakukan 100 rpm selama 30 menit

Dimoglo (2004), melakukan penelitian dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor berukuran 15 cm x 8 cm x 8 cm dengan volume 500 mL. Elektroda yang digunakan berasal dari bahan almunium, masing-masing anoda dan katoda berjumlah 8 buah, dengan permukaan efektif 300 cm<sup>2</sup>. Jarak antar katoda yang digunakan adalah 3 mm. Elektroda dihubungkan dengan adaptor yang memiliki kuat arus berkisar antara 0-5 A dan 0-30 V. Waktu kontak yang dilakukan adalah 5-15 menit.

Rajkumar (2004), melakukan penelitian dengan proses *batch* dalam kapasitas limbah 0,5 L. Anoda dan katoda dipasang secara tegak dan paralel, dengan jarak masing-masing 1 cm. Bahan yang digunakan untuk anoda adalah *titanium*. Sedangkan katodanya menggunakan bahan *graphite carbon*. Elektroda mempunyai luasan permukaan 10 cm x 5 cm, dengan luas efektif pada limbah 27,7 cm<sup>2</sup>. Penelitian dilakukan dalam pengadukan *magnetic stirrer* pada kecepatan 200 rpm. Adaptor yang digunakan untuk mengaliri listrik elektroda adalah 1,5 Ampere di dalam voltase antara 5-5,5 Volt.

## 2.9. Arus Listrik

Dalam proses elektrokoagulasi arus yang digunakan yaitu arus searah yang berfungsi sebagai sumber listrik yang dapat memberikan arus listrik secara konstan terhadap waktu. Disebut searah, karena medianya selalu sama, meskipun besarnya berubah-ubah (Johanes, 1978).

Dalam hal ini, arus didefinisikan sebagai jumlah perpindahan rata-rata dari muatan positif yang melewati per satuan waktu.

$$i = \frac{Q}{t} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Satuan MKS dari arus adalah 1 Coulomb per detik, disebut 1 Ampere. Banyaknya zat yang dihasilkan dari reaksi elektrokoagulasi sebanding dengan banyaknya arus listrik yang dialirkan ke dalam larutan.

Hal ini dapat digambarkan dengan hukum Faraday I:

$$\frac{W}{e} = \frac{i \cdot t}{F} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

$W$  = massa zat yang dihasilkan

$e$  = bobot ekivalen =  $\frac{Ar}{n}$

$i$  = arus dalam ampere

$t$  = waktu dalam satuan detik

$F$  = tetapan Faraday, dimana 1 faraday = 96500 Coulomb

$i \cdot t$  = arus dalam satuan Coulomb

$\frac{i \cdot t}{F}$  = arus dalam satuan Faraday

$\frac{W}{e}$  = gram ekivalen (grek)

Greka adalah mol elektron dari suatu reaksi yang sama dengan perubahan bilangan oksidasi 1 mol zat. Maka dari rumus di atas diperoleh:

$$\text{Jumlah Faraday} = \text{grek} = \text{mol elektron}$$

Dalam penentuan masa zat yang dihasilkan dalam reaksi elektrokoagulasi, biasanya data yang diketahui adalah  $Ar$  bukan  $e = Ar/n$ , sehingga rumus Faraday I menjadi:

$$W = \frac{e \cdot i \cdot t}{F} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

$n$  = Valensi atau banyaknya mol elektron untuk setiap 1 mol zat.

## 2.10. Waktu Kontak

Waktu kontak terhadap elektroda adalah faktor yang sangat berpengaruh dalam proses elektrokoagulasi, makin lama waktu kontak penempelan ion-ion logam pada elektroda semakin banyak COD dapat diturunkan, sehingga disimpulkan bahwa, waktu yang diperlukan oleh suatu tahap pengolahan sangat penting agar tujuan pengolahan dapat dicapai secara optimal (Sugiharto, 1987).

## 2.11. Parameter-Parameter Penelitian

### 2.11.1. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Untuk menyatakan kualitas air dibutuhkan beberapa parameter yang terkait. Salah satu diantaranya adalah *Chemical Oxygen Demand (COD)* atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) yang didefinisikan sebagai jumlah oksigen ( $\text{mgO}_2$ ) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri (Fardiaz, 1992).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. (Alaerts, 1984).

Menurut Metcalf and Eddy (1991), COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah, kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut

dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Cheremisionoff and Elizabeth, 1981).

COD merupakan salah satu parameter indikator penting untuk pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik, keberadaan COD di dalam lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga maupun industri, secara umum konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak.

Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan yang konvensional.

Perairan dengan nilai COD yang tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian, nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/l, sedangkan pada perairan tercemar dapat lebih dari 200 mg/l dan pada limbah industri dapat mencapai  $\pm 60.000$  mg/L. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air oleh karena itu konsentrasi COD dalam air harus memenuhi ambang batas yang ditentukan sesuai dengan industri masing-masing (SK GUB. DIY No: 281/KPTS/1998).

Analisis BOD dan COD dari suatu air limbah dan menghasilkan nilai-nilai yang berbeda karena kedua uji mengukur bahan yang berbeda. Nilai COD selalu lebih tinggi dari nilai BOD. (Jenie dan Rahayu, 1993 dalam Effendi 2003).

Perbedaan diantara kedua nilai disebabkan banyak faktor antara lain :

- a) Bahan kimia yang tahan terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak tahan terhadap oksidasi kimia seperti *lignin*.
- b) Bahan kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dan peka terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak dalam uji BOD<sub>5</sub> seperti selulosa, lemak berantai panjang atau sel-sel mikroba.
- c) Adanya bahan toksik dalam limbah yang akan mengganggu uji BOD tetapi tidak uji COD.

Menurut Benefield (1982), perbedaan COD dan BOD dapat dilihat sebagai berikut :

- a. Angka BOD adalah jumlah komponen organik *biodegradable* dalam air buangan, sedangkan tes COD menentukan total organik yang dapat teroksidasi, tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable/non biodegradable*.
- b. Beberapa substansi inorganik seperti sulfat dan tiosulfat, nitrit dan besi ferrous yang tidak akan terukur dalam tes BOD akan teroksidasi oleh kalium dikromat, membuat nilai COD – inorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
- c. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri sedangkan pada tes BOD sangat dipengaruhi aklimasi *seeding* bakteri.

Untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dapat dilakukan suatu uji yang lebih cepat dibandingkan dengan uji BOD, yaitu berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan yang disebut uji COD. Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan seperti kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) atau kalium permanganat ( $KMnO_4$ ) sebagai sumber oksigen atau *Oxidizing Agent* yang digunakan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat didalam air. (Droste, 1997).

Air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi oksidasi berwarna kuning, dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah *Kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi. Semakin banyak *Kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi, berarti semakin banyak oksigen yang diperlukan. Uji COD pada umumnya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan uji BOD, karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Selulosa adalah salah satu contoh yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit dioksidasi melalui reaksi biokimia, akan tetapi dapat diukur melalui uji COD.

### 2.11.2. Warna

#### A. Pengertian Zat Warna

Warna merupakan akibat suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air, disamping adanya bahan pewarna tertentu yang kemungkinan mengandung logam berat. Warna air limbah menunjukkan kualitasnya, air limbah yang baru akan berwarna abu-abu, dan air limbah yang sudah basi atau busuk akan berwarna gelap (Mahida, 1984). Warna tertentu dapat menunjukkan adanya logam berat yang terkandung dalam air buangan.

Yang dimaksud zat warna adalah senyawa yang dapat dipergunakan dalam bentuk larutan, sehingga penampangnya berwarna. Warna air limbah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna yang disebabkan oleh warna organik yang mudah larut dan beberapa ion logam disebut warna sejati, jika air tersebut mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dan juga oleh penyebab warna sejati, maka warna tersebut dikatakan warna semu (Chatib, 1998). Dan juga karena adanya bahan-bahan yang tersuspensi yang termasuk bersifat koloid. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Black dan Cristman (1979) ditemukan bahwa organik di dalam air limbah adalah koloid yang bermuatan negatif.

Zat warna adalah suatu senyawa yang kompleks yang dapat dipertahankan di dalam jaringan molekul-molekul. Zat warna merupakan gabungan dari zat organik yang tidak jauh, sehingga zat warna harus terdiri dari *chromogen* sebagai pembawa warna dan *Auxochrome* sebagai pengikat antara warna dan serat. *Chromogen* adalah senyawa aromatik yang berisi *Chromophore*, yaitu zat pemberi warna yang berasal dari radikal kimia, seperti kelompok azo ( $N=N$ ). agar warna dapat masuk dengan baik ke kedalam bahan yang akan diberi warna, maka diperlukan bahan dari *Auxochrome*, yaitu radikal yang memudahkan terjadinya pelarutan, misalnya kelompok pembentuk garam  $-NH_2$  atau  $OH$  (Wardhana, 1995).

Kecerahan dipengaruhi oleh warna air, semakin dalam penetrasi sinar matahari dapat menembus lapisan air, semakin produktif pula perairan tersebut. Hal ini seiring dengan banyaknya *fitoplankton* di perairan tersebut. Kekeruhan ialah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan derajat kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang.

Kekeruhan sangat berhubungan erat dengan warna perairan, sedangkan konsentrasinya sangat mempengaruhi kecerahan dengan cara membatasi transmisi sinar matahari kedalamnya.

Akibat biologis dari kekeruhan adalah menurunnya aktifitas fotosintesa tumbuhan, karena, fotosintesis secara langsung tergantung pada cahaya. Kekeruhan merupakan salah satu faktor penting yang menyangkut produktifitas perairan, serta aliran energi.

Warna yang timbul pada perairan disebabkan oleh buangan industri di hulu sungai atau dapat juga berasal dari bahan hancuran sisi-sisi tumbuhan oleh bakteri. Santaniello (1971) menyatakan bahwa industri-industri yang mengeluarkan warna adalah industri kertas dan pulp, tekstil, petrokimia, dan kimia, air yang digunakan oleh masyarakat umum diijinkan dengan kriteria bahwa air tersebut mengandung tidak lebih dari 75 unit warna (standar kobal-platinum), sedangkan yang disarankan tidak lebih dari 10 warna. Hal ini penting mengingat zat-zat warna banyak mengandung logam-logam berat yang bersifat toksis. Dismping bersifat toksis, fotosintesis juga terhambat di perairan yang mengandung 50 warna.

## B. Penggolongan Zat Warna

Jenis zat warna ada dua, yaitu:

### a. Zat Warna Alam

Zat warna alam adalah zat warna yang berasal dari alam, baik yang berasal dari tanaman, hewan, maupun bahan metal.

- Zat warna yang berasal dari tumbuhan

Tumbuhan-tumbuhan penghasil zat pewarna alami yang tumbuh di Indonesia kurang lebih sebanyak 150 jenis tanaman, tetapi yang paling efektif untuk dapat digunakan dan dapat diproduksi menjadi powder maupun dalam bentuk pasta hanya beberapa jenis saja.

Zat warna dari tumbuhan yang biasanya digunakan antara lain: *indigofera* (warna biru), *Sp Bixa orrellana* (warna orange purple), *Morinda citrifolia* (warna kuning).

- Zat warna yang berasal dari hewan

Jenis hewan yang biasa dijadikan zat warna antara lain: Kerang (*Tyran purple*), Insekta (*Ceochikal*), dan Insekta warna merah

(Loe).

b. Zat Warna Sintesis

Zat warna sintesis adalah zat warna buatan dengan bahan dasar buatan, misalnya: Hirokarbon Aromatik dan Naftalena yang berasal dari batubara.

Hampir semua zat warna yang digunakan dalam industri batik merupakan zat warna sintetik, karena zat warna jenis ini mudah diperoleh dengan komposisi yang tetap, mempunyai aneka warna yang banyak, mudah cara pemakaiannya dan harganya relatif tidak tinggi.

Menurut Susanto (1973), zat warna yang digunakan dalam proses pembatikan adalah sebagai berikut:

a. Zat Warna Naphthol

Zat warna naphthol adalah suatu zat warna tekstil yang dapat dipakai untuk mencelup secara cepat dan mempunyai warna yang kuat. Zat warna naphthol adalah suatu senyawa yang tidak larut dalam air yang terdiri dari dua komponen dasar, yaitu berupa golongan naphthol AS (*Anilid Acid*) dan komponen pembangkit warna, yaitu golongan diazonium yang biasanya disebut garam. Kedua komponen tersebut bergabung menjadi senyawa berwarna jika sudah dilarutkan. Zat warna naphthol disebut sebagai *Ingrain Coours* karena terbentuk di dalam serat dan tidak terlarut di dalam air karena senyawa yang terjadi mempunyai gugus azo.

Zat warna Naphtol dibedakan menjadi :

➤ Beta Naphtol (Zat Es)

Adalah zat warna azo yang lama, jumlah warnanya terbatas yang ada hanya merah. Orange, biru dan hijau hampir tidak ada. Golongan zat ini mempunyai ketahanan luntur yang baik, juga tahan chlor tetapi tidak begitu tahan terhadap gosokan. Zat warna golongan ini sering disebut zat warna es atau *ice colour*.

➤ Naphtol As

Adalah zat warna azo yang baru, jumlah warnanya banyak dimana hampir semua warna ada. Senyawa-senyawa naphtol As mempunyai daya serap terhadap sellulosa sehingga proses pengeringan setelah

pencelupan dengan senyawa tersebut tidak perlu dikerjakan lagi. Demikian pula tahan gosok dan hasil celupan lebih baik karena naphtol As sedikit mengadakan migrasi ke dalam garam diazonium sewaktu proses pembangkitan.

b. Zat Warna Indigosol

Zat warna indigosol disebut juga zat warna bejana larut, yaitu *leuco esier natrium* dari zat warna yang telah distabilkan, dalam proses pencelupannya perlu dibangkitkan warnanya dengan dioksidasi sehingga berubah menjadi bentuk yang tidak larut dan berwarna.

c. Zat Warna Reaktif

Zat warna reaktif adalah suatu zat warna yang dapat mengadakan reaksi dengan serat, sehingga zat warna tersebut merupakan bagian dari serat. Zat warna reaktif merupakan golongan zat warna yang mempunyai gugus aktif, sehingga dengan bahan utama akan terjadi hubungan secara *chemical linkage*. Oleh karena itu hasil pencelupan zat warna teaktif mempunyai ketahanan cuci yang sangat baik dan lebih kilap dari zat warna direk.

d. Zat Warna Indanthreen

Zat warna indanthreen merupakan salah satu zat warna bejana yang berupa puder berwarna, tidak larut dalam air. Supaya larut dalam air, perlu ditambahkan larutan kostik soda dan *Natrium hidrosulfit* sebagai zat pereduksi.

## 2.12. Hipotesa

Berdasarkan perumusan masalah dan tujuan penelitian di atas, maka dapat dikemukakan hipotesa bahwa variasi waktu kontak, jarak elektroda dan kuat arus berpengaruh terhadap kadar COD dan warna dalam proses elektrokoagulasi pada limbah cair industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang Yogyakarta.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian dilaksanakan dilaboratorium Teknik Lingkungan, BKT Teknik Sipil FTSP UII dan Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang Km. 14,4 Besi Sleman Yogyakarta, dengan sampel yang diambil dari Industri Batik Indah Rara Djonggrang yang berlokasi di Jl. Tirtodipuran No. 18, Brontokusuman, Mergangsan, Yogyakarta.

### **3.2. Jenis Penelitian**

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian terapan dengan sumber limbah dari Industri Batik Indah Rara Djonggrang yang dilaksanakan dalam skala laboratorium.

