

SKRIPSI

**PENURUNAN COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN
ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR ALIRAN
KONTINYU**

(Studi Kasus : Limbah *Laundry* Kelurahan Sumbersari - Kota Malang)



Oleh :

ANGELINA PUSPITA SANDY

05.26.011

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009**

3000

ИЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КУЗНЕЦОВ И ПУТИ
РАБОТЫ ТЕХНИК ВНЕШНЕГО РАБОТОУСТРОЙСТВА
ТЕХНИКА ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ
РАБОТЫ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ

ИЗДАНИЕ
ТЕХНИКА РАБОТЫ ТЕХНИКИ
ТЕХНИКА

ИЗДАНИЕ
ТЕХНИКА РАБОТЫ ТЕХНИКИ
ТЕХНИКА

(ИЗДАНИЕ ТЕХНИКИ : ТЕХНИКА РАБОТЫ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ - РАБОТЫ ТЕХНИКИ)

КОПИЯ

ТЕХНИКА РАБОТЫ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ
ТЕХНИКА РАБОТЫ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ ТЕХНИКИ

ТЕХНИКА

SKRIPSI

**PENURUNAN COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN
ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR
ALIRAN KONTINYU**

(Studi Kasus: Limbah Laundry Kelurahan Sumbersari – Kota Malang)

Oleh :

ANGELINA PUSPITA SANDY

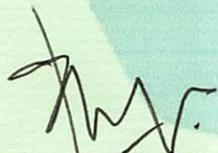
05.26.011

Menyetujui

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Evy Hendriarianti, ST. MMT
NIP.P.103.030.0382


Hardianto, ST. MT
NIP.Y.103.000.0350

Malang, Oktober 2009

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan



Candra Dwi Ratna W., ST. MT
NIP.Y.103.000.0349

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENURUNAN COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN
ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR
ALIRAN KONTINYU**

(Studi Kasus: Limbah Laundry Kelurahan Sumbersari – Kota Malang)

Oleh :

ANGELINA PUSPITA SANDY

05.26.011

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata Satu (S-1) dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Tanggal 7 Oktober 2009

Mengetahui

Panitia Ujian Komprehensif Skripsi



Ketua

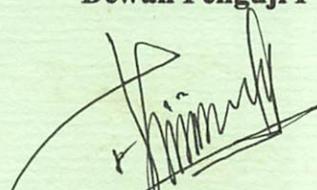
Ir. A. Agus Santoso, MT
NIP.P.101.870.0155

Sekretaris

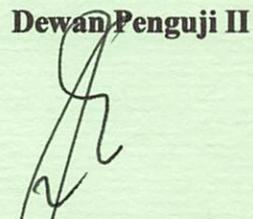
Candra Dwi Ratna W., ST. MT
NIP.Y.103.000.0349

Dewan Penguji

Dewan Penguji I


Sudiro, ST.MT
NIP.Y.103.990.0327

Dewan Penguji II


Candra Dwi Ratna W., ST. MT
NIP.Y.103.000.0349

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji syukur kehadirat *Tuhan Yang Maha Esa*, atas rahmatnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul Penurunan COD Dan TSS Pada limbah Cair dengan Menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Aliran Kontinyu tepat pada waktunya, yang disusun berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan.

Atas tersusunnya laporan Skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Evy Hendriaryanti, ST. MT selaku Dosen pembimbing pembuatan laporan skripsi ini.
2. Bapak Hardiyanto, ST. MT selaku Dosen pembimbing pembuatan laporan skripsi ini sekaligus kepala Laboratorium Teknik Lingkungan ITN Malang.
3. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang sekaligus sebagai Dosen penguji laporan skripsi ini.
4. Bapak Sudiro, ST.MT selaku Dosen penguji laporan skripsi ini.
5. Kedua orang tua dan keluarga besar yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman Jurusan Teknik Lingkungan dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam pembuatan laporan Skripsi ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis membuka diri untuk menerima saran yang bersifat membangun dan berkenaan dengan penyusunan laporan ini.

Malang, Oktober 2009

Penulis

Sandy, A. P., Hendriaryanti, E., Hardianto., 2009, *Penurunan COD dan TSS Pada Limbah Cair Menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Aliran Kontinyu*. Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang.

ABSTRAKSI

Industri *laundry* banyak menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi COD antara 488-2847 mg/l dan *Suspended Solid* (SS) antara 38-857 mg/l. Untuk mengatasi limbah *laundry* diperlukan suatu unit pengolahan limbah yang mudah dioperasikan, tidak memerlukan lahan yang luas dan memiliki kualitas efluen yang dapat digunakan kembali. Alternatif yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair industri *laundry* adalah elektrokoagulasi monopolar. Elektrokoagulasi adalah teknologi pengolahan air dengan menggunakan proses elektrokimia dimana anoda akan melepaskan koagulan aktif berupa ion Al atau Fe ke dalam larutan dan pada katoda akan terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen. Tujuan pada penelitian ini adalah menentukan jenis elektroda dan jarak elektroda yang dapat memperoleh persentase penyisihan COD dan TSS tertinggi dan mengetahui kemampuan elektrokoagulasi monopolar dalam menurunkan kadar limbah *laundry*.

Jenis elektroda yang digunakan adalah Aluminium dan Besi. Sedangkan variasi jarak antar elektroda adalah 0,5 cm, 1,5 cm, dan 2,5 cm. Metode analisa yang digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi COD dan TSS berturut-turut adalah *closed reflux titrimetric* dan gravimetri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penyisihan konsentrasi COD tertinggi terjadi pada variasi jarak antar elektroda 0,5 cm dengan elektroda aluminium sebesar 72,35%. Persentase penyisihan konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada variasi jarak antar elektroda 0,5 cm dengan elektroda aluminium sebesar 81,73%. Konsentrasi COD terendah pada elektrokoagulasi dengan aluminium 184,95 mg/L terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Sedangkan konsentrasi TSS terendah pada elektrokoagulasi dengan aluminium 60,94 mg/L terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Jika dibandingkan dengan Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No: 45 Tahun 2002 Lampiran II dimana COD sebesar 300 mg/L dan TSS sebesar 200 mg/L, maka hasil pengolahan limbah *laundry* menggunakan elektrokoagulasi monopolar sudah memenuhi standar baku mutu limbah cair. Sehingga pengolahan ini dapat dijadikan sebagai teknologi alternatif dalam pengolahan limbah cair.

Kata Kunci : COD dan TSS, elektrokoagulasi monopolar, dan Industri *laundry*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAKSI

DAFTAR ISI

i

DAFTAR GAMBAR

iv

DAFTAR TABEL

v

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Industri <i>Laundry</i>	4
2.2 Karakteristik Limbah <i>Laundry</i>	5
2.3 Dampak Industri <i>Laundry</i>	7
2.4 Parameter Limbah Cair	9
2.4.1 Parameter Fisika	9
2.4.2 Parameter Kimia	10
2.4.3 Parameter Biologi	12
2.5 Elektrokoagulasi	12
2.5.1 Mekanisme Dalam Elektrokoagulasi	16
2.5.2 Pelarutan Logam di Elektroda	17
2.5.3 Reaksi di Elektroda	19
2.5.4 Reaktor Elektrokoagulasi Monopolar	20
2.5.5 Proses Pengadukan Cepat dengan Elektroda	22
2.5.6 Proses Pengadukan Lambat	32

2.5.7 Proses Sedimentasi	34
2.6 Metode Pengolahan data	36
2.6.1 Statistik Deskriptif dan Inferensi	36
2.6.2 Analisis Korelasi	36
2.6.3 Analisis Regresi	37
2.6.4 Pengantar Desain Eksperimen	38
2.6.4.1 Langkah-langkah Dalam Desain Eksperimen	38
2.6.4.2 Analysis of Variance	38
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Kerangka Penelitian	39
3.2 Ide Studi	40
3.3 Studi Literatur	40
3.4 Variabel Penelitian	40
3.5 Alat dan Bahan	41
3.5.1 Alat-Alat Penelitian	41
3.5.2 Bahan Penelitian	43
3.6 Pelaksanaan Penelitian	43
3.7 Analisis Parameter Uji	45
3.7.1 Analisis COD	45
3.7.2 Analisis TSS	45
3.8 Analisis Data	45
3.9 Kesimpulan dan Saran	46
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Limbah Industri <i>Laundry</i>	47
4.2 Analisis Deskriptif	48
4.2.1 Analisis Deskriptif COD	48
4.2.1.1 Analisis Deskriptif COD menit ke-12	48
4.2.1.2 Analisis Deskriptif COD menit ke-35	50
4.2.1.3 Analisis Deskriptif COD menit ke-90	51

4.2.2 Analisis Deskriptif TSS	53
4.2.2.1 Analisis Deskriptif TSS menit ke-12	53
4.2.2.2 Analisis Deskriptif TSS menit ke-35	55
4.2.2.3 Analisis Deskriptif TSS menit ke-90	56
4.3 Analisis Korelasi	58
4.3.1 Analisis Korelasi COD	58
4.3.2 Analisis Korelasi TSS	60
4.4 Analisis Regresi	62
4.4.1 Analisis Regresi COD	64
4.4.2 Analisis Regresi TSS	68
4.5 Analisis Anova	72
4.5.1 Analisis Anova COD	73
4.5.1.1 Analisis Anova COD menit ke-12	73
4.5.1.2 Analisis Anova COD menit ke-35	74
4.5.1.3 Analisis Anova COD menit ke-90	75
4.5.2 Analisis Anova TSS	77
4.5.2.1 Analisis Anova TSS menit ke-12	77
4.5.2.2 Analisis Anova TSS menit ke-35	78
4.5.2.3 Analisis Anova TSS menit ke-90	79
4.6 Pembahasan Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar	81
4.6.1 Pengaruh Jenis dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Penyisihan Konsentrasi COD	81
4.6.2 Pengaruh Jenis dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Penyisihan Konsentrasi TSS	87
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Proses <i>Laundry</i>	4
Gambar 2.2 Diagram Venn	12
Gambar 2.3 Diagram alir IPAL konvensional dan unit yang dapat digantikan oleh Elektrokoagulasi	14
Gambar 2.4 Mekanisme dalam elektrokoagulasi	16
Gambar 2.5 Reaktor elektroda dengan konfigurasi <i>monopolar</i>	20
Gambar 2.6 Skema Reaktor Elektrokimia	21
Gambar 2.7 Reaksi hidrolisa ion aluminium	24
Gambar 2.8 Deprotonasi ion aquo aluminium	24
Gambar 2.9 Diagram distribusi Al-H ₂ O untuk mononuklear	25
Gambar 2.10 Diagram kelarutan dari Aluminium hidroksida	25
Gambar 2.11 Proses <i>sweep coagulation</i>	26
Gambar 2.12 Sedimentasi	35
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	39
Gambar 3.2 Reaktor Elektrokoagulasi	44
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD	49
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD	51
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD	52
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak Antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS	54
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak Antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS	56
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak Antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah <i>Laundry</i>	5
Tabel 2.2 Karakteristik Limbah <i>Laundry</i> Berdasarkan Prosesnya	6
Tabel 2.3 Pengaruh Komposisi Detergen Terhadap Konsentrasi COD	6
Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair	8
Tabel 4.1 Hasil Analisis Awal Limbah Industri <i>Laundry</i>	47
Tabel 4.2 Data Konsentrasi Akhir COD	48
Tabel 4.3 Data Persentase Penyisihan Akhir COD	49
Tabel 4.4 Data Konsentrasi Akhir COD	50
Tabel 4.5 Data Persentase Penyisihan Akhir COD	50
Tabel 4.6 Data Konsentrasi Akhir COD	51
Tabel 4.7 Data Persentase Penyisihan Akhir COD	52
Tabel 4.8 Data Konsentrasi Akhir TSS	53
Tabel 4.9 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS	54
Tabel 4.10 Data Konsentrasi Akhir TSS	55
Tabel 4.11 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS	55
Tabel 4.12 Data Konsentrasi Akhir TSS	56
Tabel 4.13 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS	57
Tabel 4.14 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-12	58
Tabel 4.15 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-35	59
Tabel 4.16 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-90	59
Tabel 4.17 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-12	60
Tabel 4.18 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-35	61
Tabel 4.19 Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-90	61

Tabel 4.20 Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-12	64
Tabel 4.21 Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-35	65
Tabel 4.22 Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-90	65
Tabel 4.23 Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-12	68
Tabel 4.24 Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-35	69
Tabel 4.25 Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-90	69
Tabel 4.26 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda	73
Tabel 4.27 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda	73
Tabel 4.28 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda	74
Tabel 4.29 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda	74
Tabel 4.30 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda	75
Tabel 4.31 Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda	75
Tabel 4.32 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda	77
Tabel 4.33 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda	77
Tabel 4.34 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda	78
Tabel 4.35 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda	78
Tabel 4.36 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda	79
Tabel 4.37 Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu bagian dari industri tekstil adalah industri pencucian pakaian atau *laundry*, yaitu industri yang melakukan kegiatan pencucian pakaian. Jasa pencucian pakaian atau *laundry* berkembang dimana-mana terutama di daerah pemukiman. Limbah cair industri *laundry* mengandung zat tersuspensi, bahan organik, dan warna yang cukup tinggi. Tiap industri dapat menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi COD antara 488-2847 mg/l dan suspendid solid (SS) antara 38-857 mg/l (Seo, et.al., 2001), namun semua itu tergantung kapasitas operasional dari industri *laundry* tersebut. Penelitian yang juga terkait dengan karakteristik limbah *laundry* dilakukan oleh Taufikurahman (2006), dimana secara umum limbah *laundry* memiliki suhu 24 °C, pH 8,7, Chemical Oxygen Demand (COD) sebesar 308,06 mg/l, dan Total suspendid Solid (TSS) 114,80 mg/l.

TSS dan COD merupakan bagian parameter fisik dan kimia dalam tinjauan kualitas air limbah *laundry*. Menurut Seo, et.al., (2001) limbah *laundry* banyak mengandung sejumlah surfaktan, *carboxyl methyl cellulose* (CMC), minyak tumbuhan, kalsium (Ca), Phospat (P), SiO_3^{2-} , pemutih pakaian dan tanah. TSS dapat disebabkan oleh adanya kandungan organik dan anorganik, sedangkan COD disebabkan oleh adanya kandungan organik (Alert dan Santika, 1987). Pengukuran konsentrasi COD dan TSS lebih ditekankan untuk mengetahui nilai konsentrasi kandungan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah tersebut. Sehingga dalam penurunan COD dan TSS dapat mewakili parameter yang terkandung dalam limbah *laundry*.

COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* disebabkan oleh kandungan bahan organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) dan sulit dipisahkan dari cairan karena ukurannya sangat kecil dan mempunyai sifat muatan listrik pada permukaannya yang menyebabkan koloid ini stabil (Suaib,1994).

Salah satu proses pengolahan limbah yang efisien, ekonomis dan aplikatif adalah elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah teknologi pengolahan air dengan menggunakan proses elektrokimia dimana anoda akan melepaskan koagulan aktif berupa ion Al atau Fe ke dalam larutan dan pada katoda akan terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Hot et al., 2004). Dimana akan terjadi destabilisasi partikel koloid dengan cara mengurangi stabilitas koloid dengan penambahan koagulan aktif yang bermuatan positif (+), menurunkan energi tolak menolak dan membentuk inti flok, yang kemudian membentuk partikel flokulen yang lebih besar dan lebih mudah diendapkan. Metode elektrokoagulasi mempunyai dua konfigurasi yaitu monopolar dan bipolar. Elektrokoagulasi monopolar adalah proses elektrokoagulasi dimana masing-masing elektroda menggunakan satu kabel sebagai penghantar arus. Sehingga masing-masing elektroda memiliki satu kutub dan dapat menarik padatan terlarut menjadi flok, dengan proses lanjutan air yang akan keluar sudah dalam kondisi jernih.

Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry*. Apabila dalam satu elektrolit ditempatkan satu elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda serta menerima elektron yang direduksi, dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda serta menyerahkan elektron yang dioksidasi.

Penurunan parameter kualitas air limbah *laundry* dalam hal ini COD dan TSS pada proses elektrokoagulasi monopolar dipengaruhi beberapa faktor. Adapun beberapa faktor tersebut meliputi jenis elektroda, jumlah elektroda, kuat arus yang mengalir, jarak antar elektroda dan waktu proses. Namun dalam perkembangannya, pengolahan air limbah dengan metode elektrokoagulasi terbentur dengan permasalahan umum proses elektrokoagulasi yaitu elektroda yang digunakan dalam proses pengolahan ini harus diganti secara teratur, penggunaan listrik kadang kala lebih mahal pada beberapa daerah, dan terbentuknya lapisan di elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi konfigurasi monopolar dan masalah yang dirumuskan :

1. Bagaimana pengaruh jenis elektroda dan jarak antar elektroda dalam penurunan COD dan TSS pada limbah *laundry*.
2. Seberapa besar tingkat penurunan konsentrasi COD dan TSS dengan menggunakan elektrokoagulasi monopolar.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda dan jarak antar elektroda dalam penurunan COD dan TSS pada limbah *laundry*.
2. Untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi COD dan TSS dengan menggunakan elektrokoagulasi monopolar.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian pengolahan limbah *laundry* dengan elektrokoagulasi monopolar adalah metode ini dapat dijadikan teknologi alternatif yang efisien, ekonomis dan aplikatif dalam pengolahan limbah cair.

1.5. Ruang Lingkup

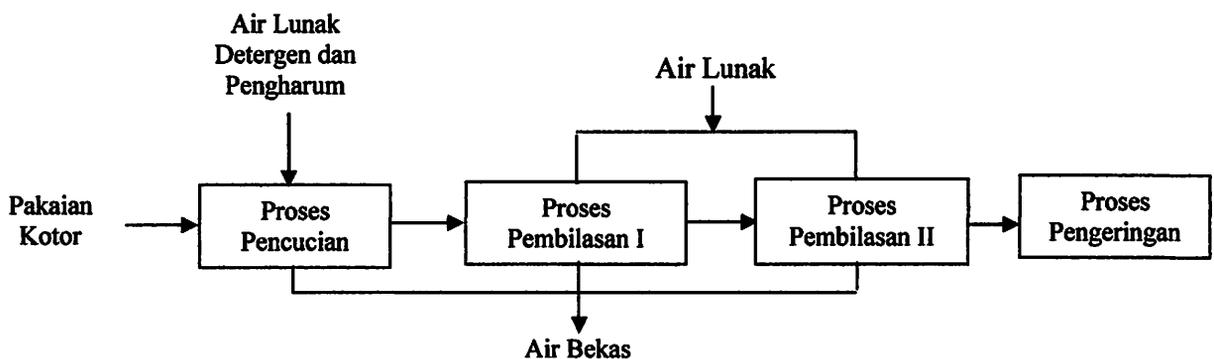
1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampel limbah yang digunakan adalah limbah industri *laundry* di Kelurahan Sumbersari Kota Malang.
3. Aliran yang digunakan dalam proses adalah aliran kontinyu.
4. Parameter yang dianalisis adalah COD dan TSS
5. Variasi penelitian yang dilakukan adalah jenis elektroda dan jarak antar elektroda.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Industri *Laundry*

Laundry merupakan proses kompleks yang melibatkan interaksi antara beberapa faktor fisik dan kimiawi. Pada proses ini kotoran yang melekat pada pakaian dibersihkan dengan menggunakan air dan deterjen. Tahapan yang terjadi pada proses ini adalah kotoran yang melekat pada pakaian akan dilepaskan oleh larutan deterjen dan dilanjutkan dengan stabilisasi air yang berisi kotoran supaya kotoran tersebut tidak menempel kembali pada permukaan pakaian. Kemampuan membersihkan pakaian dalam proses *laundry* sangatlah tergantung pada beberapa faktor seperti jenis bahan pakaian, jenis kotoran, kualitas air, peralatan mencuci dan komposisi deterjen (Bajpai, Tyagi, 2007).

Secara umum proses *laundry* dibagi menjadi tiga tahapan proses yaitu proses pencucian, proses pembilasan dan proses pengeringan. Untuk meningkatkan hasil kualitas pencucian, pembilasan umumnya dilakukan beberapa kali sampai cucian benar-benar bersih. Proses pembilasan yang berulang kali menyebabkan industri *laundry* banyak mengkonsumsi air bersih. Gambaran mengenai proses *laundry* dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram alir proses *laundry*
(Sumber: Wenten, 2003)

2.2. Karakteristik Limbah Industri *Laundry*

Menurut Bajpai dan Tyagi (2007) penggunaan air untuk kegiatan *laundry* sekitar 17 L atau 13% dari kebutuhan air bersih atau sekitar 8% dari air yang masuk ke sistem air buangan. Selain kontribusi volume air, air limbah *laundry* menyumbang beban kontaminan yang cukup tinggi ke dalam air buangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Cogley dan Wechsler (2005) pada sebuah industri *laundry* memberikan gambaran mengenai karakteristik limbah *laundry* secara umum yang tertuang dalam tabel 2.1. Pada tabel tersebut memperlihatkan bahwa parameter TSS dan COD memiliki konsentrasi terbesar dibandingkan dengan parameter lain. Hal ini mengindikasikan bahwa limbah *laundry* banyak mengandung senyawa organik dan anorganik. Namun tidak semua industri *laundry* memiliki konsentrasi yang besar seperti pada tabel 2.1. Besarnya konsentrasi limbah *laundry* dipengaruhi oleh kapasitas proses pencucian.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah *Laundry* Secara Umum

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1	TSS	mg/l	344 - 3080
2	COD (bikromat)	mg/l	1270 - 13700
3	BOD ₅	mg/l	391 - 2600
4	pH	-	10,6 - 11,4
5	Phenol	mg/l	0,03
6	Khrom total	mg/l	0,41 - 3,16
7	alkalinitas	mg/l	680 - 2090
8	Deterjen	mg/l	2,10

Sumber : Cogley, Wechsler (2005)

Pada proses pencucian akan menghasilkan konsentrasi yang lebih besar dibandingkan dengan proses pembilasan, karena proses pencucian merupakan proses pembersihan kotoran pada pakaian sedangkan proses pembilasan hanya merupakan proses pembersihan deterjen.

Karakteristik limbah *laundry* berdasarkan tahapan prosesnya digambarkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Laundry Berdasarkan Prosesnya

Tahap Proses	Parameter	pH	Suspended Solid (mg/l)	COD (mg/l)	MBAS (mg/l)
Pencucian	Maksimum	10,1	857	2847	674
	Rata-rata	9,3	203	1217	157
	Minimum	8,9	38	488	62
Pembilasan	Maksimum	9,4	502	1210	225
	Rata-rata	8,0	112,7	479	62
	Minimum	6,8	11	40	20
Pembilasan II	Maksimum	8,6	147	410	78
	Rata-rata	7,5	40,7	30	21
	Minimum	6,4	1,4	8	0

Sumber : Seo, et al., (2001)

Pada umumnya limbah *laundry* banyak mengandung sejumlah surfaktan, *carboxyl methyl cellulose* (CMC), minyak tumbuhan, kalsium (Ca), Phospat (P), SiO_3^{2-} , pemutih pakaian dan tanah. Jumlah surfaktan MBAS, bahan pendukung deterjen dan substansi minyak yang besar pada limbah *laundry* dapat meningkatkan konsentrasi COD pada limbah tersebut (Seo, et.al., 2001). Komposisi limbah *laundry* yang mempengaruhi konsentrasi COD dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh Komposisi Deterjen Terhadap Konsentrasi COD

Klasifikasi	Maksimum (mg/l)		Rata-rata (mg/l)		Minimum (mg/l)	
	Konsentrasi	COD	Konsentrasi	COD	Konsentrasi	COD
LAS	800	1780	140	310	20	48
CMC 1	5	60	5	20	-	-
Minyak tumbuhan	76	770	29,5	300	3	31
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	240 Ca	-	50 Ca	-	5 Ca	-
Bleach (NaOCl-5%)	48	-	-	-	-	-
Urea	63	-	-	-	2	-
Kaolin 0,2 μm	315	-	-	-	10	-
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	315 SiO_3^{2-}	-	-	-	10 SiO_3^{2-}	-
$\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1165	-	-	-	37	6

Sumber : Seo, et al., (2001)

2.3. Dampak Industri *Laundry*

Pengaruh terhadap lingkungan lebih dominan disebabkan oleh jenis zat-zat kimia yang terdapat dalam deterjen, terutama dari bentuk rantai kimia dan gugus fungsi surfaktan. Beberapa dampak negatif yang ditimbulkan oleh limbah industri *laundry* di lingkungan:

1. Surfaktan dalam deterjen dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme sehingga dapat menyebabkan penyakit tumor dan kanker.
2. Fosfor sebagai *deterjen builder* merupakan faktor pembatas pada perairan tawar. Meningkatnya kandungan fosfor akan merangsang pertumbuhan alga yang tidak terkontrol sehingga terjadi eutrofikasi perairan. Secara tidak langsung, eutrofikasi merupakan penyebab terjadinya pendangkalan perairan karena keberadaan alga di perairan tersebut akan menghambat aliran air dan secara otomatis akan mempercepat proses pengendapan lumpur.
3. Fosfat dan alga-alga yang telah mati akan mengalami proses dekomposisi oleh bakteri. Dalam proses tersebut, bakteri memerlukan oksigen. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut dalam perairan. Suplai oksigen bagi bakteri akan berkurang seiring dengan berkurangnya oksigen terlarut dalam air sehingga bakteri-bakteri tersebut akan mati kekurangan oksigen. Proses dekomposisi selanjutnya akan dilanjutkan oleh bakteri anaerobik yang menghasilkan gas-gas beracun.

Untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari limbah cair industri *laundry*, maka pemerintah mengeluarkan aturan Keputusan Gubernur Jawa Timur No: 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur. Karena baku mutu limbah cair industri *laundry* tidak diatur secara khusus maka digunakan baku mutu limbah cair lampiran II. Parameter baku mutu limbah cair dapat dilihat pada tabel 2.4

**Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair (Termasuk Pengolah Limbah Terpusat /
kawasan industri)**

No	Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Cair			
			I	II	III	IV
A	FISIKA					
1	Temperatur	°C	35	38	40	45
2	Zat Padat terlarut	mg/liter	1500	2000	4000	5000
3	Zat Padat tersuspensi	mg/liter	100	200	200	500
B	KIMIA					
1	pH	mg/liter	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
2	Besi (Fe)	mg/liter	5	10	15	20
3	Mangan (Mn)	mg/liter	0.5	2	5	10
4	Barium (Ba)	mg/liter	1	2	3	5
5	Tembaga (Cu)	mg/liter	1	2	3	5
6	Seng (Zn)	mg/liter	5	10	15	20
7	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/liter	0.05	0.1	0.5	2
8	Krom Total (Cr tot)	mg/liter	0.1	0.5	1	2
9	Cadmium (Cd)	mg/liter	0.01	0.05	0.1	1
10	Raksa (Hg)	mg/liter	0.001	0.002	0.005	0.01
11	Timbal (Pb)	mg/liter	0.1	0.5	1	3
12	Timah Putih (Sn)	mg/liter	2	3	4	5
13	Arsen (As)	mg/liter	0.05	0.1	0.5	1
14	Selenium (Se)	mg/liter	0.01	0.05	0.5	1
15	Nikel (Ni)	mg/liter	0.1	0.2	0.5	1
16	Kobalt (Co)	mg/liter	0.2	0.4	0.6	1
17	Sianida (CN)	mg/liter	0.05	0.1	0.5	1
18	Sulfida (H ₂ S)	mg/liter	0.01	0.06	0.1	1
19	Flourida (F)	mg/liter	1.5	15	20	30
20	Klorin Bebas (Cl ₂)	mg/liter	0.02	0.03	0.04	0.05
21	Amoniak Bebas (NH ₃ -N)	mg/liter	0.5	1	5	20
22	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/liter	10	20	30	50
23	Nitrit (NO ₃ -N)	mg/liter	0.06	1	3	5
24	BOD ₅	mg/liter	30	50	150	300
25	COD	mg/liter	80	100	300	600
26	Detergent an ionik	mg/liter	0.5	1	10	15
27	Phenol	mg/liter	0.01	0.05	1	2
28	Minyak dan Lemak	mg/liter	1	5	15	20
29	PCB	mg/liter	NIHIL	NIHIL	NIHIL	NIHIL

Sumber : Lampiran II Keputusan Gubernur Jatim No: 45 tahun 2002

2.4. Parameter Limbah Cair

2.4.1 Parameter Fisika

Parameter-parameter yang penting dalam air buangan yang termasuk dalam parameter fisik antara lain :

- a. Total Solids
- b. Temperatur
- c. Warna
- d. Bau

a. Total Suspended Solids

TSS merupakan jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami penyaringan (Sugiharto, 1987). TSS dapat diklasifikasikan menjadi zat padat terapung yang selalu bersifat organik dan zat padat terendap yang dapat bersifat organik dan inorganik (Alaerts dan Santika, 1987). Pada umumnya material yang terlingkup dalam TSS berupa tanah liat, kwarts, protein, sisa tanaman dan bakteri. Pada limbah *laundry* TSS dapat disebabkan oleh deterjen yang mengikat kotoran pada pakaian.