### **3.3. Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan mulai bulan November 2007 sampai dengan bulan April 2008 yang dilanjutkan dengan pengolahan data dan penyusunan laporan akhir.

### **3.4. Variabel Penelitian**

Variabel penelitian adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas meliputi :

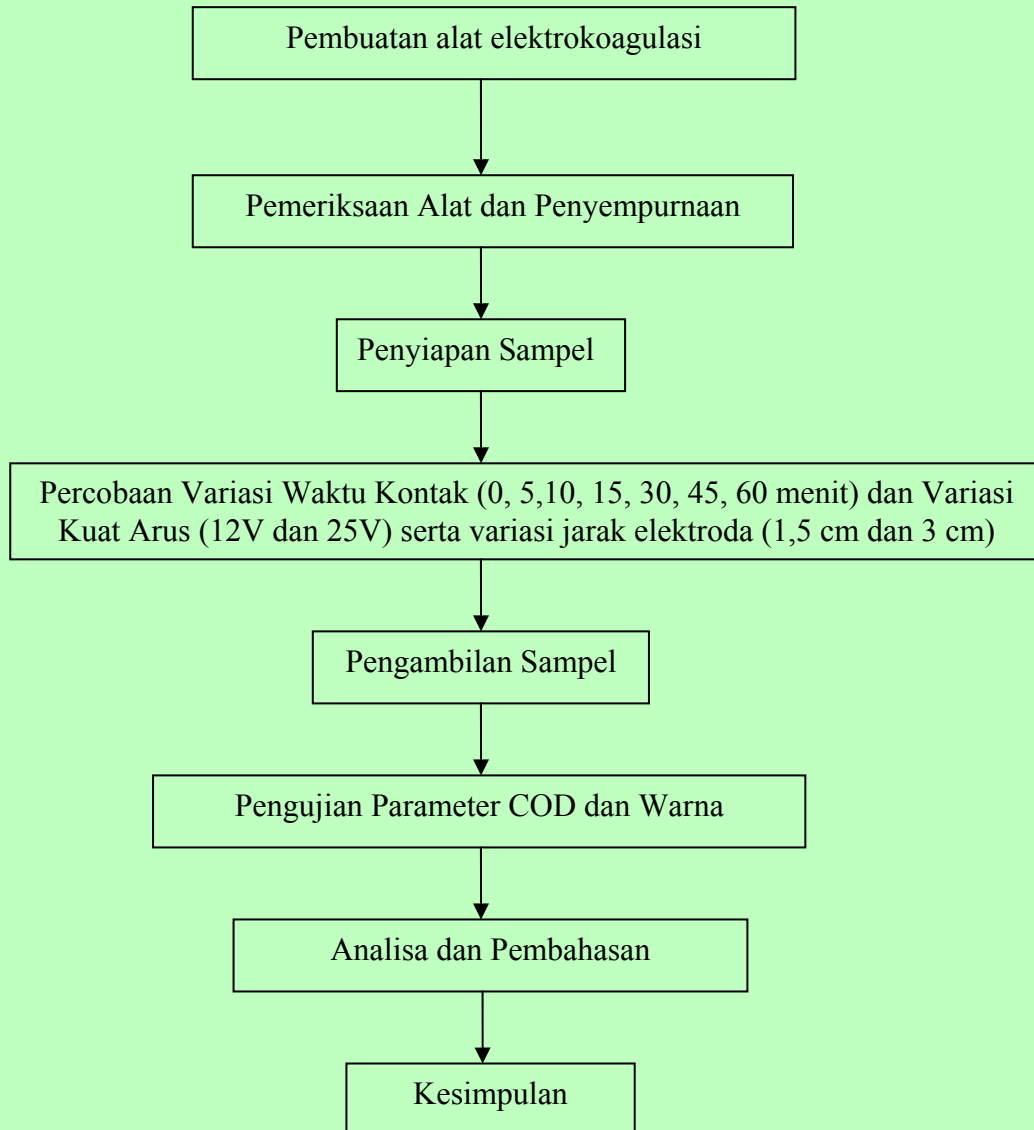
Pengolahan awal dengan metode elektrokoagulasi dengan variasi waktu kontak 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit, dengan variasi daya listrik 25 Volt dan 12 Volt. Serta variasi jarak elektroda 1,5 cm dan 3 cm.

2. Variabel terikat meliputi :

Pengaruh metode elektrokoagulasi terhadap kadar COD dan Warna yang berasal dari limbah cair Industri Batik Indah Rara Djonggrang.

### **3.5. Tahap Pelaksanaan Penelitian**

Tahap pelaksanaan penelitian dapat dilihat dalam bentuk diagram alir tahap pelaksanaan penelitian pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Tahap Penelitian

### 3.6. Alat dan Bahan

#### 3.6.1. Alat

- a. Alat Elektrokoagulasi
  1. Bak elektrokoagulasi
  2. Bak penampung air baku elektrokoagulasi
  3. Plat Aluminium 4 buah dan Plat *Stainless steel* 3 buah
  4. Adaptor dengan daya listrik 25 Volt dan 12 Volt
  5. Pengaduk (*Paddle*) dengan kecepatan 60 rpm

b. Alat Bantu

1. Voltmeter dan Amperemeter
2. Stopwatch
3. Gelas ukur 1000 ml
4. Jerigen 20 liter dan jerigen 10 liter
5. Kertas pH
6. Gayung

### 3.6.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair dari industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang Yogyakarta.

## 3.7. Langkah Penelitian

### 3.7.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dari penelitian ini adalah pengambilan sampel yang dilakukan di industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang yang berlokasi di Jl. Tirtodipuran No. 18, Brontokusuman, Mergangsan, Yogyakarta. Sebelum diambil limbah dicampur terlebih dahulu agar terjadi pencampuran yang merata, kemudian diambil dengan menggunakan gayung, air limbah di masukkan kedalam jerigen dengan gayung dan corong. Jerigen diisi penuh lalu dibawa untuk dilakukan penelitian.

### 3.7.2 Pembuatan Alat Elektrokoagulasi

Alat elektrokoagulasi ini terdiri dari dua komponen penting, yaitu:

a. Bak elektrokoagulasi

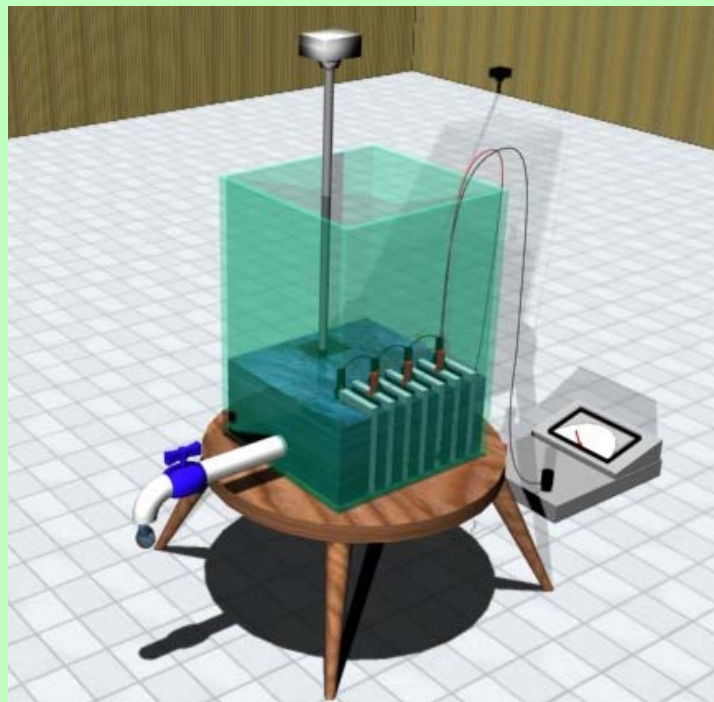
Dimensi bak terdiri dari panjang 20 cm, lebar 20 cm dan tinggi 30 cm. Bak ini terbuat dari kaca dengan tebal 0,5 cm. Penelitian ini berskala laboratorium dan dilakukan menggunakan metode *batch*.

b. Plat Elektroda

Ukuran plat elektroda yang dipakai berukuran 6 cm x 10 cm dengan tebal 8 mm. Elektroda terdiri dari 3 buah anoda yang terbuat dari bahan *Stainless steel* dan 4 buah katoda yang terbuat dari bahan

aluminium. Elektrode dipasang secara berselang antara anoda dan katoda yang dilakukan dalam 2 variasi jarak, yaitu jarak 1,5 cm dan 3 cm. Dalam proses elektrokoagulasi elektroda dialiri arus listrik searah secara paralel.

Secara keseluruhan alat Elektrokoagulasi terdiri dari: bak elektrokoagulasi, elektroda yang dihubungkan dengan adaptor, dan alat pengaduk (*paddle*). Gambar alat elektrokoagulasi disajikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Alat Elektrokoagulasi

### 3.7.3 Tahapan Cara Kerja

1. Tahapan pengoperasian alat dimulai dengan pemeriksaan bahwa semua rangkaian telah tersusun dengan benar.
2. Rangkaian alat diperiksa kembali sebelum memulai proses pengolahan.
3. Memasukkan limbah kedalam bak elektrokoagulasi sebanyak 3 liter.
4. Pengambilan sampel dilakukan pada waktu kontak 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, dan 45 menit dan 60 menit dengan cara menampung aliran outlet pada gelas ukur disertai menghidupkan *stopwatch* hingga didapatkan volume dan waktu yang diinginkan.

5. Percobaan tersebut dilakukan 4 kali, pada daya listrik 12 volt dan 25 volt. Serta jarak elektroda 1,5 cm dan 3 cm.
6. Air sampel diperiksa kadar COD dan Warna.

#### 3.7.4 Pengambilan Data dan Analisa Sampel

Proses pengambilan sampel dilakukan hanya disatu tempat, yaitu pada outlet elektrokoagulasi. Pengambilan sampel limbah dari industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang direncanakan sebanyak 29 sampel COD dan 29 sampel Warna, yang masing-masing terdiri dari :

1. Satu sampel awal.
2. 6 sampel dari (5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit) pada 12 volt dan jarak elektroda 1,5 cm.
3. 6 sampel dari (5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit) pada 12 volt dan jarak elektroda 3 cm.
4. 6 sampel dari (5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit) pada 25 volt dan jarak elektroda 1,5 cm.
5. 6 sampel dari (5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit) pada 25 volt dan jarak elektroda 3 cm.
6. Satu sampel dari pengadukan 60 menit pada 12 volt dan 1,5 cm.
7. Satu sampel dari pengadukan 60 menit pada 12 volt dan 3 cm.
8. Satu sampel dari pengadukan 60 menit pada 25 volt dan 1,5 cm.
9. Satu sampel dari pengadukan 60 menit pada 25 volt dan 3 cm.

Data percobaan ditulis dalam bentuk tabel, dari tabel tersebut didapatkan data yang paling optimal tentang perubahan COD dan Warna. Untuk analisa COD dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat *spectrofotometer*. Metode Uji yang digunakan yaitu metode Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri mengacu pada SNI 06-6989.2-2004. Sedangkan untuk analisa Warna mengacu pada SNI 1991 – Standard 2 Metode Pengujian Kualitas Fisika Air SK SNI M-03-1989-F.

#### 3.8. Analisis Data

Limbah dari industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang tersebut sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi dengan menggunakan alat

*Spektrofotometer* kemudian dibandingkan, dari hasil analisis akan dapat diketahui berapa besar pengaruh kadar COD dan Warna, setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi. Tingkat efisiensi proses elektrokoagulasi dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses, seperti rumus dibawah ini.

Perhitungan efisiensi :

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

E = Efisiensi

$S_1$  = konsentrasi COD/Warna sebelum *treatment*

$S_2$  = konsentrasi COD/Warna sesudah *treatment*

### 3.9. Analisa Data Dengan Menggunakan T-Test

Data-data dari hasil penelitian dianalisa dengan menggunakan perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t), yang bertujuan untuk menguji kemampuan generalisasi (*signifikansi*) hasil penelitian yang berupa perbandingan keadaan variabel dari dua rata-rata sampel. Atau dengan kata lain, t-test digunakan untuk menguji rata-rata variannya tidak diketahui.

Perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t) pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program komputer yaitu *Analysis Data* pada *Microsoft Excel* 2007.

Adapun langkah-langkah dalam pengerjakan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_o$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_o : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), *Standard deviasi* ( $s$ ), dan *Varians* ( $S$ ).
4. Mencari  $t_{hitung}$  dengan rumus :

$$t_{hitung} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1}{n_1} + \frac{S_2}{n_2} - 2r \left( \frac{s_1}{\sqrt{n_1}} \right) \left( \frac{s_2}{\sqrt{n_2}} \right)}} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

$r$  = nilai korelasi  $x_1$  dengan  $x_2$

$n$  = jumlah sampel

$\bar{x}_1$  = rata-rata sampel ke-1

$\bar{x}_2$  = rata-rata sampel ke-2

$s_1$  = *Standard deviasi* sampel ke-1

$s_2$  = *Standard deviasi* sampel ke-2

$S_1$  = *Varians* sampel ke-1

$S_2$  = *Varians* sampel ke-2

5. Menentukan kaidah pengujian
  - a. Taraf signifikasinya ( $\alpha$ )
  - b. Dengan menggunakan rumus  $dk = n_1 + n_2 - 2$  akan diperoleh nilai  $t_{tabel}$ .
  - c. Kriteria pengujian dua pihak

Jika  $-t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

6. Membandingkan  $t_{tabel}$  dengan  $t_{hitung}$ .
7. Membuat kesimpulan.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

#### 4.1. Umum

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinyu dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana salah satu elektrodanya terbuat dari aluminium. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi oksidasi, yaitu limbah yang mengandung logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutup negatif (Al) sedangkan elektroda positif (Fe) akan teroksidasi menjadi  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  yang berfungsi sebagai kogulan.

Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi secara *batch*. Dimana, elektrokoagulasi ini menggunakan elektroda-elektroda, yang terdiri dari: 3 anoda yang berasal dari bahan *Stainless steel* dan 4 katoda yang berasal dari bahan aluminium. Ukuran elektroda yang digunakan adalah 10 cm x 6 cm x 0,8 cm, sehingga luasan efektifnya 720 cm<sup>2</sup> dengan volume limbah batik yang dimasukkan sebanyak 3 L. Perbandingan efektif luasan dengan volume limbah adalah 240 cm<sup>2</sup>/L. Perbandingan efektif luasan dengan volume limbah tersebut sangat berpengaruh terhadap terbentuknya koagulan dari hasil reaksi antara elektroda, dimana semakin besar luasan elektroda yang bereaksi, maka semakin banyak pula koagulan yang dapat dihasilkan dalam pengolahan limbah menggunakan metode elektrokoagulasi ini.

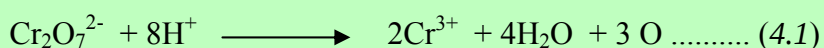
Penelitian dengan menggunakan elektrokoagulasi murni ini juga dilakukan pengadukan dengan menggunakan *paddle* yang berkecepatan 60 rpm. Dimana pengadukan tersebut digunakan agar terjadi proses pencampuran koagulan yang dihasilkan dalam air dan terjadi proses pembentukan mikro flok. Pengambilan kecepatan pengadukan ini karena, alat yang digunakan sangat terbatas, dan perputaran dari alat tersebut yang kecepatannya kecil hanya 60 rpm. Sedangkan kalau menggunakan kecepatan yang besar, kemungkinan besar akan berpengaruh merusak pembentukan koagulan dan flok dari elektrode-elektode tersebut. Elektroda yang dipasang pada alat elektrokoagulasi jaraknya bervariasi, yaitu 1,5 cm dan 3 cm. Sedangkan kuat arus yang digunakan juga bervariasi, yaitu 12 Volt dan 25 Volt.