Menurut Murphy (2005), limbah yang mengandung TSS tinggi dapat merusak ekosistem perairan sebagai badan air penerima. Material TSS dapat menghalangi sinar matahari menembus lapisan perairan, sehingga proses fotosintesis menurun yang menyebabkan konsentrasi oksigen menurun pula. Konsentrasi oksigen yang menurun mengakibatkan kematian pada makhluk hidup perairan tersebut dan hal ini akan meningkatkan proses eutrofikasi. Metode yang digunakan untuk mengukur konsentrasi TSS adalah metode gravimetri (Alaerts dan Santika, 1987).

b. Temperatur

Pada umumnya temperatur air buangan lebih tinggi dari temperatur air minum karena adanya penambahan berlebih panas dari bekas pemakaian rumah tangga atau aktifitas pabrik.

Temperatur air buangan akan memberikan pengaruh pada :

- Kehidupan dalam air
- Kelarutan gas

- Aktifitas bakteri
 - Reaksi-reaksi kimia dan kecepatan reaksi
- c. Warna
- Warna dari air buangan rumah tangga dan industri umumnya berwarna abu-abu sebagai akibat dari penguraian senyawa organik oleh bakteri, warna air buangan akan menjadi hitam. Hal ini menunjukkan bahwa air buangan dalam keadaan septik.
- d. Bau
- Bau dalam air buangan biasanya disebabkan oleh produksi gas-gas hasil dekomposisi zat-zat organik. Gas fluida (H_2S) dalam air buangan adalah hasil reduksi dari sulfat oleh mikroorganisme secara anaerobik.

2.4.2 Parameter Kimia

Beberapa parameter kimia pada air limbah antara lain:

- a. pH
- Konsentrasi ion Hidrogen (H^+) dalam suatu cairan dinyatakan dengan pH. Organisme sangat sensitif terhadap perubahan ion hidrogen. Pada proses penjernihan air dan air limbah, pH menjadi indikator untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan.
- a. *Chemical Oxygen Demand* (COD)
- COD merupakan jumlah oksigen ($mg\ O_2$) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1987). Selain tes COD, pengukuran kandungan zat-zat organik dapat pula dilakukan dengan tes *Biological Oxygen Demand* (BOD).
- Ada beberapa keuntungan tes COD dibandingkan dengan tes BOD:
1. Analisa COD hanya memakan waktu kurang lebih 3 jam, sedangkan analisa BOD memerlukan waktu 5 hari.

2. Untuk menganalisa COD antara 50 sampai 800 mg/l, tidak dibutuhkan pengenceran sampel sedang pada umumnya analisa BOD selalu membutuhkan pengenceran.
3. Ketelitian dan ketepatan tes COD adalah 2 sampai 3 kali lebih tinggi dari tes BOD.
4. Gangguan dari zat-zat yang bersifat racun terhadap mikroorganisme pada tes BOD, tidak menjadi soal pada tes COD.

(Alaerts dan Santika, 1987)

Analisa COD dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan metode spektrofotometri dan *closed reflux titrimetric*. Metode spektrofotometri dalam membaca nilai COD menggunakan alat spektrofotometer sedangkan metode *closed reflux titrimetric* menggunakan titrasi. Menurut Sawyer (1994) tes COD dalam aplikasinya digunakan untuk menganalisis limbah industri secara intensif, terutama untuk menentukan ukuran-ukuran desain dan kontrol kualitas pada sistem pembuangan.

b. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pada waktu melakukan proses dekomposisi bahan organik yang ada di perairan.

c. Phosphat

Phosphat banyak terdapat di perairan dalam bentuk inorganik dan organik sebagai larutan, debu, dan tubuh organisme. Sumber utama phosphat adalah dari penggunaan detergen dan pupuk pertanian

d. Nitrat

Nitrat, nitrit, dan amonia adalah senyawa nitrogen organik yang banyak mendapat perhatian pada kualitas air. Senyawa nitrogen ini banyak dihasilkan dari buangan manusia dan limbah industri. Semua bentuk nitrogen dapat diukur dengan menggunakan kalori meter.

2.4.3 Parameter Biologi

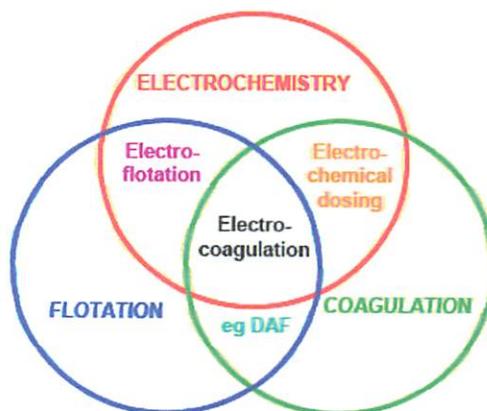
Karakteristik organisme yang terpenting dalam air buangan dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Kelompok protista (bakteri dan protozoa)
2. Kelompok tumbuh-tumbuhan (paku-pakuan dan lumut)
3. Kelompok hewan

Kelompok protista terdiri dari bakteri dan protozoa. Sedangkan kelompok tumbuh-tumbuhan antara lain paku-pakuan dan lumut. Bakteri berperan sangat penting dalam air buangan terutama dalam proses biologis.

2.5. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya aluminium atau besi) kedalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Holt, Barton, Michell., 2004). Sedangkan menurut Mollah, et. al., (2004), elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisik dengan menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion yang digunakan untuk mengolah air limbah.



Gambar 2.2 Diagram Venn (Holt, Barton, Michell.,,2001)

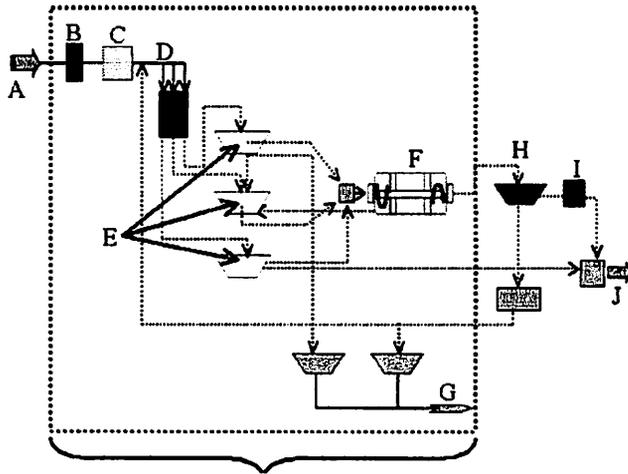
Diidentifikasi terdapat tiga proses mendasar yang terjadi dalam elektrokoagulasi yaitu elektrokimia, koagulasi dan flotasi. Ketiga proses ini dapat

digambarkan dengan diagram Venn dimana kombinasi dari ketiganya menghasilkan teknologi elektrokoagulasi, sedangkan kombinasi yang lain menghasilkan teknologi yang berbeda.

Elektrokoagulasi bukan merupakan teknologi baru, dari literatur yang ada menunjukkan bahwa teknologi ini telah ditemukan lebih dari seratus tahun yang lalu. Contoh aplikasi yang ada misalnya adalah pada akhir abad 19, telah terdapat beberapa instalasi pengolahan air bersih yang cukup besar di London yang mempergunakan teknologi ini (Matteson et al., 1995 dalam Holt et al., 2004). Sementara instalasi pengolahan lumpur secara elektrolisis dioperasikan di beberapa tempat di Amerika Serikat pada awal tahun 1911 yang memiliki ukuran yang serupa dengan instalasi pengolahan air limbah pada masa tersebut. Namun sejak tahun 1930-an semua instalasi tersebut tidak dioperasikan lagi dikarenakan biaya operasional yang tinggi dan adanya alternatif lain berupa penggunaan bahan kimia sebagai koagulan (Holt et al., 2004).

Pada masa sekarang penggunaan teknologi elektrokoagulasi mulai dikembangkan kembali untuk meningkatkan kualitas effluen air limbah. Elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah effluen dari beberapa air limbah yang berasal dari industri makanan, limbah tekstil, limbah rumah makan, limbah yang mengandung senyawa arsenik, air yang mengandung fluorida, dan air yang mengandung partikel yang sangat halus, bentonit dan kaolinit.

Pada sistem pengolahan limbah yang konvensional, reaktor elektrokoagulasi dapat menggantikan beberapa unit pengolahan sehingga menghasilkan instalasi pengolahan yang lebih sederhana dan tidak membutuhkan lahan yang luas.



Keterangan:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| A : Air limbah | F : <i>Oxidation Ditch</i> |
| B : <i>Bar screen</i> | G : Pengolahan lumpur |
| C : <i>Grit chamber</i> | H : <i>Clarifier</i> |
| D : Bak distribusi | I : Klorinasi |
| E : <i>Primary sedimentation</i> | J : Effluen |

Gambar 2.3 Diagram alir IPAL konvensional dan unit yang dapat digantikan oleh Elektrokoagulasi (Mollah, et.al., 2004)

Untuk pertimbangan penentuan penggunaan elektrokoagulasi maka Mollah et.al., (2001) telah memberikan gambaran tentang keuntungan dan kerugiannya.

Keuntungan

dari penggunaan elektrokoagulasi adalah sebagai berikut :

1. Elektrokoagulasi membutuhkan peralatan yang sederhana dan mudah dioperasikan.
2. Air limbah yang diolah dengan elektrokoagulasi menghasilkan effluen yang jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau.
3. Lumpur yang dihasilkan elektrokoagulasi relatif stabil dan mudah dipisahkan karena terutama berasal dari oksida logam. Selain itu jumlah lumpur yang dihasilkan sedikit.
4. Flok yang terbentuk pada elektrokoagulasi memiliki kesamaan dengan flok yang berasal dari koagulasi kimia. Perbedaannya adalah flok dari elektrokoagulasi berukuran lebih besar dengan kandungan air yang

sedikit, lebih stabil dan mudah dipisahkan secara cepat dengan filtrasi.

5. Elektrokoagulasi menghasilkan effluen yang mengandung TDS dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan pengolahan kimiawi. Jika air hasil pengolahan ini digunakan kembali, kandungan TDS yang rendah akan mengurangi biaya recovery.
6. Proses elektrokoagulasi mempunyai keuntungan dalam mengolah partikel koloid yang berukuran sangat kecil karena dengan pemakaian arus listrik menyebabkan proses koagulasi lebih mudah terjadi dan lebih cepat.
7. Proses elektrokoagulasi tidak memerlukan pemakaian bahan kimia sehingga tidak bermasalah dengan netralisasi kelebihan bahan kimia dan tidak membutuhkan kemungkinan pengolahan berikutnya jika terjadi penambahan senyawa kimia yang terlalu tinggi seperti pada penggunaan bahan kimia.
8. Gelembung gas yang dihasilkan selama proses elektrolisis dan membawa polutan yang diolah untuk naik ke permukaan (flotasi) dimana flok tersebut dengan mudah terkonsentrasi, dikumpulkan dan dipisahkan.
9. Perawatan reaktor elektrokoagulasi lebih mudah karena proses elektrolisis yang terjadi cukup dikontrol dari pemakaian listrik tanpa perlu memindahkan bagian di dalamnya.
10. Teknologi elektrokoagulasi dapat dengan mudah diaplikasikan di daerah yang tidak terjangkau layanan listrik yakni dengan menggunakan panel matahari yang cukup untuk terjadinya proses pengolahan.

Sedangkan kerugian dari penggunaan elektrokoagulasi adalah

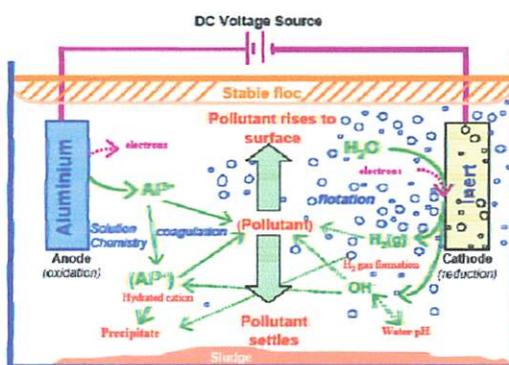
1. Elektroda yang digunakan dalam proses pengolahan ini harus diganti secara teratur.
2. Penggunaan listrik kadang kala lebih mahal pada beberapa daerah.
3. Terbentuknya lapisan di elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan.
4. Teknologi ini membutuhkan konduktivitas yang tinggi pada air limbah yang diolah.
5. Hidroksida seperti gelatin cenderung *solubilize* pada beberapa kasus.

2.5.1 Mekanisme dalam Elektrokoagulasi

Reaktor elektrokoagulasi merupakan sebuah sel elektrokimia dimana kutub anoda yang berupa logam (biasanya aluminium atau besi) mengalami pelepasan ion, dimana ion logam yang terlepas berfungsi sebagai agen koagulan. Dan secara simultan terjadi gelembung gas hidrogen di kutub katoda.

Elektrokoagulasi mempunyai kemampuan untuk mengolah berbagai macam polutan termasuk padatan tersuspensi, logam berat, tinta, bahan organik (seperti air limbah domestik), minyak dan lemak, ion dan radionuklida. Karakteristik fisik kimia dari polutan mempengaruhi mekanisme pengolahan, misalnya polutan berbentuk ion akan diturunkan melalui proses presipitasi sedangkan padatan tersuspensi yang bermuatan akan diabsorpsi ke koagulan yang bermuatan. Kemampuan elektrokoagulasi untuk mengolah berbagai macam polutan menarik minat industri untuk menggunakannya.

Pada gambar 2.4. memperlihatkan proses elektrokoagulasi yang sangat kompleks. Dimana koagulan dan produk hidrolisis saling interaksi dengan polutan atau dengan ion yang lain atau dengan gas hidrogen.



Gambar 2.4. Mekanisme dalam elektrokoagulasi (Holt, Barton, Michell., 2001)

Menurut Mollah, et. al., (2004) mekanisme penyisihan yang umum terjadi di dalam elektrokoagulasi terbagi dalam tiga faktor utama, yaitu:

- (a) Terbentuknya koagulan akibat proses oksidasi elektrolisis pada elektroda,
- (b) Destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi dan pemecahan emulsi, dan
- (c) Agregatisasi dari hasil destabilisasi untuk membentuk flok.

Sedangkan proses destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi dan pemecahan emulsi terjadi dalam tahapan sebagai berikut:

- Kompresi dari lapisan ganda (double layer) difusi yang terjadi disekeliling spesies bermuatan yang disebabkan interaksi dengan ion yang terbentuk dari oksidasi di elektroda.
- Netralisasi ion kontaminan dalam air limbah dengan menggunakan ion berlawanan yang dihasilkan dari elektroda. Dengan adanya ion tersebut menyebabkan berkurangnya daya tolak menolak antar partikel dalam air limbah dan gaya van der Waals sehingga proses koagulasi bisa berlangsung.
- Terbentuknya flok, dimana flok ini terbentuk akibat proses koagulasi sehingga terbentuk *sludge blanket* yang mampu menjebak dan menjembatani partikel koloid yang masih ada di air limbah.

2.5.2 Pelarutan Logam di Elektroda

Pada percobaan elektrokoagulasi, elektroda yang digunakan selalu dihubungkan dengan sumber listrik DC. Jumlah logam yang larut tergantung pada jumlah arus listrik yang mengalir pada elektroda tersebut. Hukum Faraday membuat hubungan antara kuat arus (I) yang mengalir dengan jumlah massa yang terlepas ke larutan, hal ini merupakan pendekatan secara teoritis untuk menghitung jumlah aluminium yang terlepas ke larutan. Adapun rumus dari hukum Faraday adalah sebagai berikut:

$$m = \frac{I.t.MW}{Z.F} \quad (2.1)$$

Dimana:

- m = berat aluminium yang larut (g)
- I = kuat arus yang digunakan (A)
- t = waktu detensi (detik)
- MW = berat molekul aluminium, yaitu 27 g mol
- Z = valensi aluminium, yaitu 3
- F = konstanta Faraday, 96500 C/mol

(Sumber: Chang, 2002)

Jika menggunakan kerapatan arus (A/m^2) maka satuan dari m adalah (g/m^2) Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat membandingkan antara jumlah logam yang larut secara teoritis dengan percobaan di lapangan. Seringkali diperoleh hubungan yang cukup baik antara hasil percobaan dengan teori.

Salah satu yang dapat menimbulkan ketidak tepatan pengukuran adalah tegangan/potensial yang digunakan pada reaktor elektrokoagulasi. Tegangan yang diukur merupakan gabungan dari tiga komponen (Rajesshwar dan Ibanes, 2005), yaitu :

$$\eta_{AP} = \eta_K + \eta_{Mt} + \eta_{IR} \quad (2.2)$$

Dimana:

η_{AP} = overpotensial yang digunakan (V)

η_K = overpotensial kinetik (V)

η_{Mt} = overpotensial konsentrasi (V)

η_{IR} = overpotensial yang disebabkan hambatan larutan atau *IR-drop* (V)

IR-drop berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta_{IR} = \frac{Id}{AK} \quad (2.3)$$

Nilai *IR-drop* dapat diminimalkan dengan cara mengurangi jarak antara elektroda dan meningkatkan luas penampang elektroda serta menaikkan konduktivitas spesifik dari larutan.

Overpotensial konsentrasi (Mt) juga dikenal sebagai tegangan transfer massa atau difusi yang disebabkan perubahan konsentrasi analit yang terjadi di permukaan elektroda akibat reaksi di elektroda tersebut. Overpotensial ini disebabkan terjadinya perbedaan konsentrasi spesies elektroaktif antara bulk larutan dan permukaan elektroda. Kondisi ini terjadi ketika reaksi elektrokimia yang cukup cepat menurunkan konsentrasi permukaan spesies elektroaktif di bawah larutan bulk. Overpotensial tegangan ini dapat diabaikan ketika konstanta

laju reaksi lebih kecil dari koefisien transfer massa. Overpotensial transfer massa dapat dikurangi dengan cara meningkatkan transportasi ion logam dari permukaan anoda ke larutan dan hal ini dapat dicapai dengan meningkatkan turbulensi dari larutan.

Overpotensial kinetik atau juga disebut potensial aktivasi merupakan penghalang alami energi aktivasi dari reaksi transfer elektron. Overpotensial aktivasi akan menjadi tinggi ketika timbul gas pada elektroda. Selain itu overpotensial kinetik dan konsentrasi akan mengalami peningkatan ketika arus listrik yang mengalir juga meningkat.

2.5.3. Reaksi di Elektroda

Untuk menghasilkan koagulan diperlukan beda potensial diantara elektroda. Perbedaan potensial ini diperlukan untuk menimbulkan reaksi elektrokimia pada masing-masing elektroda.

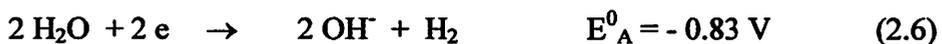
Aluminium merupakan elektroda yang paling banyak digunakan, dimana pada proses elektrokoagulasi terjadi proses pelarutan anodik yang reaksinya adalah sebagai berikut :



Pembentukan oksigen juga terjadi di anoda (Hudori, 2008) walaupun tidak terdeteksi oleh analisa Przhigorlinskii et al., 1987, reaksinya adalah :



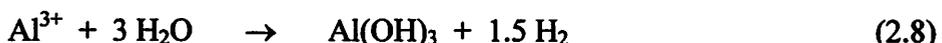
Selain itu secara simultan terjadi reaksi di kutub katoda, biasanya pembentukan gas hidrogen. Reaksi yang terjadi di katoda tergantung pada pH air yang diolah. Pada kondisi netral atau basa, gas hidrogen terjadi dengan reaksi :



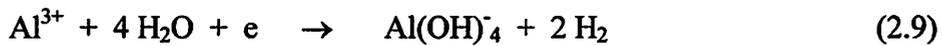
Sedangkan pada kondisi asam, reaksi pembentukan gas hidrogen adalah sebagai berikut :



Untuk penggunaan aluminium pada kedua elektroda, reaksinya adalah sebagai berikut :



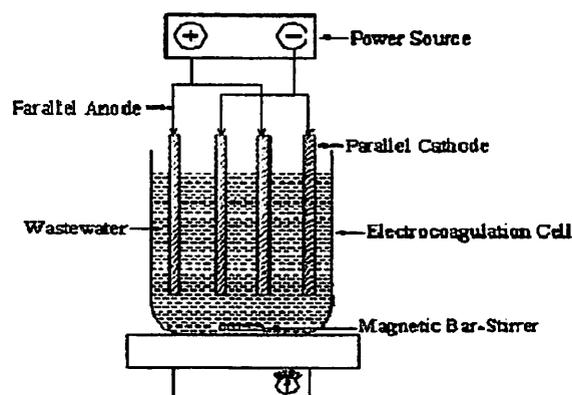
Sedangkan proses pelepasan aluminium pada kutub katoda adalah sebagai berikut:



Persamaan 2.1 sampai 2.4 merupakan reaksi separuh sel yang dominan terjadi pada reaktor dengan anoda aluminium dan katoda logam inert. Potensial dari reaksi yang terjadi tergantung pada bahan yang digunakan pada elektroda dan kondisi larutan

2.5.4. Reaktor Elektrokoagulasi Monopolar

Pada bentuk yang sederhana, reaktor elektrokoagulasi berupa reaktor elektrokimia dengan satu anoda dan satu katoda. Ketika dihubungkan dengan sumber listrik maka bahan anoda mengalami korosi akibat oksidasi sedangkan katoda menjadi subyek yang pasif. Agar susunan ini dapat mencukupi untuk pengolahan air limbah, sehingga tidak terbentur dengan masalah kebutuhan laju pelepasan ion logam yang besar, maka dalam proses ini dapat digunakan reaktor yang memakai konfigurasi elektroda *monopolar* (Mollah, 2001). Keuntungan dari konfigurasi monopolar ini memerlukan voltase yang rendah, namun kerugian dari konfigurasi ini memerlukan arus dan daya yang tinggi serta menghasilkan medan magnet yang besar. Susunan elektroda *monopolar* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.5. Reaktor elektroda dengan konfigurasi *monopolar* (Mollah, 2001)

Menurut mollah (2001) untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang maksimum maka dalam mendesain reaktor elektrokoagulasi perlu mempertimbangkan beberapa faktor berikut ini :

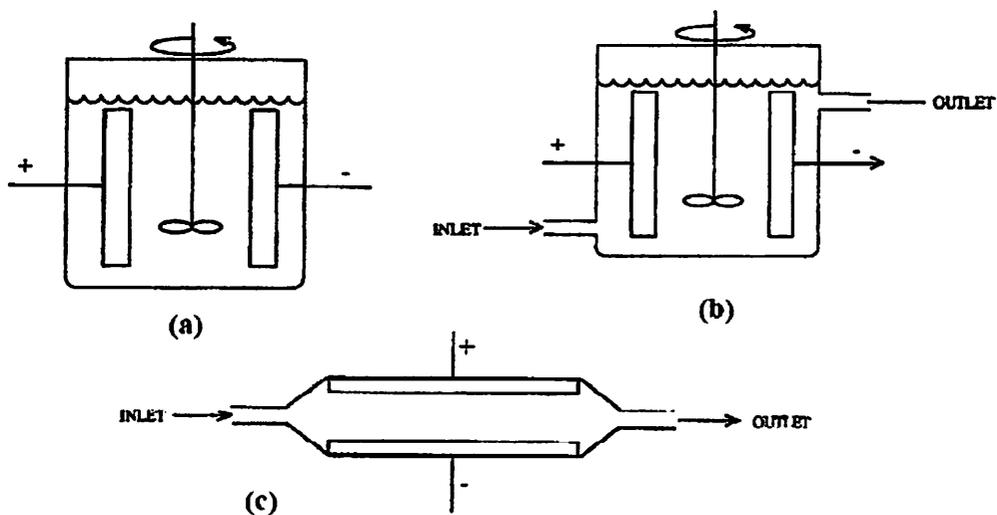
- IR-drop antar elektroda harus diminimalkan
- Akumulasi gas O_2 dan H_2 dipermukaan elektroda harus diminimalkan
- Penghalang proses transfer massa melewati daerah antar elektroda harus diminimalkan.

Sedangkan nilai IR-drop tergantung pada :

- Konduktivitas dari larutan elektrolit
- Jarak antar dua elektroda
- Bentuk geometri dari elektroda

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dapat dilakukan beberapa cara, seperti : menggunakan larutan dengan konduktivitas yang tinggi, dan mengurangi jarak antar elektroda.

Sebagai bagian dari reaktor elektrokimia maka reaktor elektrokoagulasi dapat dibedakan berdasarkan mode pengoperasian, yaitu reaktor batch (SBR), reaktor aliran tersumbat (PFR) dan reaktor teraduk kontinu (CSTR). Skema dari reaktor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.6. Skema Reaktor Elektrokimia (a) *Single Batch Reactor* (b) *Continuous Stirred Tank Reactor* (c) *Plug Flow Reactor*

2.5.5. Proses Pengadukan Cepat dengan Elektroda

Proses pengadukan cepat dengan elektroda merupakan faktor kunci dalam elektrokoagulasi, proses ini menggambarkan interaksi antara koagulan dengan bahan polutan yang hendak diolah. Prinsip dari pengadukan cepat dengan elektroda adalah destabilisasi partikel koloid dengan cara mengurangi semua gaya yang mengikat, kemudian menurunkan energi penghalang dan membuat partikel menjadi bentuk flok. Pada reaktor elektrokoagulasi, mekanisme yang dominan akan bervariasi tergantung kondisi pengoperasian reaktor, jenis dan konsentrasi polutan dan konsentrasi koagulan.

Elektrokoagulasi dapat dibandingkan dengan koagulasi kimiawi untuk menunjukkan efisiensi dan keuntungannya. Pada koagulasi kimiawi, bahan kimia yang ditambahkan sebagai koagulan yang berbentuk garam dan di dalam elektrokoagulasi larutan akan mengalami disosiasi melalui hidrolisis dari kation aluminium (dan berhubungan dengan anion larutan) yang diukur dengan kondisi larutan dan nilai pH. Penambahan aluminium sulfat pada koagulasi kimiawi akan membuat air menjadi asam sedangkan pada penambahan aluminium pada elektrokoagulasi yang tidak menyebabkan disosiasi pada anion garam di larutan, akan menyebabkan nilai pH relatif stabil dalam kisaran basa (Koparal and Ogutveren, 2002).

Pada elektrokoagulasi, stabilitas polutan diukur dari karakteristik fisik kimia dari polutan tersebut. Polutan tersusun atas partikel bermuatan yang sama yang terikat satu dengan lainnya dan dengan gaya repulsive menyebabkan menjadi stabil. Proses perubahan ion yang berlawanan menjadi polutan yang bermuatan akan membentuk lapisan ganda elektrik (*electric double layer*) yang disebut lapisan diffuse dan Stern (Holt , 2002). Repulsif elektrostatis antara lapisan ganda elektrik akan membuat partikel terpisah, sedangkan gaya van der Waals akan menyatukan partikel tersebut.

Untuk memperoleh pemisahan yang kecil, terlebih dahulu dibutuhkan energi barrier yang repulsif. Zeta potensial dapat digunakan untuk mengukur secara eksperimen muatan efektif dari partikel untuk bergerak dalam larutan, hal ini merupakan indikator langsung dari stabilitas larutan (Letterman et al., 1999).

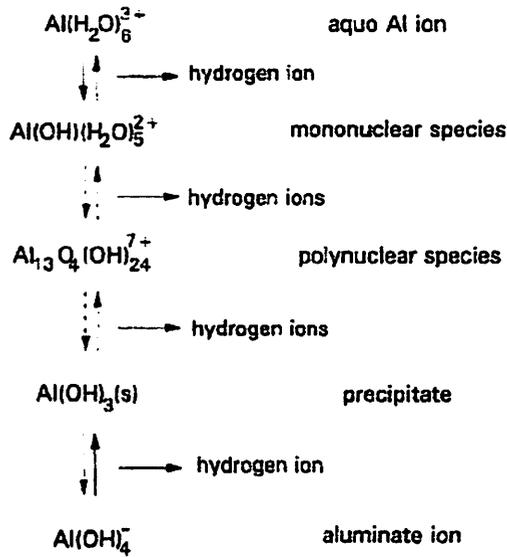
Sedangkan Holt et al., (2002) melaporkan pada pengukuran di reaktor yang batch nilai titik isoelektrik berkaitan dengan tingkat removal polutan yang tinggi. Oleh sebab itu, pengukuran zeta potensial dapat menunjukkan karakteristik penting dari sistem elektrokoagulasi (Clemens, 1981; Ramirez, 1982) dan juga menunjukkan indikasi dari stabilitas dan indikasi kemungkinan mekanisme koagulasi yang terjadi.