#### 4.1.1. Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)

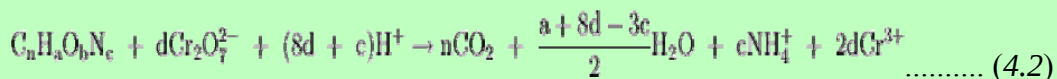
Limbah industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang sesudah proses elektrokoagulasi kemudian di analisa di laboratorium dengan menggunakan alat *spectrofotometer*. Metode Uji yang digunakan yaitu metode Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri SNI 06-6989.2-2004.

Kebutuhan oksigen kimiawi atau yang lebih dikenal sebagai *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik (yang terurai dan sukar terurai) secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat.

Untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik (Clair, 2003), khususnya yang sukar terurai diperlukan suatu oksidator kuat. Zat kimia yang bersifat oksidator kuat yang sering dipakai adalah  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Daya oksidasi  $\text{KMnO}_4$  ( $E^0=+1,59$  Volt) lebih tinggi dibandingkan dengan daya oksidasi  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ( $E^0=+1,36$  Volt). Namun dalam analisis COD, oksidator yang paling sering dipakai adalah  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Hal ini disebabkan senyawa  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  mempunyai beberapa keuntungan yaitu dapat diperoleh dengan tingkat kemurnian yang tinggi, larutannya lebih stabil, larutan standarnya mudah dibuat, mudah larut dalam air dan kelarutannya homogen. Dalam suasana asam kuat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), sebagian besar senyawa organik yang terdapat dalam air dapat dioksidasi oleh oksidator  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dalam suasana asam kuat dan adanya zat yang bisa dioksidasi (reduktor),  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  direduksi menjadi  $\text{Cr}^{3+}$  dengan melepaskan 3 atom oksigen, sesuai dengan persamaan :



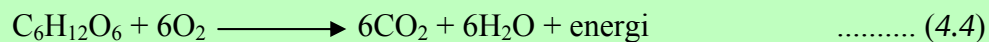
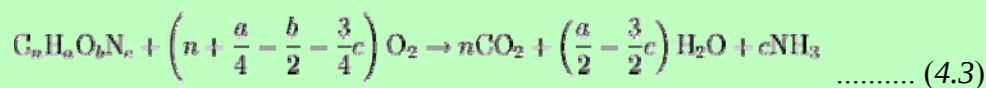
Dalam hal ini bahan buangan organik akan dioksidasi oleh Kalium dichromat menjadi gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  serta sejumlah ion Chrom. *Kalium bichromat* atau  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  digunakan sebagai sumber pengoksidasi (*oxydizing agent*) (Clair, 2003). Reaksi *Kalium dichromat* dengan bahan limbah organik akan mengikuti reaksi berikut :



(organik) Dimana :  $d = 2n/3 + a/6 - b/3 - c/2$

Reaksi tersebut perlu pemanasan dan juga penambahan katalisator perak sulfat ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) untuk mempercepat reaksi.

Dimana oksigen yang dilepaskan ini akan mengoksidasi senyawa organik yang terdapat dalam air (Clair, 2003), sesuai dengan persamaan :

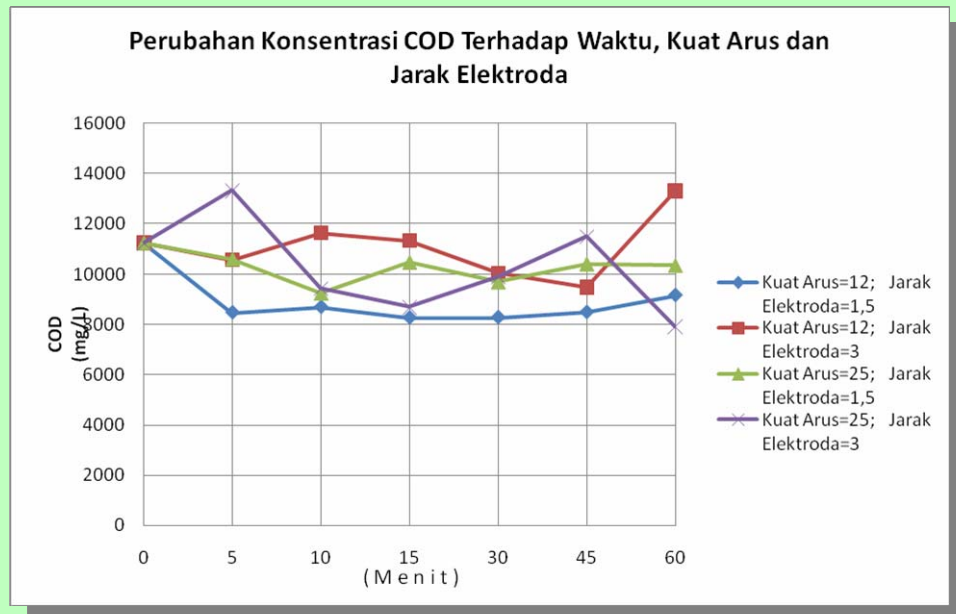


Data konsentrasi COD dan efisiensi dari hasil penelitian dengan menggunakan Elektrokoagulasi ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.1. Data Konsentrasi COD dan Efisiensinya

| No. | Faktor Pengukur |                      |                      | COD (mg/L) | Efisiensi (%) |
|-----|-----------------|----------------------|----------------------|------------|---------------|
|     | Voltase (Volt)  | Jarak Elektroda (cm) | Waktu Kontak (menit) |            |               |
| 1.  | 12              | 1,5                  | 0                    | 11233      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 8473       | 24,57         |
|     |                 |                      | 10                   | 8689       | 22,64         |
|     |                 |                      | 15                   | 8270       | 26,38         |
|     |                 |                      | 30                   | 8282       | 26,27         |
|     |                 |                      | 45                   | 8486       | 24,45         |
|     |                 |                      | 60                   | 9160       | 18,45         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 8944       | 20,38         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 11233      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 10562      | 5,97          |
|     |                 |                      | 10                   | 11631      | -3,54         |
|     |                 |                      | 15                   | 11325      | -0,82         |
|     |                 |                      | 30                   | 10028      | 10,73         |
|     |                 |                      | 45                   | 9469       | 15,71         |
|     |                 |                      | 60                   | 13309      | -18,48        |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 19083      | -69,88        |
| 2.  | 25              | 1,5                  | 0                    | 11233      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 10597      | 5,66          |
|     |                 |                      | 10                   | 9249       | 17,66         |
|     |                 |                      | 15                   | 10470      | 6,79          |
|     |                 |                      | 30                   | 9694       | 13,70         |
|     |                 |                      | 45                   | 10406      | 7,36          |
|     |                 |                      | 60                   | 10343      | 7,92          |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 8117       | 27,74         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 11233      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 13335      | -18,71        |
|     |                 |                      | 10                   | 9418       | 16,16         |
|     |                 |                      | 15                   | 8680       | 22,73         |
|     |                 |                      | 30                   | 9901       | 11,86         |
|     |                 |                      | 45                   | 11503      | -2,41         |
|     |                 |                      | 60                   | 7892       | 29,75         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 9036       | 19,56         |

Untuk lebih jelasnya, dapat ditunjukkan dengan grafik perubahan COD yang berpengaruh terhadap waktu, jarak elektroda dan kuat arus, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4.1. Perubahan Konsentrasi COD Terhadap Waktu, Kuat Arus dan Jarak Elektroda

Dari tabel 4.1. data yang diperoleh selama penelitian dengan menggunakan alat elektrokoagulasi dalam mengolah air buangan Industri Batik Indah Rara Djonggrang menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD. Penurunan konsentrasi COD pada kenyataannya belum memenuhi standard baku mutu limbah cair untuk industri batik yang ditetapkan oleh Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No. 281/KPTS/1998 adalah 100 mg/L (lampiran 4). Dari tabel 4.1. dapat diketahui bahwa efisiensi penurunan konsentrasi COD terbesar adalah 29,75% pada 25 volt, jarak 3 cm, menit ke 60. Sedangkan rata-rata efisiensi penurunan konsentrasi COD adalah 15,03 %.

Nilai konsentrasi COD yang terdapat pada gambar 4.1. menunjukkan hasil yang fluktuatif (naik-turun). Hal ini disebabkan oleh adanya gejala desorpsi, yaitu proses melepaskan kembali zat organik yang telah diadsorp, karena koagulan yang dihasilkan dari reaksi oksidasi reduksi pada proses elektrokoagulasi ini telah mengalami titik jenuh yang diakibatkan oleh zat organik (Setyaningsih. P, 2002).

Penurunan konsentrasi COD dalam elektrokoagulasi ini dikarenakan proses oksidasi dan reduksi didalam reaktor elektrokoagulasi tersebut. Pada elektroda-

elektroda terbentuk gas, gas seperti oksigen dan hidrogen ini akan mempengaruhi pereduksian COD. Berdasarkan pada teori *double layer*, penurunan COD di karenakan flok yang terbentuk oleh ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif.

Tolok ukur COD dapat digunakan untuk mengetahui banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik. Makin besar kadar oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik, maka kadar COD juga akan semakin tinggi.

Proses elektrokoagulasi berpengaruh terhadap konsentrasi COD, karena selain berdasarkan proses yang di uraikan dalam teori *double layer* pengaruh variasi waktu kontak berpengaruh terhadap efisiensi COD.

Selain itu diketahui bahwa molekul - molekul yang ada pada limbah batik akan terbentuk menjadi flok dimana partikel – partikel koloid pada limbah bersifat *adsorbsi* (penyerapan) terhadap partikel atau ion atau senyawa yang lain yang ada pada limbah misalnya koloid  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  bermuatan positif karena permukaannya menyerap ion  $\text{H}^+$ . Prinsip proses kerja yang terjadi pada elektrokoagulasi secara umum sama seperti teori *double layer* yaitu pembentukan flokulasi partikel bersifat *adsorbsi* dimana koagulan pada elektrokoagulasi bermuatan positif akan menyerap ion-ion negatif pada limbah seperti nitrit, phospat, nitrit dan senyawa organik lainnya dan membentuk flok yang membantu proses penurunan COD.

Mekanisme dari proses elektrokoagulasi sangat kompleks. Oksidasi dari proses elektrokoagulasi terjadi pada batangan anoda dan katoda dimana elektroda yang digunakan pada anoda yaitu Fe dan pada 2e- adalah Al.

Fenomena-fenomena yang terjadi pada proses elektrokoagulasi ini dapat dijabarkan dengan reaksi dibawah ini :

1. Pada permukaan elektroda positif (anoda)



2. Sekitar elektroda



3. Pada permukaan elektroda negatif (katoda)



Pada permukaan elektroda positif ini, Fe akan melepaskan elektronnya menjadi  $\text{Fe}^{2+}$  sebagai akibat dari peristiwa oksidasi.  $\text{Fe}^{2+}$  akan mengikat  $\text{OH}^-$  membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , selanjutnya akan menjadi koagulan.

Pada batangan katoda, akan melepaskan gas hidrogen menyebabkan partikel yang terdestabilisasi dalam bentuk flok akan mengapung ke atas.



Dari rumus kimia diatas terlihat pembentukan gas, gas seperti oksigen dan hidrogen ini akan mempengaruhi pereduksian COD. Gas hidrogen yang diakibatkan dari katoda akan membantu kontaminan mengapung atau terangkat, hal ini lah yang menyebabkan tereduksinya *dissolved organic* atau material terlarut termasuk flok  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang mengikat limbah organik serta menangkap sebagian limbah organik yang tidak terdeposit pada batang katoda.

Produksi  $\text{H}_2$  yang dihasilkan dari reaksi redoks akan menyebabkan *Dissolved organic* atau material terlarut dapat tereduksi. Sebagian molekul yang kecil yang terdapat pada zat terlarut pada limbah akan ditangkap pada ion  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang kemudian di removal oleh  $\text{H}_2$  sebagai senyawa organik membentuk gelembung yang dapat menurunkan COD (Julianto, 1999), tetapi penurunan yang terjadi disini belum memenuhi standard baku mutu limbah cair untuk industri batik yang ditetapkan oleh Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No. 281/KPTS/1998 yaitu sebesar 100 mg/l.

#### 4.1.2. Konsentrasi Warna

Penelitian terhadap parameter warna dimulai dengan melakukan pengujian awal terhadap kandungan warna pada limbah batik yang berasal dari bahan Organik dan Non-organik dengan menggunakan bahan-bahan yang berbahaya.

Warna dapat diamati secara visual (langsung) ataupun diukur berdasarkan skala platinum kobalt (dinyatakan dengan satuan PtCo), dengan membandingkan warna air sampel dengan warna standar. Air yang memiliki nilai kekeruhan rendah biasanya memiliki nilai warna tampak dan warna sesungguhnya yang sama dengan standar (APHA, 1976; Davis dan Cornwell, 1991 dalam Effendi, 2003).

Tes warna digunakan untuk menghitung kadar kekeruhan air yang berhubungan erat dengan konsentrasi yang mempengaruhi kecerahan air. Dilakukan

pengenceran yang bertujuan mengetahui tingkat efisiensi kadar warna yang terkandung dalam limbah batik setelah melalui proses elektrokoagulasi.

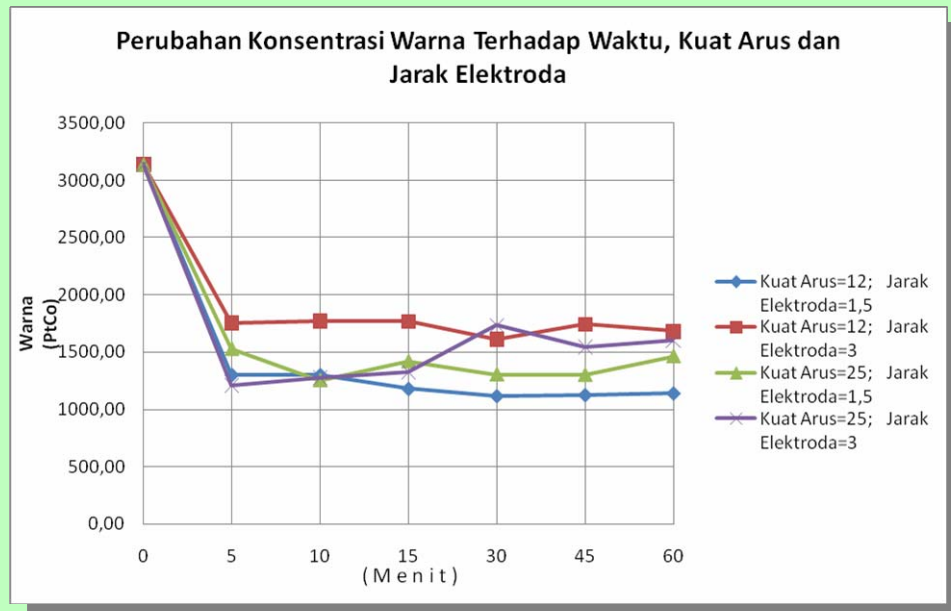
Sampel limbah industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang sesudah proses elektrokoagulasi kemudian di analisa di laboratorium dengan menggunakan alat *spectrofotometer*. Metode uji yang digunakan yaitu metode kurva kalibrasi secara spektrofotometer, mengacu pada SK SNI M-03-1989-F.