Aluminum merupakan logam yang sering digunakan sebagai anoda dalam proses elektrokoagulasi. Ion positif (kation) aluminium yang terlepas (tergantung pada kondisi polutan, pH dan konsentrasi larutan) secara langsung akan berinteraksi dengan polutan dan akan terjadi hidrolisa membentuk kompleks hidro-aluminium atau juga terjadi presipitasi. Proses pembentukan kation ini sangat penting untuk dapat memahami mekanisme elektrokoagulasi.

Thermodinamika dapat digunakan untuk mengukur dan menghitung zat yang bereaksi dalam larutan. Adapun reaksi yang terjadi pada aluminium ketika terlepas ke larutan adalah sebagai berikut :

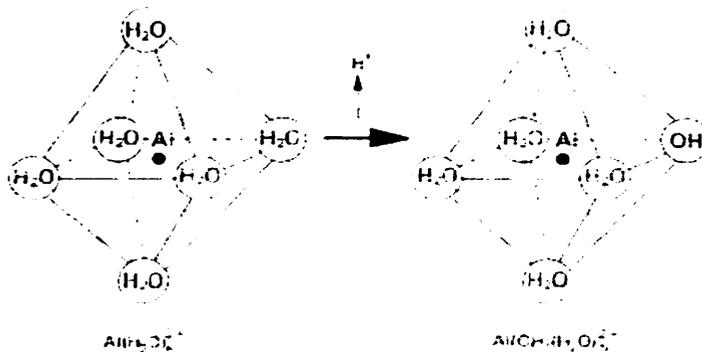


Reaksi tersebut menggambarkan reaksi yang sederhana dari ion aluminium dalam air karena setelah itu terjadi reaksi spontan yang menghasilkan dimetrik, trimerik dan polynuclear (Gambar 2.7).



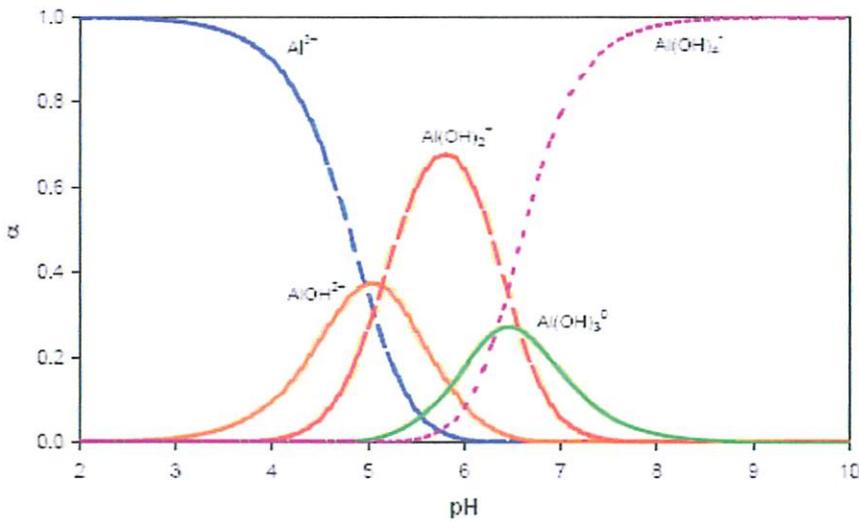
Gambar 2.7 Reaksi hidrolisa ion aluminium (Letterman, 1999)

Pada awalnya ion logam aluminium di dalam air akan mengikat enam atom oksigen dari air disekelilingnya dan ikatan atom oksigen hidrogen pada air relatif lemah menyebabkan ion H^+ terlepas atau mengalami deprotonasi (Gambar 2.8).



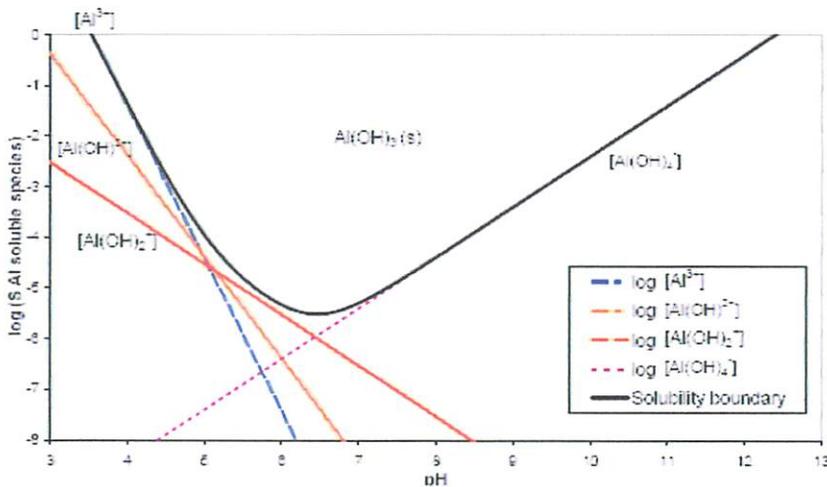
Gambar 2.8 242 (Letterman, 1999)

Dengan memperhatikan hanya pembentukan mononuclear, jumlah aluminium dalam larutan (α) dengan nilai pH pada larutan dapat digambarkan dengan grafik dibawah ini. Dimana pada diagram tersebut, distribusi yang ada menggambarkan proses hidrolisis yang tergantung pada konsentrasi total dari logam dan pH larutan.



Gambar 2.9 Diagram distribusi Al-H₂O untuk mononuklear (Holt, 2002)

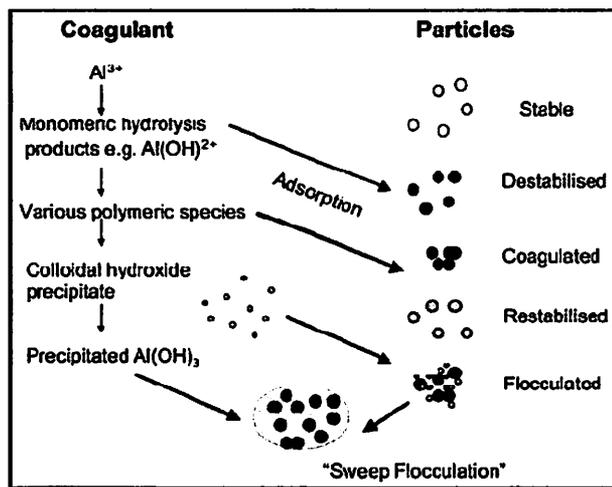
Sedangkan untuk kelarutan dari aluminium hidroksida, Al(OH)_{3(s)} dapat dilihat pada diagram berikut ini.



Gambar 2.10. Diagram kelarutan dari Aluminium hidroksida (Holt, 2002)

Batas kelarutan ditentukan oleh kesetimbangan termodinamika yang terjadi diantara kandungan aluminium yang dominan di larutan pada pH yang diberikan dengan padatan aluminium hidroksida. Minimum kelarutan (yaitu 0.03 mg Al/L) terjadi pada pH 6.3, dan nilai kelarutan bertambah apabila larutan menjadi semakin asam atau basa.

Sehingga kation logam aktif yang diproduksi pada anoda akan bereaksi dengan ion hidroksida yang diproduksi di katoda untuk membentuk logam hidroksida yang akan berfungsi sebagai agen koagulan. Ketika berinteraksi dengan partikel polutan, logam hidroksida akan membentuk agregat yang memungkinkan untuk mengalami pengendapan atau juga dapat terbawa oleh gelembung gas hidrogen (yang dihasilkan di katoda) ke permukaan. Pada penambahan koagulan, presipitasi logam dari aluminium hidroksida menyebabkan removal polutan melalui mekanisme *sweep coagulation* (Gambar 2.11).



Gambar 2.11. Proses *sweep coagulation* (Duan, 2003)

Prinsip dari pengadukan cepat dengan elektroda adalah destabilisasi partikel koloid dengan cara mengurangi semua gaya yang mengikat, kemudian menurunkan energi penghalang dan membuat partikel menjadi bentuk flok. Proses ini tergantung pada karakteristik fisik dan kimia dari larutan, serta jenis polutan.

Kation logam aktif yang diproduksi pada anoda akan bereaksi dengan ion hidroksida yang diproduksi di katoda untuk membentuk logam hidroksida yang akan berfungsi sebagai agen koagulan. Ketika berinteraksi dengan partikel polutan, logam hidroksida akan membentuk agregat yang memungkinkan untuk mengalami pengendapan atau juga dapat terbawa oleh gelembung gas hidrogen (yang dihasilkan di katoda) ke permukaan.

Pada tahap ini diperlukan proses pengadukan cepat. Proses pengadukan cepat dapat dilakukan dengan berbagai cara sebagai berikut (Masduqi dan Slamet, 2002):

- Pengadukan Mekanis

Memerlukan energi/daya untuk pengadukan, tidak tergantung aliran, serta besar turbulensi tergantung pada daya motor. Jenis-jenis pengadukan mekanis:

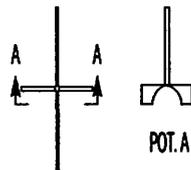
- *Turbine*

Memiliki karakteristik :

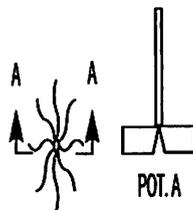
- Diameter 30-50 % dari lebar bak/diameter bak.
- Kecepatan putaran 10-150 rpm.
- Letak dari dasar tangki 1 D.
- Lebih efektif karena turbulensi tinggi.

Sketsa gambar dan jenis turbine :

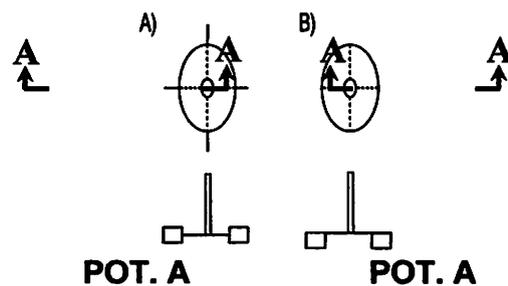
Straight Blades



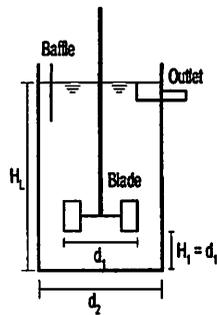
Curved Blades



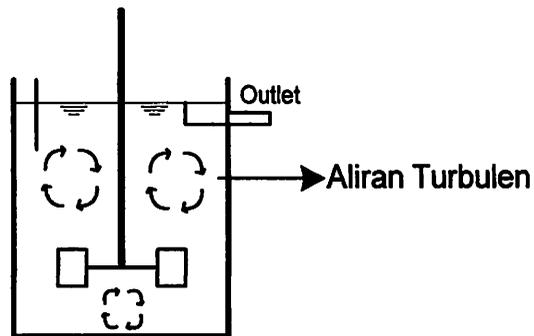
Vaned Disc



Sketsa penempatan :



Sketsa arus :

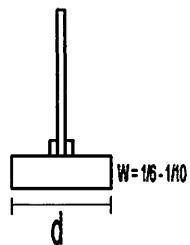


➤ *Paddle*

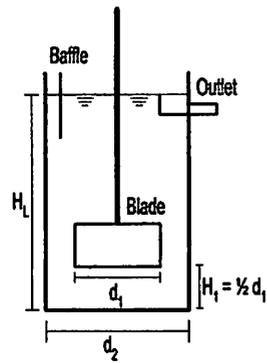
Memiliki karakteristik :

- Diameter 50-80 % dari bak / lebar bak.
- Lebar paddle $1/6 - 1/10$ diameter.
- Letak dari dasar tangki $1/2 D$.
- Kecepatan 20-50 rpm.

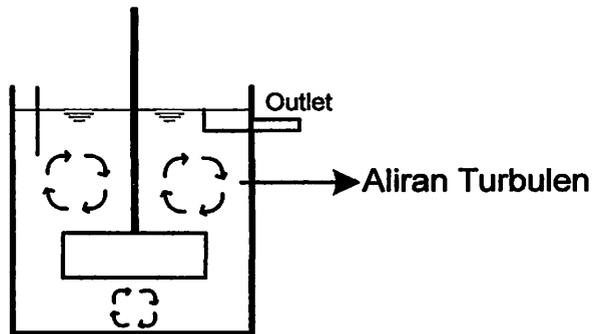
Sketsa gambar :



Sketsa penempatan :



Sketsa arus :

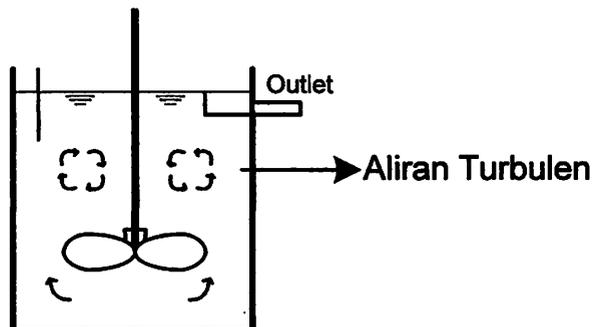


➤ *Propeller Impeller*

Memiliki karakteristik :

- Kecepatan 400-1750 rpm.
- Diameter 18 inc.
- Untuk bak besar lebih efektif karena putarannya tinggi.

Sketsa arus :



Gradien kecepatan pengadukan secara mekanis :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (2.14)$$

Dimana :
 G = gradien kecepatan (dt^{-1}).
 P = power atau daya ($kg.m^2/dt^3$ atau watt).
 μ = viskositas dinamik ($gr/m.dt$).
 V = Volume reaktor (m^3).

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (2.15)$$

Dimana :
 ν = viskositas kinematis (m^2/dt).
 ρ = densitas cairan

Sedangkan Power atau tenaga penggerak pada sistem *paddle* dapat ditentukan dengan :

$$P = \frac{n}{8} C_D \rho (1 - k_2)^3 (2\pi N)^3 (R_1^4 - R_0^4) b \quad (2.16)$$

Dimana :
 P = power/daya ($kg.m^2/dt^3$ atau watt).
 n = jumlah paddle.
 C_D = koefisien drag (tergantung Nre).
 ρ = densitas cairan
 k_2 = ratio antara kecepatan air terhadap kecepatan paddle ($V_{air} > V_{paddle}$).
 R_1 = jari-jari ujung luar paddle dari pusat (m)
 R_2 = jari-jari sebelah dalam paddle dari pusat (m).