Dari penelitian ini menghasilkan data konsentrasi warna dan efisiensi dari limbah cair batik disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Konsentrasi Warna dan Efisiensinya

| No. | Faktor Pengukur |                      |                      | Warna (PtCo) | Efisiensi (%) |
|-----|-----------------|----------------------|----------------------|--------------|---------------|
|     | Voltase (Volt)  | Jarak Elektroda (cm) | Waktu Kontak (menit) |              |               |
| 1.  | 12              | 1,5                  | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 10                   | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 15                   | 1181,05      | 62,42         |
|     |                 |                      | 30                   | 1117,05      | 64,46         |
|     |                 |                      | 45                   | 1126,55      | 64,16         |
|     |                 |                      | 60                   | 1140,75      | 63,71         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1133,65      | 63,93         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1755,50      | 44,15         |
|     |                 |                      | 10                   | 1774,40      | 43,55         |
|     |                 |                      | 15                   | 1769,70      | 43,70         |
|     |                 |                      | 30                   | 1613,30      | 48,67         |
|     |                 |                      | 45                   | 1746,00      | 44,45         |
|     |                 |                      | 60                   | 1684,40      | 46,41         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1395,30      | 55,61         |
| 2.  | 25              | 1,5                  | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1529,40      | 51,34         |
|     |                 |                      | 10                   | 1254,50      | 60,09         |
|     |                 |                      | 15                   | 1420,40      | 54,81         |
|     |                 |                      | 30                   | 1306,65      | 58,43         |
|     |                 |                      | 45                   | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 60                   | 1465,40      | 53,38         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 934,60       | 70,27         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1210,40      | 61,49         |
|     |                 |                      | 10                   | 1281,50      | 59,23         |
|     |                 |                      | 15                   | 1328,90      | 57,72         |
|     |                 |                      | 30                   | 1736,50      | 44,75         |
|     |                 |                      | 45                   | 1546,90      | 50,79         |
|     |                 |                      | 60                   | 1603,80      | 48,97         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1324,20      | 57,87         |

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan konsentrasi warna terhadap waktu, kuat arus dan jarak elektroda:



Gambar 4.2. Perubahan Konsentrasi Warna Terhadap Waktu, Kuat Arus dan Jarak Elektroda

Berdasarkan tabel 4.2. diperoleh efisiensi penurunan konsentrasi warna dengan prosentase penurunan maksimum sebesar 64,46% pada menit ke 30, 12Volt, jarak elektroda 1,5 cm, dan rata-rata efisiensi penurunan konsentrasi warna adalah 55,36%.

Penurunan konsentrasi warna pada hasil penelitian belum memenuhi standard baku mutu limbah cair untuk industri batik yang ditetapkan oleh Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No. 281/KPTS/1998, kadar maksimal konsentrasi baku mutu warna adalah 50 PtCo (lampiran 4).

Warna air limbah menunjukkan kualitasnya, air limbah yang baru akan berwarna abu – abu, dan air limbah yang sudah basi atau busuk akan berwarna gelap (Mahida, 1984). Warna tertentu dapat menunjukkan adanya logam berat yang terkandung dalam air buangan (Tinsley dan Fransini, 1991).

Warna juga dapat menghambat penetrasi cahaya kedalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis yang mengandung 50 warna. Air yang digunakan masyarakat umum diijinkan dengan kriteria bahwa air tersebut tidak lebih dari 75 unit warna (standar kobal-platinum), sedangkan yang disarankan tidak lebih dari 10 warna. Hal ini penting mengingat zat-zat warna banyak mengandung logam-logam berat yang bersifat toksis. Untuk kepentingan keindahan, warna air sebaiknya tidak melebihi dari 15 PtCo. Sumber air untuk kepentingan air minum sebaiknya memiliki nilai warna antara 5–50 PtCo. Perbedaan warna pada kolam air menunjukkan indikasi bahwa semakin dalam perairan, semakin tinggi nilai warna karena terlarutnya bahan organik yang terakumulasi di dasar perairan.

Kecerahan dipengaruhi oleh warna lain, semakin dalam penetrasi sinar matahari dapat menembus air, semakin produktif pula perairan tersebut. Hal ini seiring dengan banyaknya fitoplankton di perairan tersebut. Kekeruhan ialah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan derajat kegelapan didalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan sangat berhubungan erat dengan warna perairan, sedangkan konsentrasinya sangat memengaruhi kecerahan dengan cara membatasi transmisi sinar matahari kedalamnya (Swingle, 1968 dalam Effendi 2003).

Warna juga merupakan senyawa yang dapat dipergunakan dalam bentuk larutan sehingga penampangnya berwarna. Warna air limbah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna yang disebabkan oleh warna organik yang mudah larut dan beberapa ion logam ini disebut warna sejati, jika air tersebut mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dan juga oleh penyebab warna sejati maka warna tersebut dikatakan warna semu dan juga karena adanya bahan-bahan yang tersuspensi yang termasuk koloid (Tchobanoglous, 1985).

Warna perairan pada umumnya disebabkan oleh partikel koloid bermuatan negatif, sehingga penghilangan warna di perairan dapat dilakukan dengan penambahan koagulan yang bermuatan positif, misalnya alumunium dan besi (Sawyer dan McCarty, 1978 dalam Effendi 2003).

Penurunan warna disebabkan oleh proses adsorpsi, dimana substansi molekul meninggalkan larutan limbah dan bergabung pada permukaan zat padat (koagulan) dari proses elektrokoagulasi. Proses adsorpsi disini berfungsi untuk menyisihkan senyawa-senyawa aromatik dan senyawa organik terlarut.

Pada umumnya warna yang digunakan pada industri batik CV. Batik Indah Rara Djonggrang adalah warna sintetis yaitu naphtol. Konsentrasi warna pada limbah cair yang mengandung kadar naphtol, setelah mendapat perlakuan dari elektrokoagulasi terjadi penurunan konsentrasi parameter warna hingga 55,36% dari konsentrasi awal 3143,15 PtCo dan konsentrasi rata-rata outlet adalah 1437,45 mg/L.

Metode elektrokoagulasi ini belum mampu menurunkan konsentrasi warna dengan sempurna sesuai dengan baku mutu limbah cair untuk industri batik yang ditetapkan oleh Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No. 281/KPTS/1998, kadar maksimal konsentrasi baku mutu warna adalah 50 PtCo. Hal ini disebabkan karena warna sintetis yang berasal dari naphthol, tidak seluruhnya dapat diuraikan dengan menggunakan metode ini. Untuk menurunkan konsentrasi warna pada pengolahan limbah cair industri tekstil dapat dilakukan secara kimia, fisika, biologi ataupun gabungan dari ketiganya.

#### **4.2. Pengaruh Kuat Arus Terhadap Konsentrasi COD dan Warna**

Pengaruh kuat arus terhadap konsentrasi COD dan warna diketahui dengan perhitungan analisa menggunakan Uji t.

Analisa COD dengan menggunakan Perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t) bertujuan untuk menguji kemampuan generalisasi (signifikansi hasil penelitian yang berupa perbandingan keadaan variabel dari dua rata-rata sampel).

Dari perhitungan tabel hasil analisa kuat arus, konsentrasi COD pada jarak elektroda 1,5 cm menggunakan Uji t, metode *Paired Two Sample for Means* (lampiran 11.A.), diperoleh perbedaan hasil rata-rata kuat arus untuk konsentrasi COD yang signifikan pada jarak elektroda 1,5 cm. Sedangkan pada tabel hasil analisa kuat arus, konsentrasi COD pada jarak elektroda 3 cm menggunakan Uji t (lampiran 11.B.), tidak terdapat perbedaan hasil rata-rata kuat arus untuk konsentrasi COD yang signifikan pada jarak elektroda 3cm.

Nilai signifikan antara kedua perhitungan pada tabel lampiran 11.A. dan 11.B. menunjukkan bahwa, variasi kuat arus pada jarak elektroda 1,5 cm lebih berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD daripada variasi kuat arus pada jarak elektroda 3 cm.

Analisa Warna dengan menggunakan Perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t) bertujuan untuk menguji kemampuan generalisasi (signifikansi hasil penelitian yang berupa perbandingan keadaan variabel dari dua rata-rata sampel).

Dari perhitungan tabel hasil analisa kuat arus, konsentrasi warna pada jarak elektroda 1,5 cm menggunakan Uji t, metode *Paired Two Sample for Means* (lampiran 13.A.), diperoleh perbedaan hasil rata-rata kuat arus untuk konsentrasi warna yang signifikan pada jarak elektroda 1,5 cm. Sedangkan dari perhitungan tabel hasil analisa kuat arus, konsentrasi warna pada jarak elektroda 3 cm menggunakan Uji t (lampiran 13.B.), tidak terdapat perbedaan hasil rata-rata kuat arus untuk konsentrasi warna yang signifikan pada jarak elektroda 3cm.

Nilai signifikan hasil perhitungan pada lampiran 13.A. dan 13.B. menunjukkan bahwa, variasi kuat arus pada jarak elektroda 1,5 cm lebih berpengaruh terhadap konsentrasi warna daripada variasi kuat arus pada jarak elektroda 3 cm.

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi dalam pengaruh terhadap konsentrasi COD dan warna dinyatakan bahwa hasil rata-rata yang di dapat adalah adanya pengaruh kuat arus terhadap konsentrasi COD dan warna yang terjadi pada jarak elektroda 1,5 cm.

Kuat arus pada jarak elektroda 1,5 cm lebih berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna, sedangkan kuat arus pada jarak elektroda 3 cm tidak berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa semakin dekat jarak elektroda dipasang, maka semakin besar pengaruh kuat arus terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna. Hal ini dikarenakan semakin dekat jarak elektroda, maka semakin besar koagulan yang terbentuk oleh besarnya kuat arus yang diberikan, sehingga endapan dan flok yang dihasilkan lebih banyak.

#### 4.3. Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Konsentrasi COD dan Warna

Penelitian ini juga melakukan variasi jarak elektroda. Pengaruh jarak elektroda terhadap konsentrasi COD dan warna diketahui dengan perhitungan analisa menggunakan Uji t.

Analisa COD dengan menggunakan Perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t) bertujuan untuk menguji kemampuan generalisasi (signifikansi hasil penelitian yang berupa perbandingan keadaan variabel dari dua rata-rata sampel).

Dari perhitungan tabel hasil analisa jarak elektroda, konsentrasi COD pada kuat arus 12 volt menggunakan Uji t dengan metode *Paired Two Sample for Means* (lampiran 12.A.), diperoleh perbedaan signifikan rata-rata jarak elektroda untuk konsentrasi COD pada kuat arus 12 Volt. Sedangkan hasil analisa jarak elektroda untuk konsentrasi COD pada kuat arus 25 volt menggunakan Uji t (lampiran 12.B.), tidak terdapat perbedaan signifikan rata-rata jarak elektroda untuk konsentrasi COD pada kuat arus 25 Volt.

Nilai signifikan hasil perhitungan pada lampiran 12.A. dan 12.B. menunjukkan, bahwa variasi jarak elektroda pada perlakuan kuat arus 12 Volt lebih berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD daripada variasi jarak elektroda pada perlakuan kuat arus 25 Volt.

Analisa warna dengan menggunakan Perbandingan Dua Variabel Bebas (Uji t) bertujuan untuk menguji kemampuan generalisasi (signifikansi hasil penelitian yang berupa perbandingan keadaan variabel dari dua rata-rata sampel).

Dari perhitungan tabel hasil analisa jarak elektroda, konsentrasi warna pada kuat arus 12 Volt menggunakan Uji t, metode *Paired Two Sample for Means* (lampiran 14.A.), diperoleh perbedaan signifikan rata-rata jarak elektroda untuk konsentrasi warna pada perlakuan kuat arus 12 Volt. Sedangkan pada hasil analisa jarak elektroda, konsentrasi warna pada kuat arus 25 Volt menggunakan Uji t (lampiran 14.B.), tidak terdapat perbedaan signifikan rata-rata jarak elektroda untuk konsentrasi warna pada kuat arus 25 Volt.

Nilai signifikan hasil perhitungan pada lampiran 14.A dan 14.B. menunjukkan, bahwa variasi jarak elektroda pada perlakuan kuat arus 12 Volt lebih berpengaruh terhadap konsentrasi rata-rata warna daripada variasi jarak elektroda pada perlakuan kuat arus 25 Volt.

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode

elektrokoagulasi dalam pengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna dinyatakan bahwa hasil rata-rata jarak elektroda yang di dapat adalah adanya pengaruh jarak elektroda terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna yang terjadi pada kuat arus 12 Volt.

Perlakuan variasi jarak elektroda pada kuat arus 12 Volt lebih berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna, sedangkan perlakuan variasi jarak elektroda pada kuat arus 25 Volt tidak berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi COD dan warna. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa variasi jarak dapat berpengaruh terhadap konsentrasi COD dan warna secara efektif pada perlakuan kuat arus 12 Volt. Hal ini disebabkan, karena perlakuan variasi jarak elektrode pada kuat arus 25 volt sudah bersifat elektrolit yang cukup tinggi, yang mengakibatkan terjadi hubungan singkat antar elektroda, sehingga merusak proses pengolahan limbah tersebut.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengambilan sampel langsung dari menit ke-60. Hal ini dimaksudkan sebagai pengikat dan pembanding dari sampel-sampel yang diambil tiap menit variasi waktu kontak.

Perbandingan pengambilan sampel pada menit ke-60 (pada perlakuan pengambilan sampel tiap-tiap menit) dengan pengambilan sampel akhir (sampel pada pengadukan menit ke-60) terlihat adanya perbedaan. Perbedaan ini lebih kearah konsentrasi limbah yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan, pengambilan sampel secara langsung pada menit ke-60, volume limbah yang diambil adalah tetap. Berbeda dengan pengambilan sampel menit ke-60 pada perlakuan pengambilan sampel tiap-tiap menit, terjadi pengurangan volume pada tiap-tiap pengambilan.