- Pengadukan Hidraulis

Pada pengadukan ini besar turbulensi tergantung perbedaan muka air, dan tergantung pada besar aliran.

$$P = g \cdot Q \cdot H \quad (2.17)$$

Sehingga :

$$G = \left(\frac{g Q H}{\nu V} \right)^{0,5} \quad (2.18)$$

atau

$$G = \left(\frac{gQH}{\nu td} \right)^{0,5} \quad (2.19)$$

Dimana :

- P = power/daya (watt).
- G = gradien kecepatan (dt^{-1}).
- g = kecepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/dt}^2$).
- H = head atau headloss sistem (m).
- Q = debit yang diolah (m^3).
- ν = viskositas kinematis (m^2/dt).
- V = Volume reaktor (m^3).
- td = waktu detensi air dalam bak.

- Pengadukan dengan udara/diffuser

Formula yang digunakan pada unit pengadukan dengan udara adalah sebagai berikut :

$$P = m C_p \Delta T \quad (2.20)$$

Dimana :

- P = power/daya ($N \text{ m/dt}$ atau watt).
- m = debit udara yang ditransfer (kg/dt).
- C_p = specific heat udara pada tekanan konstan ($Joule/kg \cdot ^\circ K$).
- ΔT = perubahan temperatur pada compressor (inlet dan outlet).

Untuk udara C_p mendekati angka $1005 \text{ Joule/kg} \cdot ^\circ K$, dengan densitas udara $1,23 \text{ kg/m}^3$, dan Q_a adalah debit udara, sehingga P dapat disederhanakan menjadi :

$$P = 1236 Q_a \Delta T \quad (2.21)$$

Harga ΔT dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{\Delta T}{T} = \left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{1-\left(\frac{\gamma}{\gamma}\right)} - 1$$

Dimana : γ = ratio specific heat pada tekanan konstan dan volume konstan.
 p_o = tekanan di inlet (N/m^2).
 p_i = tekanan di outlet (N/m^2).
 T = temperatur gas di inlet.

Dapat juga menggunakan persamaan dengan mempertimbangkan volume udara yang terdifusi dalam air dengan kedalaman kolom air H :

$$P = \rho g H Q_a \left(\frac{10,3}{H/2 + 10,3} \right) \quad (2.22)$$

Kecepatan gelembung udara mengikuti hukum stoke :

$$V = 1/18 g b^2 (\rho_{udara} - \rho_{air}) / \mu \quad (2.23)$$

Dimana b adalah diameter gelembung udara ($b > 0,13$ mm). Hasil perkalian akan negatif yang berarti gelembung bergerak ke atas. Untuk $N_{re} < 1$ harga gradien kecepatan G dapat didekati dengan persamaan (Camp, 1955) :

$$G_{max} = g b (\rho_{udara} - \rho_{air}) / 6\mu \quad (2.24)$$

Untuk $b = 0,13$ mm diperoleh $G = 192$ per detik.

2.5.6. Proses Pengadukan Lambat

Pengadukan dengan G (gradien kecepatan) rendah mempunyai tujuan sebagai berikut:

- Memberi kesempatan partikel hasil koagulasi untuk saling mengikat menjadi flok-flok yang lebih besar agar bisa mengendap pada bak sedimentasi.
- Memudahkan flokulen dengan “benang-benang”nya untuk mengikat flok-flok yang ukurannya kecil menjadi ikatan flok yang ukurannya semakin besar
- Mencegah pecahnya kembali ikatan flok-flok tersebut.

Efektifitas proses pengadukan lambat tergantung pada:

- intensitas pengadukan
- waktu detensi pengadukan (5 – 20 menit)

Ada beberapa jenis flokulasi yaitu flokulasi secara mekanis, hidrolis dan pneumatis. Pengaduk mekanis lebih sering digunakan dari pada hidrolis karena lebih mudah disesuaikan dengan variasi debit, suhu dan kualitas air baku.

Komponen pengaduk lambat mekanis diantaranya adalah: impeller, motor, controller, reducer, sistem transmisi, shaft dan bearing.

Dalam penelitian ini digunakan pengadukan mekanis dengan *Paddle* dan memiliki karakteristik :

- Diameter 50-80 % dari bak / lebar bak.
- Lebar paddle 1/6 - 1/10 diameter.
- Letak dari dasar tangki ½ D.
- Kecepatan 100-200 rpm untuk pengadukan cepat dan 40-50 rpm untuk pengadukan lambat.

Gradien kecepatan pengadukan secara mekanis :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \tag{2.25}$$

- Dimana :
- G = gradien kecepatan (dt^{-1}).
 - P = power atau daya ($kg.m^2/dt^3$ atau watt).
 - μ = viskositas dinamik ($gr/m.dt$).
 - V = Volume reaktor (m^3).

$$\mu = \nu \cdot \rho \tag{2.26}$$

- Dimana :
- ν = viskositas kinematis (m^2/dt).
 - ρ = densitas cairan

Flokulasi ditentukan oleh jumlah tumbukan partikel (proses pembentukan flok), yaitu Gtd, seperti terlihat pada table berikut:

Jenis Flokulasi	G (/detik)	Gtd (x1000)
Penurunan kekeruhan dan warna (tanpa resirkulasi)	2 – 100	20 – 150
Penurunan kekeruhan dan warna (dengan resirkulasi)	75 – 175	125 – 200
Penurunan kesadahan	130 – 200	200 - 250

Sumber: Masduki dan Slamet, 2002.

2.5.7. Proses Sedimentasi

Sedimentasi merupakan tempat terjadinya pemisahan partikel padat secara gravitasi. Efisiensi removal dari partikel tersuspensi dipengaruhi oleh luas permukaan bak (As) dan kecepatan pengendapan partikel (V_s), dan prinsip utama dari desain sedimentasi adalah kecepatan horizontal (V_o) partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapannya (V_s). Bak sedimentasi secara umum terdiri dari empat zona (bagian), yaitu :

1. Zona Inlet

Pada zona ini terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ dari panjang bak). Prinsip dari zona inlet ini sebagai berikut :

- Influen terdispersi secara *uniform* ke bagian zona settling.
- Kecepatan influen berkurang, diupayakan dalam zona settling mengalami aliran laminar.

2. Zona Settling

Pada zona ini diharapkan terjadi aliran laminar agar partikel diskrit dapat mengendap dengan sempurna. Beberapa hal ketentuan yang terdapat dalam zona ini yaitu :

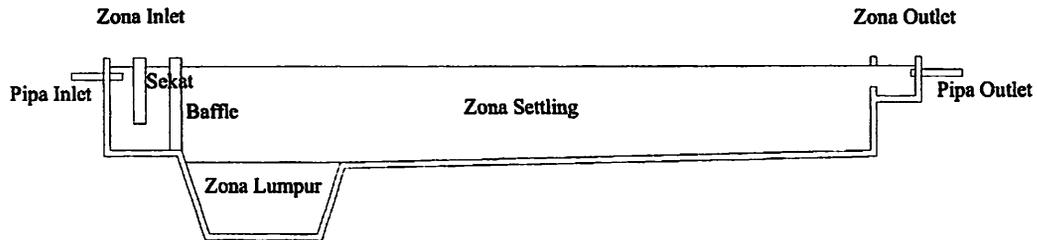
- $V_s < V_o$, maka tidak akan terjadi pengendapan partikel diskrit 100%.
- $V_s = V_o$, maka akan terjadi pengendapan partikel diskrit 100%.
- $V_s > V_o$, maka akan mudah terjadi pengendapan partikel diskrit 100%.

3. Zona Sludge

Pada zona ini digunakan sebagai tempat untuk menampung material yang mengendap. Waktu pengurasan dapat ditentukan sesuai dengan banyaknya lumpur yang terendapkan dengan membandingkan kapasitas ruang penampung.

4. Zona Outlet

Pada zona ini digunakan untuk mengalirkan air ke unit berikutnya.



Gambar 2.12 Sedimentasi

Kecepatan Mengendap Partikel

$$V_s = \left[\frac{4}{3} \frac{g(Ss-1)dp}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.27)$$

Dimana :

- V_s = kecepatan mengendap partikel (m/dt).
- g = kecepatan gravitasi (m/dt²).
- Ss = specific gravity partikel.
- C_D = koefisien drag.
- dp = diameter partikel (m).

$$C_D = \frac{b}{Nre^n} \quad (2.28)$$

Untuk aliran laminer, $C_D = \frac{24}{Re}$, maka diperoleh :

$$V_s = \frac{1}{18} \frac{g(Ss-1)dp^2}{\nu} \quad (2.29)$$

Untuk aliran transisi, $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0,34$

Untuk aliran turbulen, $C_D = 0,4$, maka diperoleh :

$$V_s = [3,3 g(Ss-1)dp]^{\frac{1}{2}} \quad (2.30)$$

Berdasarkan Kurva Performance

Pendekatan praktis dilakukan dengan kurva performance atau dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{Y}{Y_0} = 1 - \left(1 + \frac{n V_0}{Q/A}\right)^{-\frac{1}{n}} \quad (2.31)$$

(Sumber : Masduki dan Slamet, 2002)

2.6 Metode Pengolahan Data

2.6.1 Statistika Deskriptif dan Inferensi

Secara garis besar, statistik dibedakan menjadi 2 yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensi. Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebut statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data. Agar mendapatkan data lebih terperinci, kita memerlukan analisis data dengan metode statistika tertentu. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga kita memperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisis tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistika inferensi sering disebut statistika induktif. Statistika inferensi memerlukan pengetahuan lebih mengenai konsep probabilitas yang biasa dikenal sebagai ilmu peluang. Ilmu peluang tidak lepas dari statistika karena membantu pengambilan keputusan statistik suatu data (Iriawan dan Astuti, 2006).

2.6.2 Analisis Korelasi

Koefisien korelasi Pearson berguna untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara 2 variabel. Nilai korelasi berkisaran antara -1 sampai +1. nilai korelasi negatif berarti hubungan antara 2 variabel adalah negatif. Artinya, apabila salah satu variabel menurun, maka variabel lainnya akan meningkat. Sebaliknya, nilai korelasi positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah positif. Artinya, apabila salah satu variabel meningkat, maka variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau -1. sebaiknya, suatu hubungan antara 2 variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).

Hipotesis

Hipotesis untuk uji korelasi adalah :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Dimana ρ adalah korelasi antara 2 variabel.

Daerah penolakan

$$p\text{-Value} < \alpha .$$

untuk membuat interpretasi analisis korelasi, ada beberapa hal yang harus diingat, yaitu :

1. koefisien korelasi hanya mengukur hubungan linier. Jika ada hubungan non linear, maka koefisien korelasi akan bernilai 0.
2. koefisien korelasi sangat sensitif terhadap nilai ekstrem.
3. kita bisa membuat korelasi hanya jika variabel memiliki hubungan sebab akibat.

2.6.3 Analisis Regresi

Analisis regresi sangat berguna dalam berbagai penelitian antara lain :

- Model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respon dan variabel predictor
- Model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel predictor terhadap variabel respon.
- Model regresi berguna untuk memperkirakan pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon.

Model regresi memiliki variabel respon (y) dan variabel prediktor (x). Variabel respon adalah variabel yang dipengaruhi suatu variabel prediktor. Variabel respon sering dikenal variabel dependen karena peneliti tidak bisa bebas mengendalikannya. Kemudian, variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respon dan sering disebut variabel independent karena peneliti bebas mengendalikannya (Iriawan dan Astuti, 2006).

Kedua variabel dihubungkan dalam bentuk persamaan matematika.

Secara umum, bentuk persamaan regresi dinyatakan sebagai berikut :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

2.6.4 Pengantar Desain Eksperimen

Desain eksperimen berperan penting dalam mengembangkan proses dan dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam proses agar kinerja proses meningkat. Desain eksperimen dapat didefinisikan sebagai suatu uji atau rentetan uji dengan mengubah-ubah variabel input (faktor) suatu proses sehingga bisa diketahui penyebab perubahan output (respon).

2.6.4.1 Langkah-langkah dalam Desain Eksperimen

Desain eksperimen memerlukan tahap-tahap penting yang berguna agar desain mengarah pada hasil yang diinginkan. Berikut adalah langkah-langkah melakukan desain eksperimen (Iriawan dan Astuti, 2006) :

1. Mengenali permasalahan
2. Memilih faktor dan level
3. Menentukan faktor dan level
4. Memilih metode desain eksperimen
5. Melaksanakan eksperimen
6. Analisa Data
7. Membuat suatu keputusan

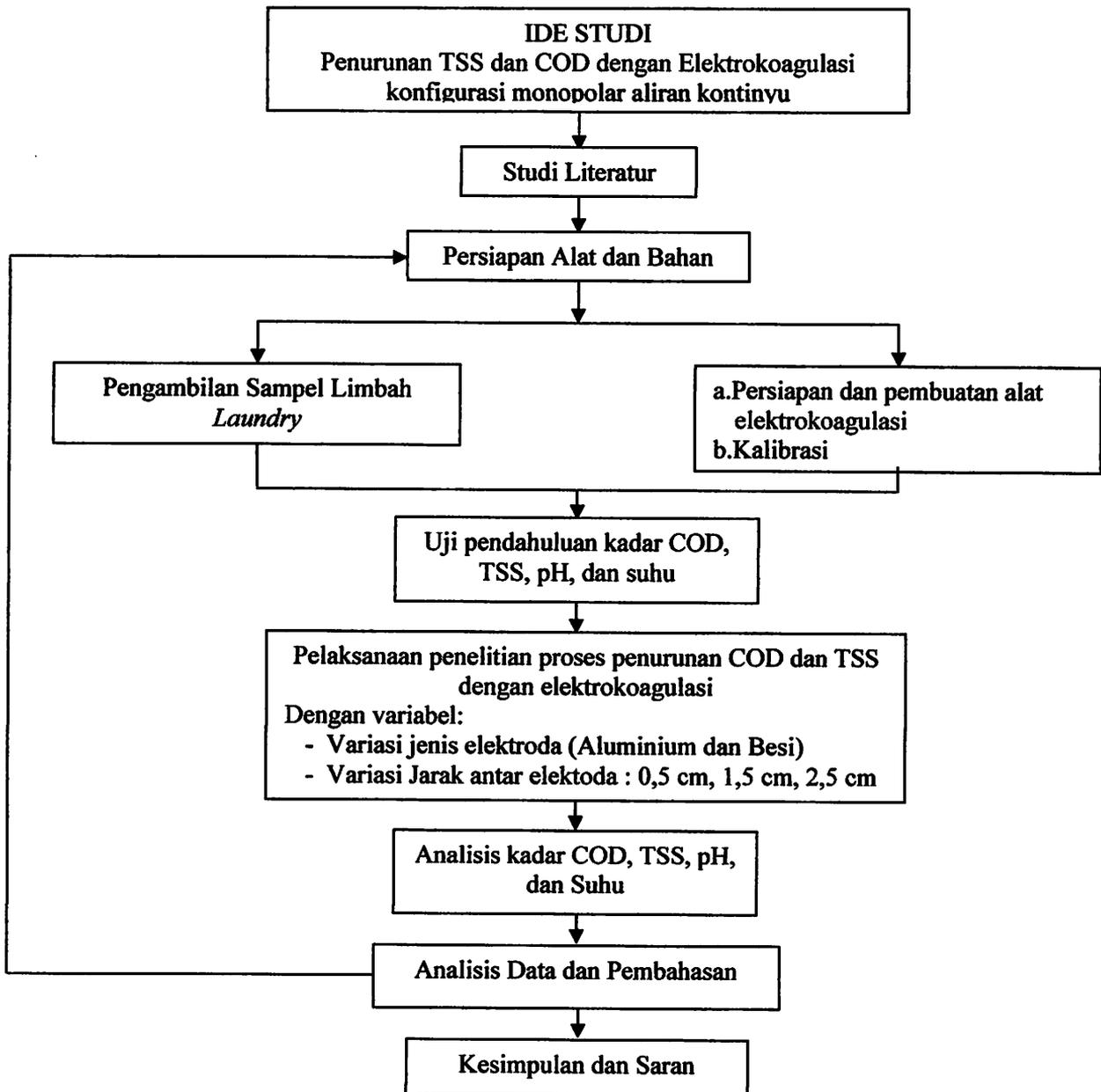
2.7.4.2 Analysis of Variance

Analysis of Variance atau sering dikenal ANOVA digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon (dependen) dengan 1 atau beberapa variabel prediktor (independent). ANOVA sama dengan regresi, tetapi skala data variabel independen adalah data kategori yaitu skala ordinal atau nominal . Lebih lanjut ANOVA tidak mempunyai nominal (Iriawan dan Astuti, 2006).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian skripsi Penurunan COD dan TSS Pada Limbah *Laundry* menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar aliran Kontinyu adalah :



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Ide Studi

Ide studi skripsi ini muncul karena adanya permasalahan yang timbul dari limbah cair yang dihasilkan suatu industri *laundry*, dimana mengandung padatan tersuspensi dan kandungan organik yang tinggi serta penggunaan air yang tinggi. Sehingga jika limbah ini dibuang secara percuma tanpa ada pengolahan dapat mencemari lingkungan disekitarnya. Diperlukan suatu sistem pengolahan yang sederhana namun memiliki kualitas yang baik. Salah satu teknologi alternatif yang dapat dipakai adalah teknologi elektrokoagulasi konfigurasi monopolar.

3.3 Studi Literatur

Meliputi pengumpulan sumber informasi yang diperlukan untuk melakukan analisa data dan mendasari pelaksanaan studi. Jenis literatur yang dipelajari antara lain buku teks, laporan penelitian, jurnal, dan lain-lain.

3.4 Variabel Penelitian

Beberapa variabel yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel respon : COD dan TSS
2. Variabel prediktor :
 - a. Jenis elektroda : Alumunium (Al) dan Besi (Fe)

Untuk jenis elektroda digunakan Alumunium dan Besi, karena alumunium dan besi merupakan logam yang mudah mengalami reduksi maupun oksidasi selain itu juga merupakan logam inert (Chang, 2002).
 - b. Jarak antar elektroda : 0,5 cm, 1,5 cm, dan 2,5 cm.

Kriteria design jarak antar elektroda dalam elektrokoagulasi adalah 5 mm - 25 mm (Heis, 2008).
 - c. Waktu operasi reaktor elektrokoagulasi selama 90 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 12, 35, dan 90.
 - Pengambilan sampel menit ke 12 untuk mewakili bak pengadukan cepat dengan waktu detensi 10 menit

- Pengambilan sampel menit ke 35 untuk mewakili bak pengadukan lambat dengan waktu detensi 20 menit
- Pengambilan sampel menit ke 90 untuk mewakili bak sedimentasi dengan waktu detensi 60 menit.

3. Variabel tetap :

a. Tegangan : 9 V

Besar tegangan disesuaikan dengan tegangan pada adaptor yang tersedia di pasaran yaitu 3 - 13,5 V.

b. Konfigurasi : monopolar

3.5 Alat dan Bahan

3.5.1 Alat-Alat Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan sederhana yang mempunyai ukuran untuk skala laboratorium, yaitu :

➤ Bak penampung

Bak penampung disini berfungsi untuk menampung dan menyetarakan debit sesuai dengan yang direncanakan

➤ Reaktor

Reaktor pada elektrokoagulasi menggunakan tiga bak yaitu:

- Bak Pengaduk cepat dengan elektroda

Bak pengaduk cepat dengan elektroda disini berfungsi sebagai tempat terjadinya proses elektrolisis atau pertukaran elektron. Desain bak ini menyerupai bak koagulasi dimana menggunakan pengadukan cepat yaitu 200 rpm dengan td 10 menit. Dengan kriteria design untuk waktu detensi adalah 10-30 menit (Holt, Barton dan Michell, 2004).

- Bak Pengaduk lambat

Bak Pengaduk lambat disini berfungsi sebagai tempat terjadinya proses flokuasi dimana merupakan kelanjutan dari proses koagulasi yang fungsi utama dari proses ini adalah memberikan waktu untuk pembentukan partikel flokulen dengan cara pengadukkan lambat yaitu 40

rpm dengan td 20 menit. Dengan kriteria design untuk waktu detensi adalah 20-30 menit (Masduqi dan Slamet., 2002).

- Bak sedimentasi

Bangunan sedimentasi berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pengendapan partikel-partikel flokulen yang terbentuk dari proses pengadukan cepat dengan elektroda dan flokuasi. Dimana td yang direncanakan 60 menit. Dengan kriteria design untuk waktu detensi 60 menit (Masduqi dan Slamet., 2002).

- Adaptor Regulator

Adaptor regulator berfungsi sebagai pensuplai arus listrik pada kedua elektroda. Arus listrik yang terjadi berupa arus searah, yang pada outputnya mengalir arus listrik dengan muatan yang berbeda.

- Stavolt

Stavolt berfungsi sebagai penstabil arus listrik yang terjadi pada waktu proses elektrokoagulasi.

- Elektroda

Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari adaptor menuju larutan sampel, sehingga dapat terjadi proses elektrolisis. elektroda ini memiliki ukuran 14 x 10 x 0,2 cm.

Alat ini terdiri dari dua macam elektroda, yaitu:

- Elektroda negatif (katoda)

Katoda merupakan elektroda yang berisi arus listrik bermuatan negatif oleh adaptor. Variasi katoda yang dipakai adalah Alumunium dan Besi.

- Elektroda positif (anoda)

Anoda merupakan elektroda yang diberi arus listrik bermuatan positif oleh adaptor. Anoda yang digunakan adalah Alumunium dan Besi.

- pH meter

Pengukuran pH diperlukan karena besar laju arus listrik dalam larutan sangat dipengaruhi oleh pH.

➤ **Thermometer**

Digunakan thermometer pengukur suhu dari raksa dengan kapasitas maksimum 110 °C. Penggunaan thermometer ini untuk mencatat perubahan suhu yang terjadi selama proses elektrokoagulasi berlangsung.

➤ **Stopwatch**

Digunakan stopwatch digital untuk mencatat waktu pengambilan sampel.

3.5.2 Bahan penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel asli industri *laundry* yang mengandung COD dan TSS Di kawasan Sumbersari, Kota Malang.

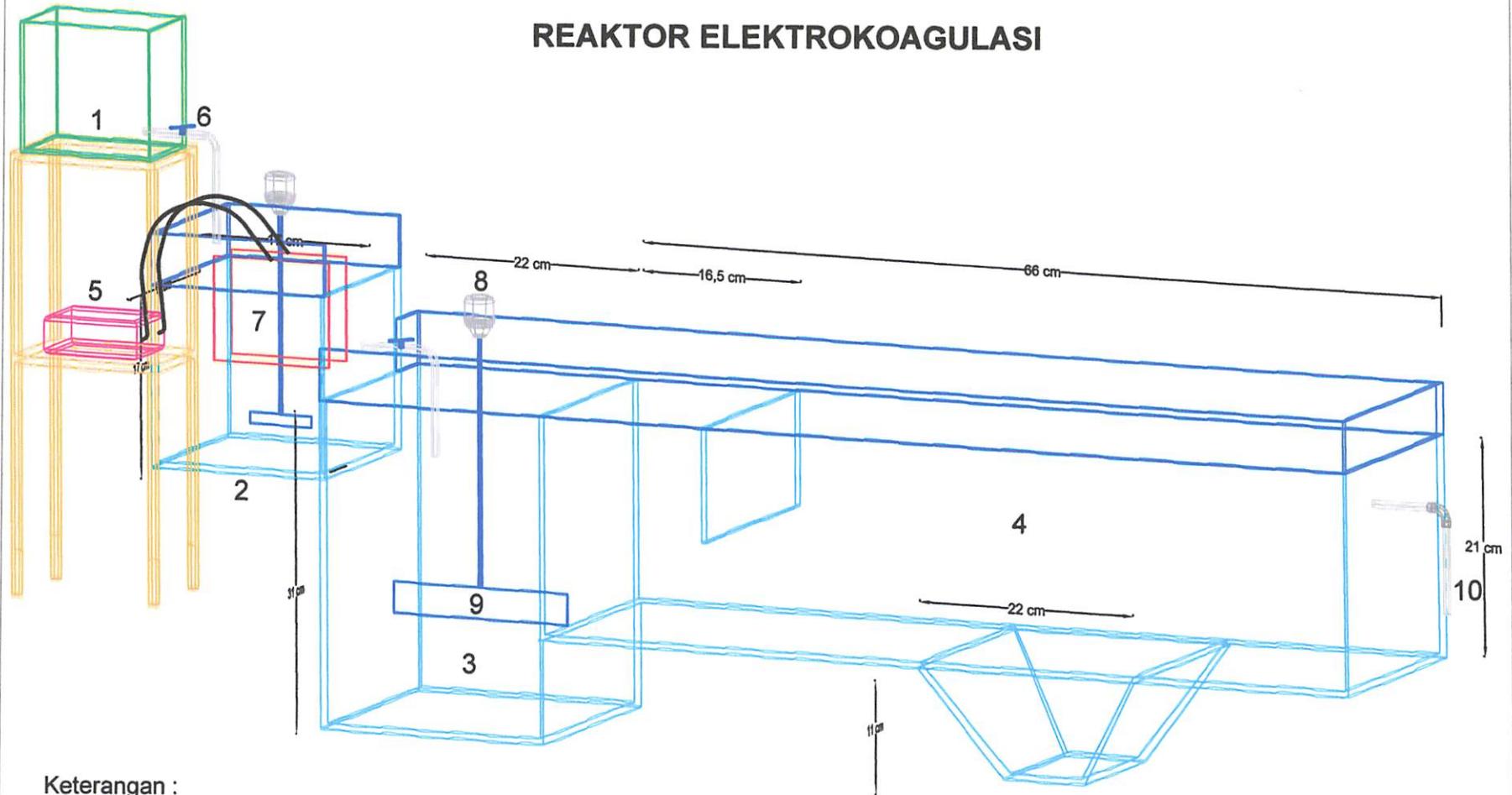
3.6 Pelaksanaan Penelitian

Pada awal tahap penelitian dilakukan analisis pendahuluan untuk mengetahui kondisi awal sampel yang akan diolah. Parameter yang dianalisis adalah TSS, COD, pH dan suhu.

Setelah dilakukan uji kualitas sampel awal, kemudian dilakukan proses elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi jenis dan jarak antar elektroda dengan tahapan proses sebagai berikut :

- Melakukan kalibrasi alat sebanyak 3 kali pengulangan yaitu pada motor pengaduk unit pengadukan cepat dengan elektroda dan flokulasi serta debit yang dialirkan oleh bak penampung.
- Memasang katoda dan anoda serta rangkaian listrik pada elektroda.
- Menyiapkan sampel limbah cair yang akan diolah, kemudian memasukkannya ke dalam bak penampung limbah.
- Menyalakan suplai listrik dari adaptor dengan arus listrik 5 A dan tegangan 9 V. Serta menyalakan alat pengaduk pada bak pengaduk cepat dengan elektrokoagulasi dan bak pengaduk lambat.
- Pada menit 12, 35, dan 90 mengambil sampel untuk dianalisis meliputi parameter COD dan TSS.
- Melakukan pergantian variasi jenis (Alumunium dan Besi) dan pengaturan variasi jarak antar elektroda (0,5 cm, 1,5 cm, dan 2,5 cm.).

REAKTOR ELEKTROKOAGULASI



Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|--------------|
| 1. Bak Penampung | 6. Valve |
| 2. Bak Flashmix dengan elektroda | 7. Elektroda |
| 3. Bak Slowmix | 8. Rotor |
| 4. Bak Sedimentasi | 9. Paddle |
| 5. Adaptor | 10. Effluor |

3.7 Analisis Parameter uji

3.7.1 Analisis COD

Dalam menganalisis COD digunakan metode *closed reflux titrimetric*. Prinsip pengukuran dengan cara ini adalah senyawa organik dalam air dioksidasi oleh larutan kalium dikromat dalam suasana asam sulfat pada temperatur 150°C selama ± 2 jam. Kelebihan kalium dikromat (yang tidak tereduksi) dititrasi dengan larutan fero amonium sulfat (FAS) memakai indikator feroin. Materi organik yang teroksidasi akan dikalkulasi dalam bentuk ekivalensi oksigen (Alaerts dan Santika, 1987).