Dapat dikatakan, bahwa volume yang tetap pada pengambilan langsung menit ke-60, menghasilkan koagulan yang tetap banyak, yang berakibat dapat menurunkan konsentrasi COD dan warna. Sedangkan pada pengadukan ke-60 dengan pengambilan sampel pada tiap-tiap menit, volume air limbah semakin berkurang, dan luasan efektif elektroda yang berkontak dengan air limbah semakin berkurang. Sehingga koagulan yang dihasilkan semakin berkurang pada tiap menit pengambilan sampelnya.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Efisiensi penurunan maksimum konsentrasi COD adalah 29,75%, dengan efisiensi rata-rata penurunan konsentrasi COD sebesar 15,03 %.
2. Efisiensi penurunan konsentrasi warna sebesar 43,55 % - 64,46 %, dengan efisiensi rata-rata penurunan konsentrasi warna adalah 55,36%.
3. Dari variasi yang dilakukan (kuat arus, jarak elektroda dan waktu kontak) yang paling signifikan untuk menurunkan kadar COD dan warna yaitu variasi jarak elektroda 1,5 cm, kuat arus 12 volt dan waktu kontak antara 30-45 menit.
4. Metode Elektrokoagulasi ini kedepannya diharapkan bisa digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah di Indonesia pada umumnya.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan data-data sebelumnya, maka ditarik beberapa saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih maksimal :

1. Pada penelitian ini, kondisi adaptor yang digunakan kurang bagus sehingga kuat arus tidak dapat diperhitungkan karena keterbatasan alat tersebut, kedepannya hal ini agar lebih diperhatikan lagi dengan memakai adaptor yang bagus kondisinya.
2. Pada penelitian ini, kecepatan pengadukan kurang optimal karena keterbatasan alat. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menemukan alat pengaduk yang konstan dan dapat diatur kecepatannya.
3. Metode elektrokoagulasi murni yang dilakukan dapat menurunkan kadar COD dan warna. Akan tetapi, penurunan konsentrasi COD dan warna tidak sempurna, sehingga perlu adanya penambahan alat-alat pendukung pengolahan limbah dan penambahan koagulan pembantu (*Coagulan aid*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus 1990. **Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/MENKES/PER/IX/1990**. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Anonim 1991. **Kumpulan SNI Kualitas Air**. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Anonim 1994. **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1994 Tentang Pengolahan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya**. Badan Pengendali Dampak Lingkungan. Jakarta.
- Anonim 1996. **Bahan-bahan Berbahaya dan Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia**. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Anonim 1997. **Perencanaan Teknik Pengelolaan Pencemaran Industri Sekala Kecil Sentra Batik DIY**. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik. Yogyakarta.
- Anto, T. S. 2002. **LIPI Ciptakan Alat Pengolah Limbah Cair**. Bisnis Indonesia. Jakarta.
- Alaerts, dan Santika, S.S. 1984. **Metode penelitian air**. Usaha Nasional Surabaya. Indonesia.
- Astuti, Fitri. 2004. **Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Koagulan & Penyaringan (Studi Kasus di CV Batik Indah Rara Djonggrang)**. Ilmu Lingkungan. UGM. Yogyakarta.
- Benefield, L. D. 1982. **Biological Processes Design For Wastewater Treatment**. Prentice – Hall, Inc. USA.
- Chatib, B. 1998. **Pengelolaan Air Limbah**. ITB. Bandung.
- Cheremisinoff and Elizabeth. 1981. **Teknik Pengelolaan Air Buangan Industri**. Himpunan Karya Ilmiah di Bidang Perkotaan dan Lingkungan. KPPL. Jakarta.
- Clair N. Sawyer, et.al. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5<sup>th</sup> editions. McGraw-Hill. New York.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical\\_oxygen\\_demand](http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_oxygen_demand) (26/05/2008)

- Dimoglo, Anatoly, et al. 2004. Removal of Nickel, Copper and Mercury from Aqueous Solutions by Electro-Coagulation Using Aluminium Electrodes. *Journal of Environmental Engineering Department*. Vol 219 No : 4, 29 Sept - 3 Oct 2004.
- Droste, Ronald, L. 1997. **Theory and practice of water and wastewater treatment**. John Wiley & Sons. Inc, United State of Amerika.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air**. Penerbit kanisius. Yogyakarta.
- Erikarianto 2008. Pengertian BOD dan COD. [www.erikarianto.wordpress.com](http://www.erikarianto.wordpress.com). (23/05/2008)
- Faiqun, Ni'am, Moh. 2007. Removal of COD and Turbidity to Improve Waste Water Quality Using Electrocoagulation Technique. *Journal of Analytical Sciences*. Vol 11 No : 1, 2007 P : 198-205.
- Faraday, Michael. 1834. Philosophical Transactions of the Royal Society. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) (07/04/2008)
- Fardiaz, S. 1992. **Polusi Air Dan Udara**. PAU Pangan Dan Gizi. Bogor.
- Fardiaz, S. 1992. **Polusi Air dan Udara**. Kanisius. Yogyakarta.
- Gordon M. Fair, Jhon C. Geyer dan Danil A. Okum 1968 **Weste and Wastewater Engenerring**. 2<sup>nd</sup> Edition. Jhon willey and Sons Inc. New York.
- Holt, P. 2006. Electrocoagulation as a Wastewater Treatment. *Journal of Australian Environmental Engineering*. Vol. 3, November 1999.
- Johanes, H. 1978. **Listrik Dan Magnet**. Balai Pustaka. Jakarta.
- Julianto, S.T. 1999. Kerja Praktek: **Pengaruh Penambahan Poly Alumunium Chloride (Pac) Terhadap Penurunan Kadar Krom Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Balai Penelitian Dan Pengembangan Barang Industri Kulit, Karet Dan Plastik, Yogyakarta**.
- Kim, S. 2002. COD Reduction and Decolorizationof Textile Effluent Using a Combined Process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol 95 no:1, 2003 P : 102 – 105.
- Mahida, U.N. 1984. **Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri**. Rajawali. Jakarta.

- Metcalf & Eddy 1991. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse**. 3<sup>th</sup> Edition. MC. Graw- Hill. New York. America.
- Metcalf & Eddy 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. MC. Graw- Hill. New York. America.
- R. Ramesh Babu, N.S. Bhadrinarayana, K.M.Meera Sheriffa Begum, Anantharaman N. 2007. Treatment Of Tannery Wastewater By Electrocoagulation. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. Vol 42 No: 2, 2007 p: 201-206.
- Rajkumar, D. 2004. Combined electrochemical degradation and activated carbon adsorption treatments for wastewater containing mixed phenolic compounds. *Journal of Environmental Engineering*. Vol 10 No :4, 2005 P : 1-9.
- Reynold, Tom, D. 1982. **Unit Operation and Process in Environmental Engineering**. Texas ANM University. Brooks/Cole Engineering Division. Monterey. California.
- Rusidana 2006. **Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi**. STTL. Yogyakarta.
- Riyadi Slamet 1984. **Pencemaran Air**. Karya Anda. Surabaya.
- Santaniello, R.M. 1971. **Water Quality Criteria and Standart for Industrial Pollution Control Handbook**. H. F. Lund (ED). Mc Graw-Hill Inc. New York.
- Sasongko, D. 1993. **Teknik Sumber Daya Air**. Erlangga. Jakarta.
- Setyaningsih, H. 1999. Pengolahan Limbah Batik Dengan Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif.  
<http://www.digilib.ui.edu/opac/themes/libri2/detail.jsp?id=81459&lokasi=lokal>  
 (25/05/2008)
- Setyaningsih, P. 2002. Penyisihan Warna dan Biodegradasi Organik Limbah Pewarnaan Batik Menggunakan Reaktor Kontinyu Fixed Bed Anaerob-Aerob.  
[http://digilib.ampl.or.id/detail/detail.php?kode=460&row=0&tp=pustaka&ktg=tesis&kd\\_1ink=](http://digilib.ampl.or.id/detail/detail.php?kode=460&row=0&tp=pustaka&ktg=tesis&kd_1ink=)  
 (25/05/2008)
- Sugiharto. 1987. **Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah**. Universitas Indonesia. Jakarta.

- Susanto, S. S.K. 1973. **Seni Kerajinan Batik Indonesia**. Balai Penelitian Batik dan Kerajinan. Lembaga Penelitian dan Pendidikan Industri. Departemen Perindustrian Republik Indonesia.
- Su-Hee Shin, et. al. 2004, Combined Performance of Electrocoagulation and Magnetic Separation Processes for Treathment of Dye Wastewater. *Journal Department of Chemical Engineering Korean*. Vol 21 (4), 2004 P : 806 - 810.
- Sumarwoto, O. 1993. **Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri**. PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Suprpto, Hendri 2000. **Penggunaan Zat Warna Alami untuk Batik**. Kimia Tekstil. UII. Yogyakarta.
- Tchobanoglous, G. and Schroeder, E.D. 1985. **Waer Quality: Characteristics, Modeling , Modification, Addition**. Wesly Reading. M.A.
- Tinsley dan Fransini. 1991. **Chemical Concep In Pollutant Behavior**. Oregon State University. Carvallis.
- Tjou Koli Nem 1988, **Chemistry for Environmental Engineering**. Mc.Graw Hill Book Company. New York. USA.
- Tjokrokusumo 1998. **Pengantar Teknik Lingkungan**. STTL. Yogyakarta.
- Wardhana 1995. **Dampak Pencemaran Lingkungan**. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.

**LAMPIRAN**

# **GAMBAR ALAT DAN KEGIATAN**



Lokasi Industri Batik CV. Indah Rara Djonggrang di Jl. Tirtodipuran No. 18, Brontokusuman, Mergangsan, Yogyakarta.



Tempat Pengetelan Proses Pembuatan Batik.



Tempat Pewarnaan dan Pencelupan Proses Pembuatan Limbah Batik



Tempat Pelodoran Proses Pembuatan Limbah Batik



Tempat Pencucian Penyempurnaan Proses Pembuatan Limbah Batik



Proses Pengambilan Sampel Limbah Industri Batik CV. Indah Rara Djonggrang



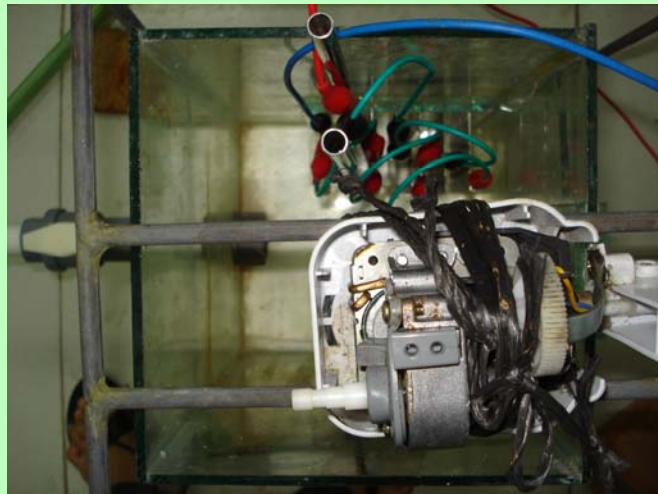
Jerigen Sebagai Alat Pengambilan Sampel



Alat Elektrokoagulasi



Adaptor



Alat Elektrokoagulasi Dengan Jarak Elektroda 1,5 cm



Alat Elektrokoagulasi Dengan Jarak Elektroda 3cm



Proses Pengolahan Limbah Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi



Lempengan Anoda Dari *Stainless steel* dan Lempengan Katoda Dari Aluminium



Proses Pengambilan Sampel Limbah Yang Siap di Uji



Sampel Limbah Industri Batik Yang Telah Diambil Dari Proses Pengolahan Dengan Metode Elektrokoagulasi



Proses Penyaringan Limbah Industri Batik Pengolahan Dengan Metode Elektrokoagulasi



Hasil Penyaringan dan Perubahan Warna Dari Sampel Awal Dengan Waktu kontak Menit ke (5, 10, 15, 30, 45, dan 60) dan Pengadukan ke-60



Thermoreaktor



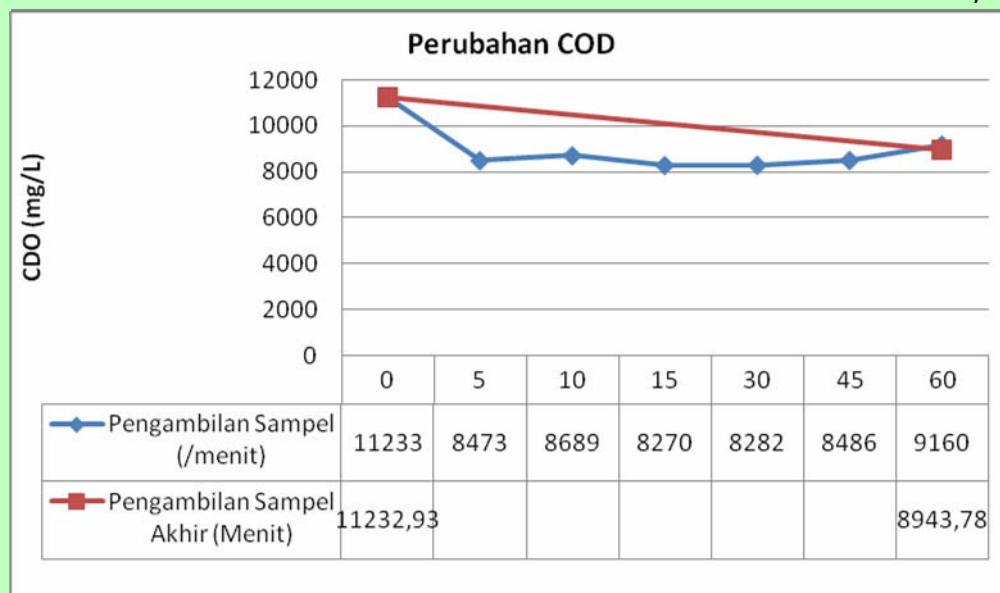
Spektrofotometri

**TABEL DATA DAN GRAFIK**  
**HASIL PEMERIKSAAN**  
***CHEMICAL OXYGEN DEMAND***  
**(COD)**

Tabel Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm

| No | No Sampel di table report | Waktu Kontak (Menit) | COD (mg/L) | Pengenceran (Kali) | Konsentrasi COD (mg/L) | Rata Konsentrasi COD (mg/L) |
|----|---------------------------|----------------------|------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1  | Awal 1                    | 0                    | 219,572    | 50                 | 10978,6                | 11233                       |
|    | Awal 2                    |                      | 208,380    | 50                 | 10419,0                |                             |
|    | Awal 3                    |                      | 246,024    | 50                 | 12301,2                |                             |
| 2  | 16 A                      | 5                    | 172,262    | 50                 | 8613,1                 | 8473                        |
|    | 16 B                      |                      | 166,667    | 50                 | 8333,4                 |                             |
| 3  | 17 A                      | 10                   | 176,841    | 50                 | 8842,1                 | 8689                        |
|    | 17 B                      |                      | 170,736    | 50                 | 8536,8                 |                             |
| 4  | 18 A                      | 15                   | 169,719    | 50                 | 8486,0                 | 8270                        |
|    | 18 B                      |                      | 161,071    | 50                 | 8053,6                 |                             |
| 5  | 19 A                      | 30                   | 173,280    | 50                 | 8664,0                 | 8282                        |
|    | 19 B                      |                      | 158,019    | 50                 | 7901,0                 |                             |
| 6  | 20 A                      | 45                   | 184,471    | 50                 | 9223,6                 | 8486                        |
|    | 20 B                      |                      | 154,967    | 50                 | 7748,4                 |                             |
| 7  | 21 A                      | 60                   | 205,837    | 50                 | 10291,9                | 9160                        |
|    | 21 B                      |                      | 160,562    | 50                 | 8028,1                 |                             |
| 8  | 22 A                      | 60 akhir             | 175,823    | 50                 | 8791,2                 | 8944                        |
|    | 22 B                      |                      | 181,928    | 50                 | 9096,4                 |                             |

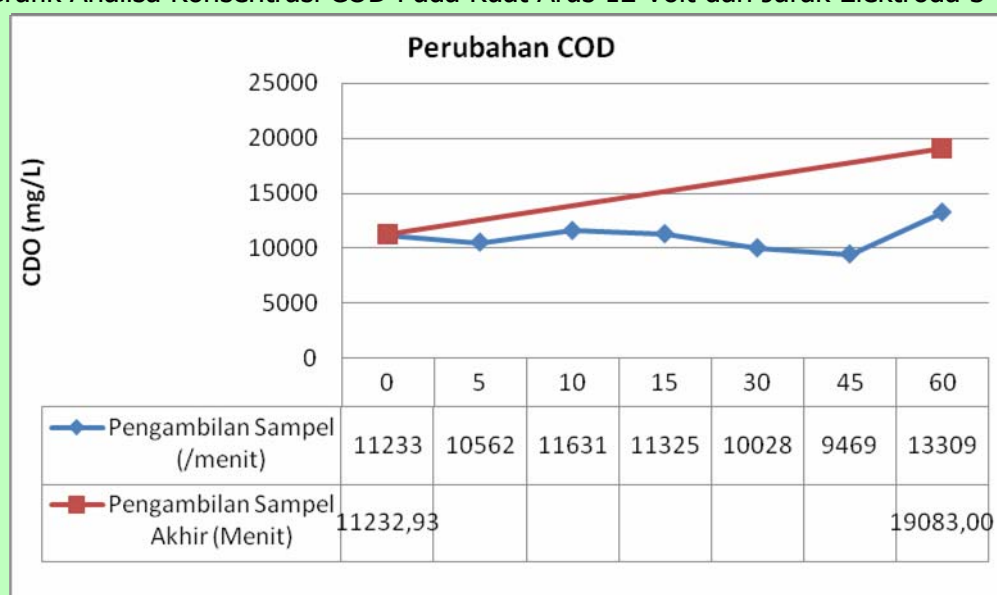
Grafik Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm



Tabel Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm

| No | No Sampel di table report | Waktu Kontak (Menit) | COD (mg/L) | Pengenceran (Kali) | Konsentrasi COD (mg/L) | Rata Konsentrasi COD (mg/L) |
|----|---------------------------|----------------------|------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1  | Awal 1                    | 0                    | 219,572    | 50                 | 10978,6                | 11233                       |
|    | Awal 2                    |                      | 208,380    | 50                 | 10419,0                |                             |
|    | Awal 3                    |                      | 246,024    | 50                 | 12301,2                |                             |
| 2  | 2 A                       | 5                    | 110,710    | 100                | 11071,0                | 10562                       |
|    | 2 B                       |                      | 100,535    | 100                | 10053,5                |                             |
| 3  | 3 A                       | 10                   | 115,288    | 100                | 11528,8                | 11631                       |
|    | 3 B                       |                      | 117,323    | 100                | 11732,3                |                             |
| 4  | 4 A                       | 15                   | 112,236    | 100                | 11223,6                | 11325                       |
|    | 4 B                       |                      | 114,270    | 100                | 11427,0                |                             |
| 5  | 5 A                       | 30                   | 102,062    | 100                | 10206,2                | 10028                       |
|    | 5 B                       |                      | 98,501     | 100                | 9850,1                 |                             |
| 6  | 6 A                       | 45                   | 103,079    | 100                | 10307,9                | 9469                        |
|    | 6 B                       |                      | 86,292     | 100                | 8629,2                 |                             |
| 7  | 7 A                       | 60                   | 129,023    | 100                | 12902,3                | 13309                       |
|    | 7 B                       |                      | 137,162    | 100                | 13716,2                |                             |
| 8  | 8 A                       | 60 akhir             | 106,131    | 100                | 10613,1                | 19083                       |
|    | 8 B                       |                      | 275,529    | 100                | 27552,9                |                             |

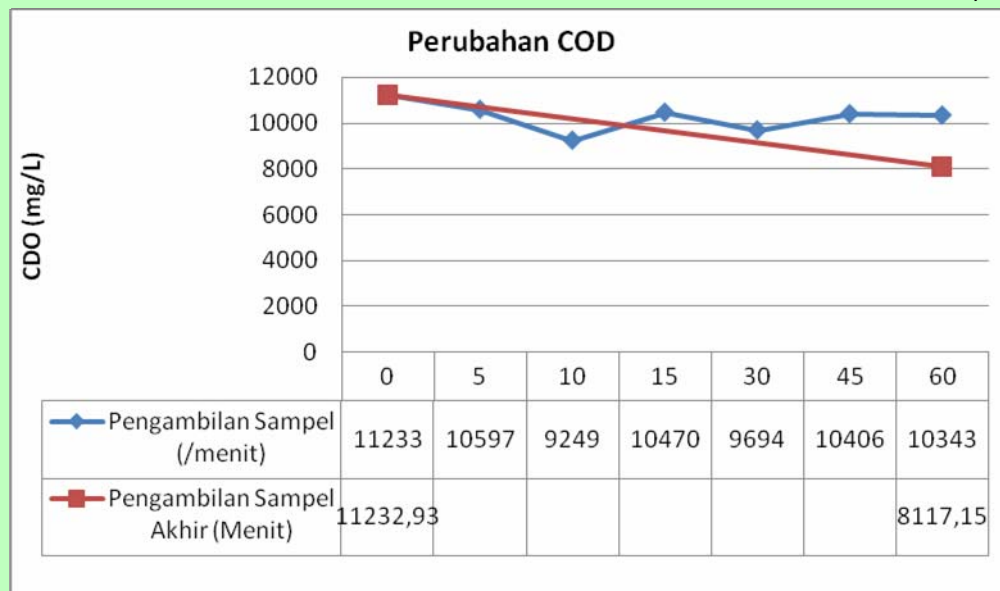
Grafik Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm



Tabel Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm

| No | No Sampel di<br>table report | Waktu<br>Kontak<br>(Menit) | COD<br>(mg/L) | Pengenceran<br>(Kali) | Konsentrasi<br>COD (mg/L) | Rata<br>Konsentrasi<br>COD (mg/L) |
|----|------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1  | Awal 1                       | 0                          | 219,572       | 50                    | 10978,6                   | 11233                             |
|    | Awal 2                       |                            | 208,380       | 50                    | 10419,0                   |                                   |
|    | Awal 3                       |                            | 246,024       | 50                    | 12301,2                   |                                   |
| 2  | 23 A                         | 5                          | 214,485       | 50                    | 10724,3                   | 10597                             |
|    | 23 B                         |                            | 209,398       | 50                    | 10469,9                   |                                   |
| 3  | 24 A                         | 10                         | 190,576       | 50                    | 9528,8                    | 9249                              |
|    | 24 B                         |                            | 179,384       | 50                    | 8969,2                    |                                   |
| 4  | 25 A                         | 15                         | 203,802       | 50                    | 10190,1                   | 10470                             |
|    | 25 B                         |                            | 214,993       | 50                    | 10749,7                   |                                   |
| 5  | 26 A                         | 30                         | 191,593       | 50                    | 9579,7                    | 9694                              |
|    | 26 B                         |                            | 196,171       | 50                    | 9808,6                    |                                   |
| 6  | 27 A                         | 45                         | 200,750       | 50                    | 10037,5                   | 10406                             |
|    | 27 B                         |                            | 215,502       | 50                    | 10775,1                   |                                   |
| 7  | 28 A                         | 60                         | 214,485       | 50                    | 10724,3                   | 10343                             |
|    | 28 B                         |                            | 199,224       | 50                    | 9961,2                    |                                   |
| 8  | 29 A                         | 60 akhir                   | 163,106       | 50                    | 8155,3                    | 8117                              |
|    | 29 B                         |                            | 161,580       | 50                    | 8079,0                    |                                   |

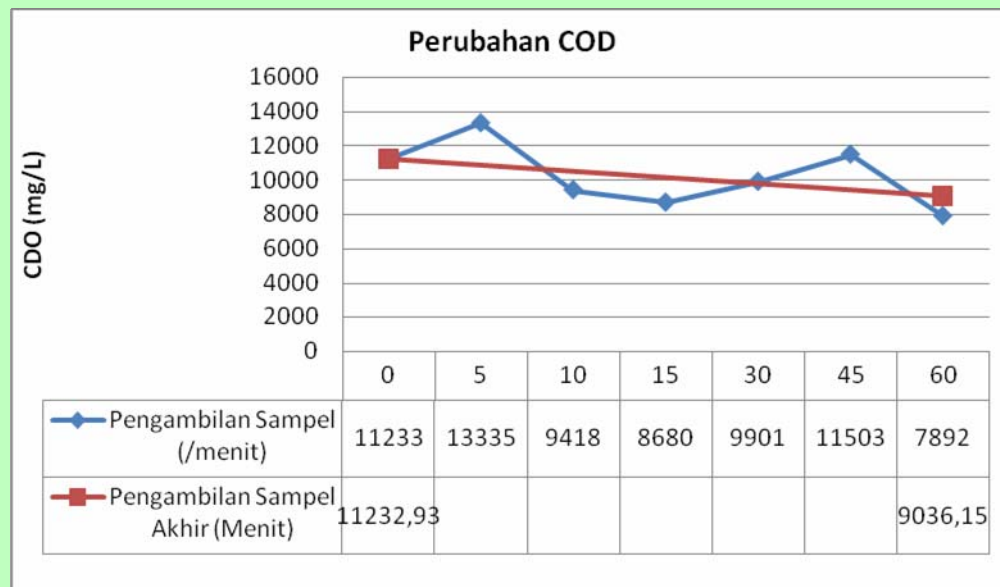
Grafik Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm



Tabel Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm

| No | No Sampel di<br>table report | Waktu<br>Kontak<br>(Menit) | COD<br>(mg/L) | Pengenceran<br>(Kali) | Konsentrasi<br>COD (mg/L) | Rata<br>Konsentrasi<br>COD (mg/L) |
|----|------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1  | AwaL 1                       | 0                          | 219,572       | 50                    | 10978,6                   | 11233                             |
|    | Awal 2                       |                            | 208,380       | 50                    | 10419,0                   |                                   |
|    | Awal 3                       |                            | 246,024       | 50                    | 12301,2                   |                                   |
| 2  | 9 A                          | 5                          | 174,297       | 100                   | 17429,7                   | 13335                             |
|    | 9 B                          |                            | 92,396        | 100                   | 9239,6                    |                                   |
| 3  | 10 A                         | 10                         | 99,009        | 100                   | 9900,9                    | 9418                              |
|    | 10 B                         |                            | 89,344        | 100                   | 8934,4                    |                                   |
| 4  | 11 A                         | 15                         | 86,801        | 100                   | 8680,1                    | 8680                              |
|    | 11 B                         |                            | 86,801        | 100                   | 8680,1                    |                                   |
| 5  | 12 A                         | 30                         | 99,518        | 100                   | 9951,8                    | 9901                              |
|    | 12 B                         |                            | 98,501        | 100                   | 9850,1                    |                                   |
| 6  | 13 A                         | 45                         | 120,375       | 100                   | 12037,5                   | 11503                             |
|    | 13 B                         |                            | 109,692       | 100                   | 10969,2                   |                                   |
| 7  | 14 A                         | 60                         | 83,748        | 100                   | 8374,8                    | 7892                              |
|    | 14 B                         |                            | 74,083        | 100                   | 7408,3                    |                                   |
| 8  | 15 A                         | 60 akhir                   | 97,483        | 100                   | 9748,3                    | 9036                              |
|    | 15 B                         |                            | 83,240        | 100                   | 8324,0                    |                                   |

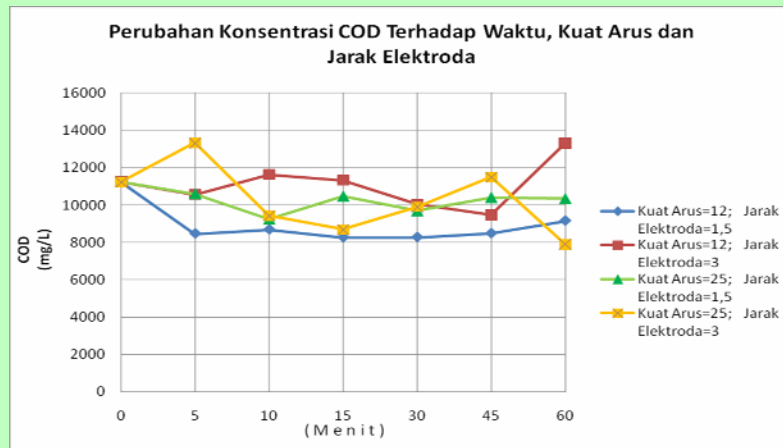
Grafik Analisa Konsentrasi COD Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm



Tabel Analisa Konsentrasi COD dan Efisiensi

| No. | Faktor Pengukur   |                         |                            | COD<br>(mg/L) | Efisiensi<br>(%) |
|-----|-------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|------------------|
|     | Voltase<br>(Volt) | Jarak Elektroda<br>(cm) | Waktu<br>Kontak<br>(menit) |               |                  |
| 1.  | 12                | 1,5                     | 0                          | 11233         | 0,00             |
|     |                   |                         | 5                          | 8473          | 24,57            |
|     |                   |                         | 10                         | 8689          | 22,64            |
|     |                   |                         | 15                         | 8270          | 26,38            |
|     |                   |                         | 30                         | 8282          | 26,27            |
|     |                   |                         | 45                         | 8486          | 24,45            |
|     |                   |                         | 60                         | 9160          | 18,45            |
|     |                   |                         | 60 Akhir                   | 8944          | 20,38            |
|     |                   | 3                       | 0                          | 11233         | 0,00             |
|     |                   |                         | 5                          | 10562         | 5,97             |
|     |                   |                         | 10                         | 11631         | -3,54            |
|     |                   |                         | 15                         | 11325         | -0,82            |
|     |                   |                         | 30                         | 10028         | 10,73            |
|     |                   |                         | 45                         | 9469          | 15,71            |
|     |                   |                         | 60                         | 13309         | -18,48           |
|     |                   |                         | 60 Akhir                   | 19083         | -69,88           |
| 2.  | 25                | 1,5                     | 0                          | 11233         | 0,00             |
|     |                   |                         | 5                          | 10597         | 5,66             |
|     |                   |                         | 10                         | 9249          | 17,66            |
|     |                   |                         | 15                         | 10470         | 6,79             |
|     |                   |                         | 30                         | 9694          | 13,70            |
|     |                   |                         | 45                         | 10406         | 7,36             |
|     |                   |                         | 60                         | 10343         | 7,92             |
|     |                   |                         | 60 Akhir                   | 8117          | 27,74            |
|     |                   | 3                       | 0                          | 11233         | 0,00             |
|     |                   |                         | 5                          | 13335         | -18,71           |
|     |                   |                         | 10                         | 9418          | 16,16            |
|     |                   |                         | 15                         | 8680          | 22,73            |
|     |                   |                         | 30                         | 9901          | 11,86            |
|     |                   |                         | 45                         | 11503         | -2,41            |
|     |                   |                         | 60                         | 7892          | 29,75            |
|     |                   |                         | 60 Akhir                   | 9036          | 19,56            |

Tabel Analisa Konsentrasi COD dan Efisiensi



Perhitungan efisiensi :

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\%$$

Dimana :

E = Efisiensi

$S_1$  = konsentrasi COD sebelum *treatment*

$S_2$  = konsentrasi COD sesudah *treatment*

Contoh untuk voltase 12, jarak elektroda 1,5 cm dan waktu kontak 5 menit adalah:

$$E = \frac{11233 - 8473}{11233} \times 100\%$$

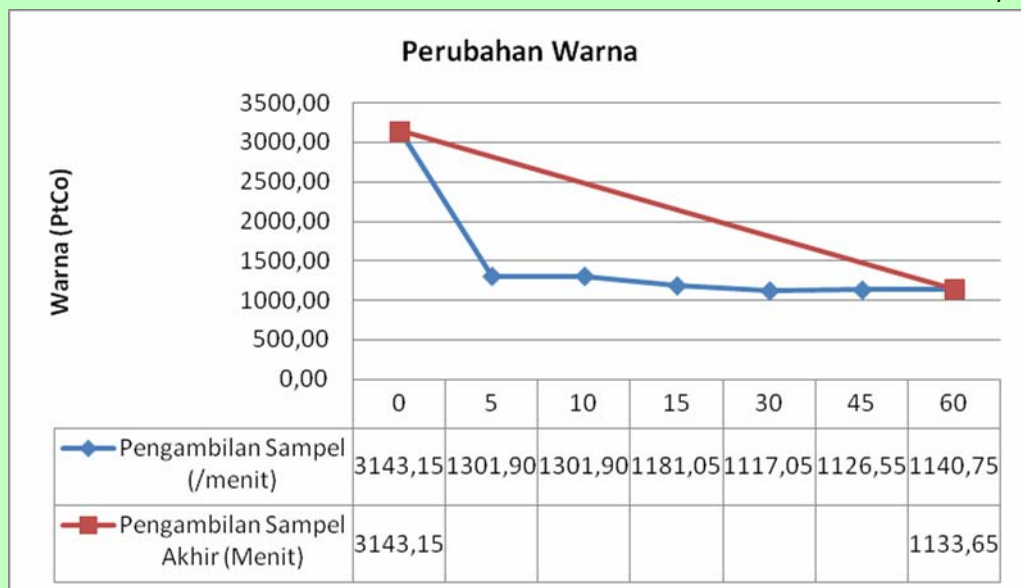
$$E = 25,57 \%$$

**TABEL DATA DAN GRAFIK  
HASIL PEMERIKSAAN WARNA**

Tabel Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm

| No | No Sampel di table report | Waktu Kontak (Menit) | Warna (PtCo) | Pengenceran (Kali) | Konsentrasi Warna (PtCo) |
|----|---------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------------------|
| 1  | AwaL                      | 0                    | 62,863       | 50                 | 3143,15                  |
| 2  | 16                        | 5                    | 26,038       | 50                 | 1301,90                  |
| 3  | 17                        | 10                   | 26,038       | 50                 | 1301,90                  |
| 4  | 18                        | 15                   | 23,621       | 50                 | 1181,05                  |
| 5  | 19                        | 30                   | 22,341       | 50                 | 1117,05                  |
| 6  | 20                        | 45                   | 22,531       | 50                 | 1126,55                  |
| 7  | 21                        | 60                   | 22,815       | 50                 | 1140,75                  |
| 8  | 22                        | 60 akhir             | 22,673       | 50                 | 1133,65                  |

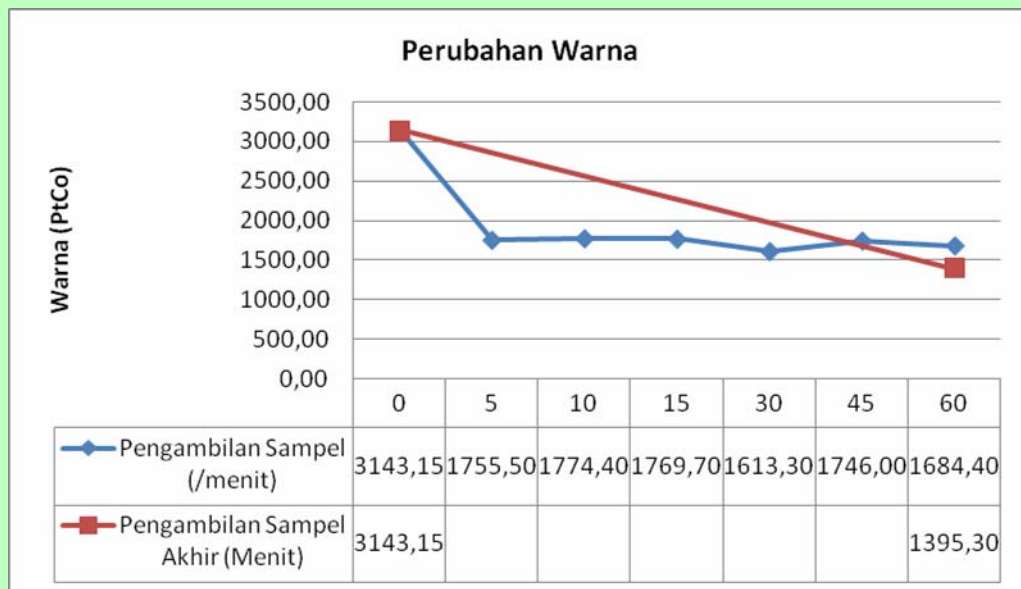
Grafik Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm



Tabel Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm

| No | No Sampel di table report | Waktu Kontak (Menit) | Warna (PtCo) | Pengenceran (Kali) | Konsentrasi Warna (PtCo) |
|----|---------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------------------|
| 1  | AwaL                      | 0                    | 62,863       | 50                 | 3143,15                  |
| 2  | 2                         | 5                    | 17,555       | 100                | 1755,50                  |
| 3  | 3                         | 10                   | 17,744       | 100                | 1774,40                  |
| 4  | 4                         | 15                   | 17,697       | 100                | 1769,70                  |
| 5  | 5                         | 30                   | 16,133       | 100                | 1613,30                  |
| 6  | 6                         | 45                   | 17,460       | 100                | 1746,00                  |
| 7  | 7                         | 60                   | 16,844       | 100                | 1684,40                  |
| 8  | 8                         | 60 akhir             | 13,953       | 100                | 1395,30                  |

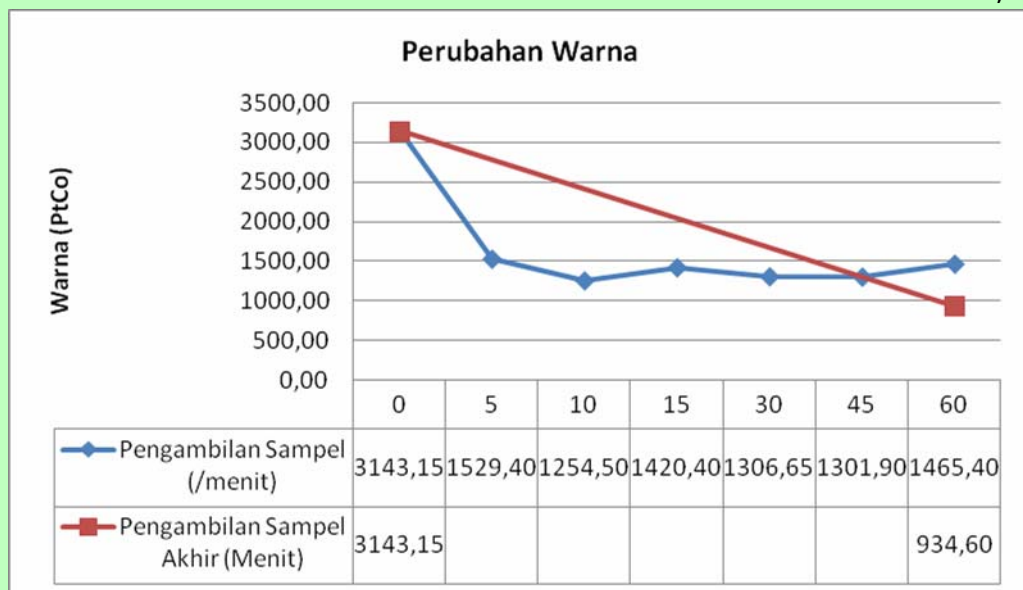
Grafik Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 12 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm



Tabel Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm

| No | No Sampel di<br>table report | Waktu Kontak<br>(Menit) | Warna<br>(PtCo) | Pengenceran<br>(Kali) | Konsentrasi<br>Warna (PtCo) |
|----|------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1  | Awal                         | 0                       | 62,863          | 50                    | 3143,15                     |
| 2  | 23                           | 5                       | 30,588          | 50                    | 1529,40                     |
| 3  | 24                           | 10                      | 25,090          | 50                    | 1254,50                     |
| 4  | 25                           | 15                      | 28,408          | 50                    | 1420,40                     |
| 5  | 26                           | 30                      | 26,133          | 50                    | 1306,65                     |
| 6  | 27                           | 45                      | 26,038          | 50                    | 1301,90                     |
| 7  | 28                           | 60                      | 29,308          | 50                    | 1465,40                     |
| 8  | 29                           | 60 akhir                | 18,692          | 50                    | 934,60                      |

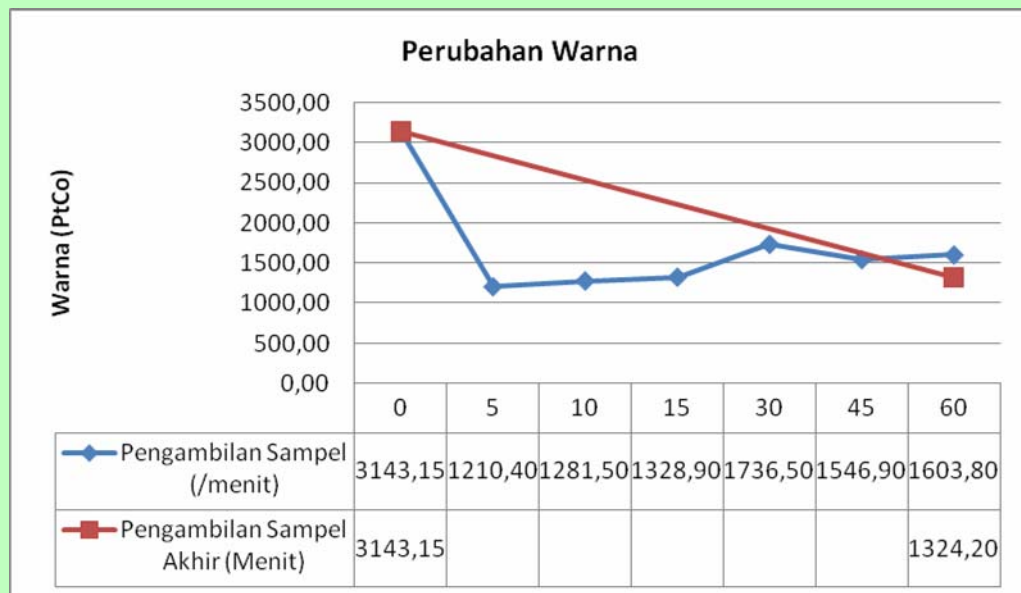
Grafik Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 1,5 cm



Tabel Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm

| No | No Sampel di<br>table report | Waktu Kontak<br>(Menit) | Warna<br>(PtCo) | Pengenceran<br>(Kali) | Konsentrasi<br>Warna (PtCo) |
|----|------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1  | Awal                         | 0                       | 62,863          | 50                    | 3143,15                     |
| 2  | 9                            | 5                       | 12,104          | 100                   | 1210,40                     |
| 3  | 10                           | 10                      | 12,815          | 100                   | 1281,50                     |
| 4  | 11                           | 15                      | 13,289          | 100                   | 1328,90                     |
| 5  | 12                           | 30                      | 17,365          | 100                   | 1736,50                     |
| 6  | 13                           | 45                      | 15,469          | 100                   | 1546,90                     |
| 7  | 14                           | 60                      | 16,038          | 100                   | 1603,80                     |
| 8  | 15                           | 60 akhir                | 13,242          | 100                   | 1324,20                     |

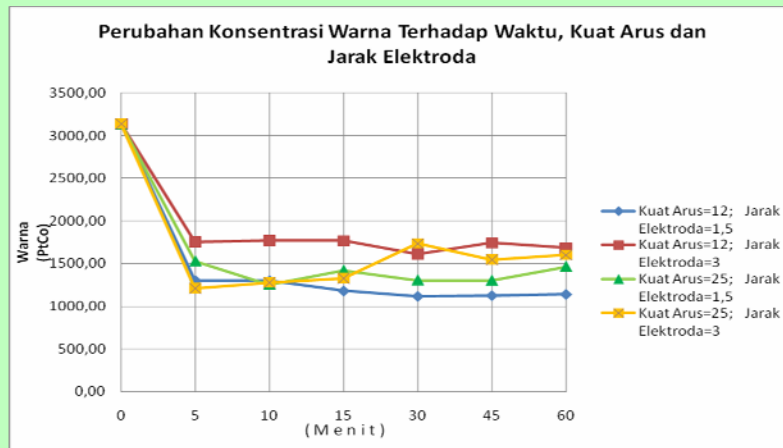
Grafik Analisa Konsentrasi Warna Pada Kuat Arus 25 Volt dan Jarak Elektroda 3 cm



Tabel Analisa Konsentrasi Warna dan Efisiensi

| No. | Faktor Pengukur |                      |                      | Warna (PtCo) | Efisiensi (%) |
|-----|-----------------|----------------------|----------------------|--------------|---------------|
|     | Voltase (Volt)  | Jarak Elektroda (cm) | Waktu Kontak (menit) |              |               |
| 1.  | 12              | 1,5                  | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 10                   | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 15                   | 1181,05      | 62,42         |
|     |                 |                      | 30                   | 1117,05      | 64,46         |
|     |                 |                      | 45                   | 1126,55      | 64,16         |
|     |                 |                      | 60                   | 1140,75      | 63,71         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1133,65      | 63,93         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1755,50      | 44,15         |
|     |                 |                      | 10                   | 1774,40      | 43,55         |
|     |                 |                      | 15                   | 1769,70      | 43,70         |
|     |                 |                      | 30                   | 1613,30      | 48,67         |
|     |                 |                      | 45                   | 1746,00      | 44,45         |
|     |                 |                      | 60                   | 1684,40      | 46,41         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1395,30      | 55,61         |
| 2.  | 25              | 1,5                  | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1529,40      | 51,34         |
|     |                 |                      | 10                   | 1254,50      | 60,09         |
|     |                 |                      | 15                   | 1420,40      | 54,81         |
|     |                 |                      | 30                   | 1306,65      | 58,43         |
|     |                 |                      | 45                   | 1301,90      | 58,58         |
|     |                 |                      | 60                   | 1465,40      | 53,38         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 934,60       | 70,27         |
|     |                 | 3                    | 0                    | 3143,15      | 0,00          |
|     |                 |                      | 5                    | 1210,40      | 61,49         |
|     |                 |                      | 10                   | 1281,50      | 59,23         |
|     |                 |                      | 15                   | 1328,90      | 57,72         |
|     |                 |                      | 30                   | 1736,50      | 44,75         |
|     |                 |                      | 45                   | 1546,90      | 50,79         |
|     |                 |                      | 60                   | 1603,80      | 48,97         |
|     |                 |                      | 60 Akhir             | 1324,20      | 57,87         |

Tabel Analisa Konsentrasi Warna dan Efisiensi



Perhitungan efisiensi :

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\%$$

Dimana :

E = Efisiensi

$S_1$  = konsentrasi Warna sebelum *treatment*

$S_2$  = konsentrasi Warna sesudah *treatment*

Contoh untuk voltase 12, jarak elektroda 1,5 cm dan waktu kontak 5 menit adalah:

$$E = \frac{3143,15 - 1301,09}{3143,15} \times 100\%$$

$$E = 58,58 \%$$

**ANALISA DATA *CHEMICAL*  
*OXYGEN DEMAND* (COD)  
DENGAN UJI  $t$   
(Perbedaan Kuat Arus)**

## ANALISA DATA COD DENGAN UJI-t PERBEDAAN KUAT ARUS

### A. Uji t untuk bagian Kuat Arus dengan jarak elektroda 1,5 cm

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_o$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_o : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                    |                    |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                                     | <u>COD_1,5_12V</u> | <u>COD_1,5_25V</u> |
| Mean                                | 8560,133333        | 10126,5125         |
| Variance                            | 110199,8432        | 284272,9042        |
| Observations                        | 6                  | 6                  |
| Pearson Correlation                 | -0,028313944       |                    |
| Hypothesized Mean Difference        | 0                  |                    |
| df                                  | 5                  |                    |
| t Stat                              | -6,032754561       |                    |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,000900839        |                    |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372        |                    |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,001801678        |                    |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835        |                    |

4. Menentukan kaidah pengujian

a. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

b. Diperoleh nilai  $t_{\text{tabel}} = 2,57$

c. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_o$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 > -6,03 < 2,57$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

## B. Uji t untuk bagian Kuat Arus dengan jarak elektroda 3 cm

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                   |                   |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                     | <i>COD_J3_12V</i> | <i>COD_J3_25V</i> |
| Mean                                | 11054,00833       | 10121,375         |
| Variance                            | 1860000,828       | 3965640,068       |
| Observations                        | 6                 | 6                 |
|                                     | -                 |                   |
| Pearson Correlation                 | 0,690057271       |                   |
| Hypothesized Mean Difference        | 0                 |                   |
| Df                                  | 5                 |                   |
| t Stat                              | 0,738316138       |                   |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,246748551       |                   |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372       |                   |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,493497102       |                   |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835       |                   |

4. Menentukan kaidah pengujian

- a. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )
- b. Diperoleh nilai  $t_{\text{tabel}} = 2,57$
- c. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 < 0,73 < 2,57$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

**ANALISA DATA *CHEMICAL*  
*OXYGEN DEMAND* (COD)  
DENGAN UJI  $t$   
(Perbedaan Jarak Elektroda)**

## ANALISA DATA COD DENGAN UJI-t PERBEDAAN JARAK ELEKTRODA

### A. Uji t untuk bagian jarak elektroda dengan kuat arus 12 Volt

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_o$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_o : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                     |                   |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                     | <i>COD_J1,5_12V</i> | <i>COD_J3_12V</i> |
| Mean                                | 8560,133333         | 11054,00833       |
| Variance                            | 110199,8432         | 1860000,828       |
| Observations                        | 6                   | 6                 |
| Pearson Correlation                 | 0,792397157         |                   |
| Hypothesized Mean Difference        | 0                   |                   |
| Df                                  | 5                   |                   |
| t Stat                              | -5,457906544        |                   |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,001404056         |                   |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372         |                   |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,002808113         |                   |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835         |                   |

4. Menentukan kaidah pengujian

d. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

e. Diperoleh nilai  $t_{\text{tabel}} = 2,57$

f. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_o$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 > -5,45 < 2,57$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

## B. Uji t untuk bagian jarak elektroda dengan kuat arus 25 Volt

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                     |                   |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                     | <i>COD_J1,5_25V</i> | <i>COD_J3_25V</i> |
| Mean                                | 10126,5125          | 10121,375         |
| Variance                            | 284272,9042         | 3965640,068       |
| Observations                        | 6                   | 6                 |
| Pearson Correlation                 | 0,307896263         |                   |
| Hypothesized Mean Difference        | 0                   |                   |
| Df                                  | 5                   |                   |
| t Stat                              | 0,006636087         |                   |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,497480919         |                   |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372         |                   |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,994961838         |                   |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835         |                   |

4. Menentukan kaidah pengujian

- d. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )
- e. Diperoleh nilai  $t_{\text{tabel}} = 2,57$
- f. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 < 0,006 < 2,57$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

**ANALISA DATA WARNA**  
**DENGAN UJI  $t$**   
**(Perbedaan Kuat Arus)**

## ANALISA DATA WARNA DENGAN UJI-t PERBEDAAN KUAT ARUS

### A. Uji t untuk bagian Kuat Arus dengan jarak elektroda 1,5 cm

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_o$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_o : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                |                |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
|                                     | Warna_J1,5_12V | Warna_J1,5_25V |
| Mean                                | 1194,866667    | 1379,708333    |
| Variance                            | 7350,876667    | 11695,05042    |
| Observations                        | 6              | 6              |
| Pearson Correlation                 | 0,181660452    |                |
| Hypothesized Mean Difference        | 0              |                |
| df                                  | 5              |                |
| t Stat                              | -3,616102509   |                |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,007641005    |                |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372    |                |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,015282009    |                |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835    |                |

4. Menentukan kaidah pengujian

g. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

h. Diperoleh nilai  $t_{tabel} = 2,57$

i. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$ , maka  $H_o$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 > -3,61 < 2,57$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

## B. Uji t untuk bagian Kuat Arus dengan jarak elektroda 3 cm

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |              |              |
|-------------------------------------|--------------|--------------|
|                                     | Warna_J3_12V | Warna_J3_25V |
| Mean                                | 1723,883333  | 1451,333333  |
| Variance                            | 3985,493667  | 43116,25067  |
| Observations                        | 6            | 6            |
| Pearson Correlation                 | -0,873421653 |              |
| Hypothesized Mean Difference        | 0            |              |
| df                                  | 5            |              |
| t Stat                              | 2,523310228  |              |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,026480151  |              |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372  |              |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,052960303  |              |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835  |              |

4. Menentukan kaidah pengujian

g. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

h. Diperoleh nilai  $t_{\text{tabel}} = 2,57$

i. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 < 2,52 < 2,57$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

**ANALISA DATA WARNA**  
**DENGAN UJI  $t$**   
**(Perbedaan Jarak Elektroda)**

## ANALISA DATA WARNA DENGAN UJI-t PERBEDAAN JARAK ELEKTRODA

### A. Uji t untuk bagian jarak elektroda dengan kuat arus 12 Volt

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_o$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_o$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_o : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                |              |
|-------------------------------------|----------------|--------------|
|                                     | Warna_J1,5_12V | Warna_J3_12V |
| Mean                                | 1194,866667    | 1723,883333  |
| Variance                            | 7350,876667    | 3985,493667  |
| Observations                        | 6              | 6            |
| Pearson Correlation                 | 0,642529602    |              |
| Hypothesized Mean Difference        | 0              |              |
| df                                  | 5              |              |
| t Stat                              | -19,5780339    |              |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,0000032      |              |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372    |              |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,0000064      |              |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835    |              |

4. Menentukan kaidah pengujian

j. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

k. Diperoleh nilai  $t_{tabel} = 2,57$

l. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $-t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$ , maka  $H_o$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{\text{tabel}}$  dengan  $t_{\text{hitung}}$ .

Ternyata -  $t_{\text{tabel}} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$

Atau -  $2,57 > -19,57 < 2,57$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.

6. Membuat kesimpulan.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

## B. Uji t untuk bagian jarak elektroda dengan kuat arus 25 Volt

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan Uji t dua variabel adalah sebagai berikut :

1. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam bentuk kalimat.

$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

2. Membuat  $H_a$  dan  $H_0$  dalam model statistik.

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

3. Mencari rata-rata ( $\bar{x}$ ), standar deviasi ( $s$ ), dan varians ( $S$ ).

| t-Test: Paired Two Sample for Means |                |              |
|-------------------------------------|----------------|--------------|
|                                     | Warna_J1,5_25V | Warna_J3_25V |
| Mean                                | 1379,708333    | 1451,333333  |
| Variance                            | 11695,05042    | 43116,25067  |
| Observations                        | 6              | 6            |
| Pearson Correlation                 | -0,311619311   |              |
| Hypothesized Mean Difference        | 0              |              |
| df                                  | 5              |              |
| t Stat                              | -0,668845561   |              |
| P(T<=t) one-tail                    | 0,266614479    |              |
| t Critical one-tail                 | 2,015048372    |              |
| P(T<=t) two-tail                    | 0,533228959    |              |
| t Critical two-tail                 | 2,570581835    |              |

4. Menentukan kaidah pengujian

j. Taraf signifikasinya ( $\alpha = 0,05$ )

k. Diperoleh nilai  $t_{tabel} = 2,57$

l. Kriteria pengujian dua pihak

Jika :  $- t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

5. Membandingkan  $t_{tabel}$  dengan  $t_{hitung}$ .

Ternyata -  $t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$

Atau -  $2,57 < -0,66 < 2,57$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak.

6. Membuat kesimpulan.

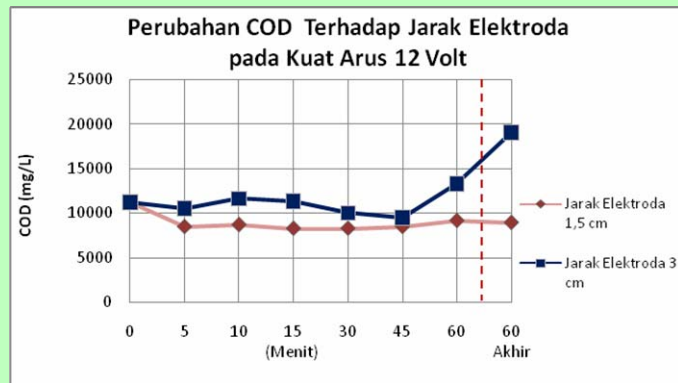
$H_a$  : terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITOLAK

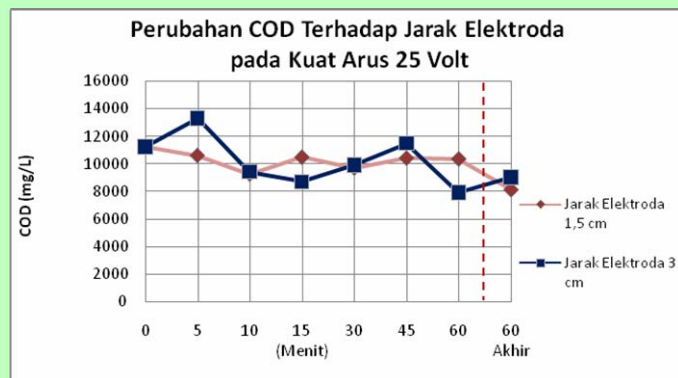
$H_0$  : tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua variabel yang dibandingkan.

DITERIMA

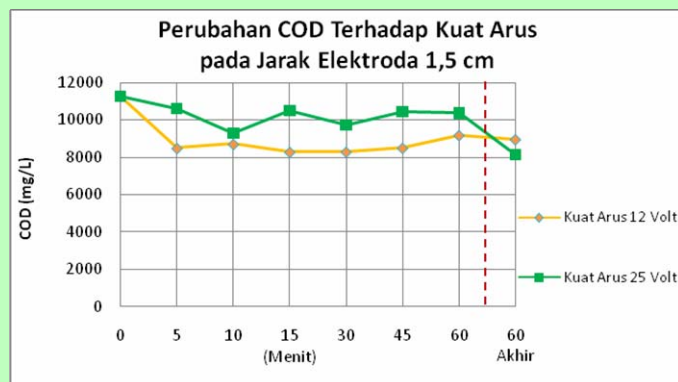
# **GRAFIK PERUBAHAN KONSENTRASI COD**



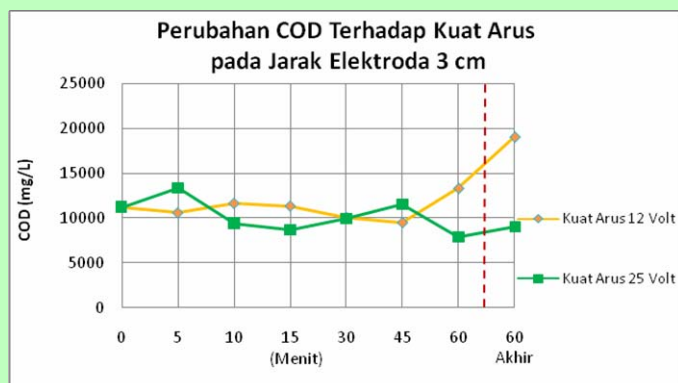
Gambar Perubahan COD Terhadap Jarak Elektroda pada Kuat Arus 12 Volt



Gambar Perubahan COD Terhadap Jarak Elektroda pada Kuat Arus 25 Volt

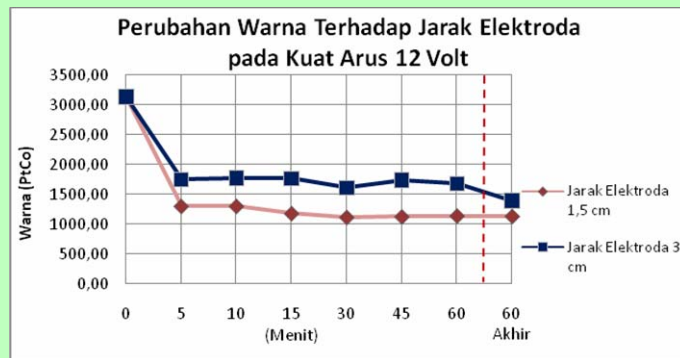


Gambar Perubahan COD Terhadap Kuat Arus pada Jarak Elektroda 1,5 cm

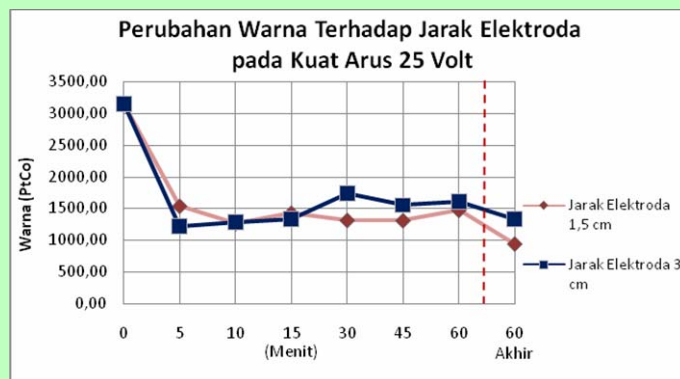


Gambar Perubahan COD Terhadap Kuat Arus pada Jarak Elektroda 3 cm

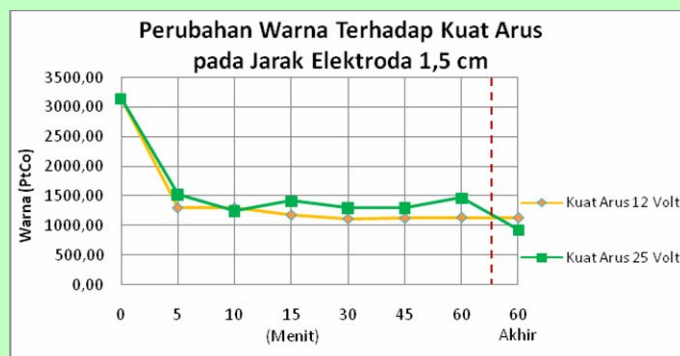
# **GRAFIK PERUBAHAN KONSENTRASI WARNA**



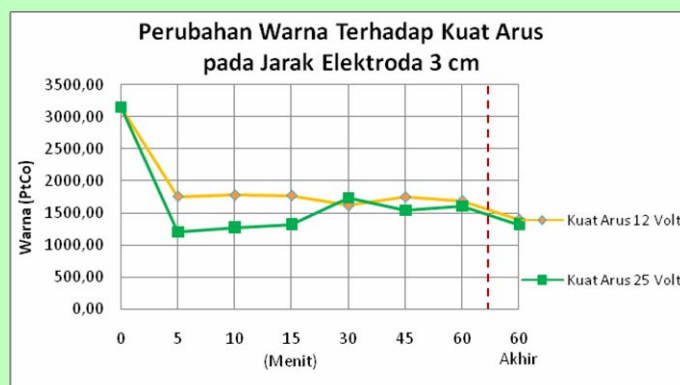
Gambar Perubahan Warna Terhadap Jarak Elektroda pada Kuat Arus 12 Volt



Gambar Perubahan Warna Terhadap Jarak Elektroda pada Kuat Arus 25 Volt



Gambar Perubahan Warna Terhadap Kuat Arus pada Jarak Elektroda 1,5 cm



Gambar Perubahan Warna Terhadap Kuat Arus pada Jarak Elektroda 3 cm