3.7.2 Analisis TSS

Metode yang digunakan dalam menganalisis TSS adalah metode gravimetri. Prinsip metode gravimetri adalah bila zat padat dalam sampel dipisahkan dengan menggunakan filter kertas atau filter fiber glass (serabut kaca) dan kemudian zat padat yang tertahan pada filter dikeringkan pada suhu $\pm 105^\circ\text{C}$. Maka berat residu sesudah pengeringan adalah zat padat tersuspensi (TSS) (Alaerts dan Santika, 1987).

3.8 Analisis Data

Data hasil percobaan yang didapat, dilakukan analisis data dengan metode analisis deskriptif, uji korelasi, uji regresi dan uji anova. Analisis deskriptif ditujukan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan gejala dan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisa korelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya antara variabel jenis elektroda dan jarak antar elektroda terhadap penurunan COD dan TSS. Analisa regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel jenis elektroda dan jarak antar elektroda dapat memprediksi penurunan COD dan TSS. Analisa varian (anova) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak secara statistik antara dua variasi yang dilakukan (variasi jenis elektroda dan variasi jarak antar elektroda) terhadap penurunan COD dan TSS pada limbah *laundry*.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran diperoleh dari hasil pembahasan, serta analisis data penurunan COD dan TSS pada limbah *laundry*.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Industri *Laundry*

Air limbah industri *laundry* yang digunakan dalam penelitian diambil dari industri *laundry* di Kelurahan Sumbersari Kota Malang. Selanjutnya dianalisis untuk mengetahui karakteristik dari air limbah. Tabel 4.1 berikut menunjukkan karakteristik air limbah industri *laundry* dibandingkan dengan baku mutu limbah cair menurut Kepgub Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 Lampiran II.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Awal Limbah Industri *Laundry*

No	Parameter	Kadar	Kepgub Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 Lampiran II
1	TSS (mg/l)	333,5	200
2	COD (mg/l)	668,9	300
3	pH	8,34	6-9
4	Suhu (⁰ C)	26	40

Sumber : Hasil Penelitian, 2009.

Tabel 4.1 diatas menunjukkan kualitas air buangan tidak memenuhi untuk parameter COD dan TSS jika dibandingkan dengan standar baku mutu limbah cair menurut Kepgub Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 Lampiran II. Apabila dengan kondisi limbah seperti ini langsung dibuang ke badan air maka akan dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen di badan air sehingga terjadinya kematian biota-biota air termasuk ikan (Alaerts dan Santika, 1987). Untuk itu dalam penelitian dicoba pengolahan air limbah industri *laundry* menggunakan elektrokoagulasi konfigurasi monopolar sebelum dibuang ke lingkungan sehingga tidak mencemari lingkungan dan sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

4.2. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk menganalisis data dengan cara mendeskriptifkan data yang telah terkumpul tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Dalam penelitian ini analisis deskriptif menggunakan rata-rata data atau mean sebagai ukuran pemusatan data.

4.2.1 Analisis Deskriptif COD

Data hasil penelitian yang diperoleh tentang konsentrasi akhir COD menunjukkan bahwa, elektrokoagulasi konfigurasi monopolar mempunyai kemampuan menurunkan konsentrasi COD. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.4, dan 4.6.

4.2.1.1 Menit ke-12

Tabel 4.2. Data Konsentrasi Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)
1	668,9	aluminium	0,5	27	12	522,65
2	668,9		1,5	26	10,09	545,73
3	668,9		2,5	26	8,54	552,59
4	668,9	besi	0,5	26	11,70	537,22
5	668,9		1,5	26	9,63	550,79
6	668,9		2,5	26	9,11	574,68

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan COD digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAakhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAakhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{668,9 - 522,65}{668,9} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = 21,86\%$$

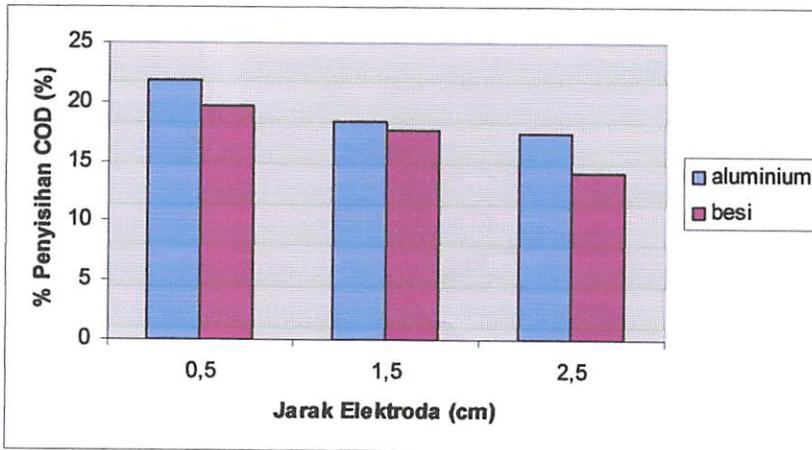
Untuk selengkapnya hasil perhitungan persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.1

Tabel 4.3 Data Persentase Penyisihan Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)	Persentase penyisihan COD (%)
1	668,9	aluminium	0,5	522,65	21,86
2	668,9		1,5	545,73	18,41
3	668,9		2,5	552,59	17,34
4	668,9	besi	0,5	537,22	19,69
5	668,9		1,5	550,79	17,67
6	668,9		2,5	574,68	14,08

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa persen penyisihan COD terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar 14,08 % dan tertinggi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar 21,86 %.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD

4.2.1.2 Menit ke-35

Tabel 4.4. Data Konsentrasi Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)
1	668,9	aluminium	0,5	25	10,09	463,54
2	668,9		1,5	25	9,05	476,53
3	668,9		2,5	25	8,84	498,14
4	668,9	besi	0,5	25	9,08	471,89
5	668,9		1,5	25	8,78	486,13
6	668,9		2,5	25	8,80	502,01

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan COD digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{668,9 - 463,54}{668,9} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = 30,7 \%$$

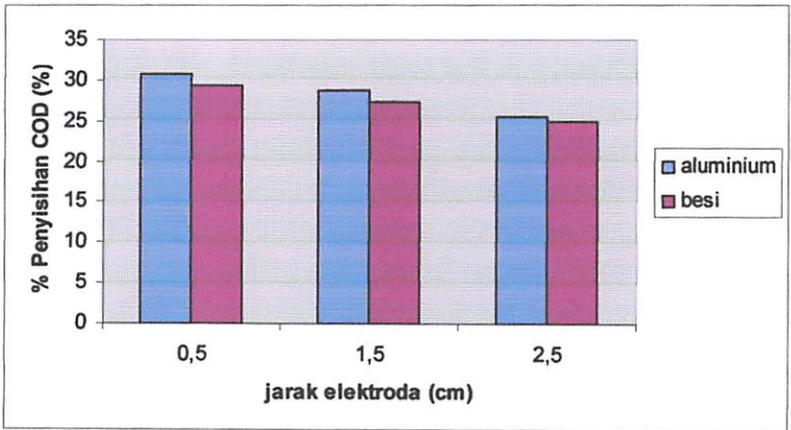
Untuk selengkapnya hasil perhitungan persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.2

Tabel 4.5 Data Persentase Penyisihan Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)	Persentase penyisihan COD (%)
1	668,9	aluminium	0,5	463,54	30,7
2	668,9		1,5	476,53	28,76
3	668,9		2,5	498,14	25,53
4	668,9	besi	0,5	471,89	29,45
5	668,9		1,5	486,13	27,32
6	668,9		2,5	502,01	24,95

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa persen penyisihan COD terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar 24,95 % dan tertinggi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar 30,7 %.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD

4.2.1.3 Menit ke-90

Tabel 4.6. Data Konsentrasi Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)
1	668,9	aluminium	0,5	25	8,54	184,95
2	668,9		1,5	25	8,34	266,36
3	668,9		2,5	25	8,39	298,53
4	668,9	besi	0,5	25	8,60	205,15
5	668,9		1,5	25	8,52	227,80
6	668,9		2,5	25	8,39	328,13

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan COD digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{668,9 - 184,95}{668,9} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = 72,35 \%$$

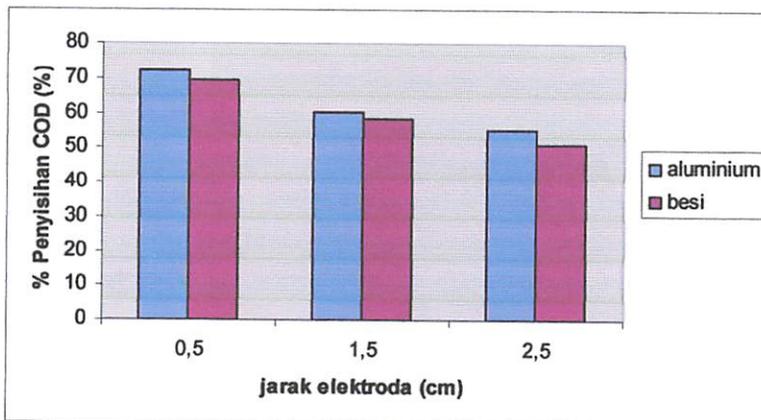
Untuk selengkapnya hasil perhitungan persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.7 dan gambar 4.3

Tabel 4.7 Data Persentase Penyisihan Akhir COD

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi Akhir COD (mg/L)	Persentase penyisihan COD (%)
1	668,9	aluminium	0,5	184,95	72,35
2	668,9		1,5	266,36	60,18
3	668,9		2,5	298,53	55,37
4	668,9	besi	0,5	205,15	69,33
5	668,9		1,5	227,80	58,46
6	668,9		2,5	328,13	50,94

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa persen penyisihan COD terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar 50,94 % dan tertinggi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar 72,35 %.



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan COD

4.2.2 Analisis Deskriptif TSS

Data hasil penelitian yang diperoleh tentang konsentrasi akhir TSS menunjukkan bahwa, elektrokoagulasi konfigurasi monopolar mempunyai kemampuan menurunkan konsentrasi TSS. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 4.8, 4.10, dan 4.12.

4.2.2.1 Menit ke-12

Tabel 4.8. Data Konsentrasi Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir TSS (mg/L)
1	333,5	aluminium	0,5	27	12	361,34
2	333,5		1,5	26	11,75	350,07
3	333,5		2,5	26	9,91	347,80
4	333,5	besi	0,5	26	11,70	351,04
5	333,5		1,5	26	9,63	348,77
6	333,5		2,5	26	9,11	347,78

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan TSS digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{333,5 - 361,34}{333,5} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = -8,35\%$$

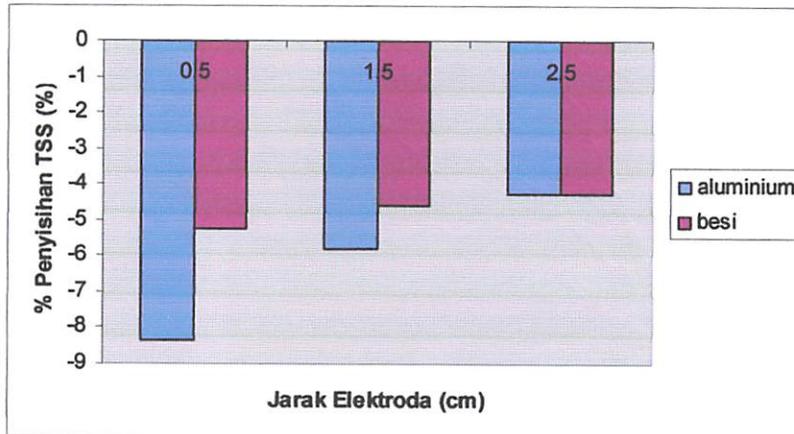
Untuk selengkapnya hasil perhitungan % penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.9 dan gambar 4.4

Tabel 4.9 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi akhir TSS (mg/L)	Persentase penyisihan TSS (%)
1	333,5	aluminium	0,5	361,34	-8,35
2	333,5		1,5	350,07	-5,79
3	333,5		2,5	347,80	-4,29
4	333,5	besi	0,5	351,04	-5,26
5	333,5		1,5	348,77	-4,58
6	333,5		2,5	347,78	-4,28

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa persen penyisihan TSS terendah terjadi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar -8,35 % dan tertinggi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar -4,28 %. Persentase penyisihan TSS bernilai negatif di menit-menit awal, disebabkan karena terjadinya peningkatan konsentrasi TSS. Konsentrasi TSS meningkat disebabkan karena pada menit awal terjadi pelepasan aluminium dan besiyang membantu partikulat membentuk flok-flok. Sehingga limbah bertambah keruh.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS

4.2.2.2 Menit ke-35

Tabel 4.10. Data Konsentrasi Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir TSS (mg/L)
1	333,5	aluminium	0,5	25	10,1	224,10
2	333,5		1,5	25	9,05	350,07
3	333,5		2,5	25	8,84	245,58
4	333,5	besi	0,5	26	9,08	228,02
5	333,5		1,5	25	8,78	231,31
6	333,5		2,5	25	8,80	256,65

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan TSS digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{333,5 - 224,10}{333,5} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = 32,8 \%$$

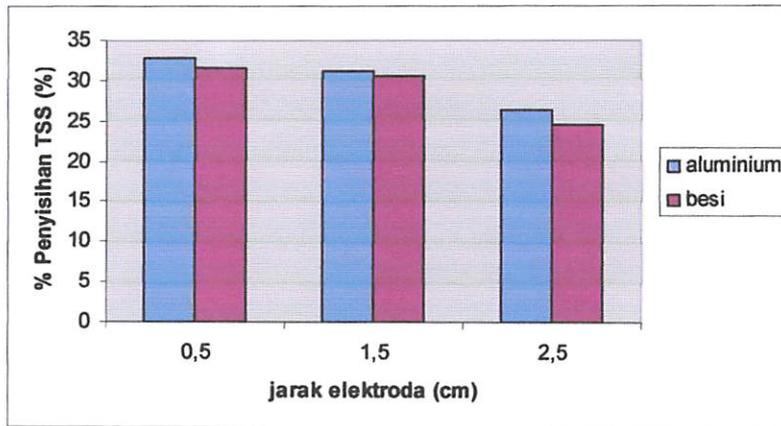
Untuk selengkapnya hasil perhitungan % penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.11 dan gambar 4.5

Tabel 4.11 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi akhir TSS (mg/L)	Persentase penyisihan TSS (%)
1	333,5	aluminium	0,5	224,10	32,8
2	333,5		1,5	350,07	31,08
3	333,5		2,5	245,58	26,36
4	333,5	besi	0,5	228,02	31,63
5	333,5		1,5	231,31	30,64
6	333,5		2,5	256,65	24,54

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa persen penyisihan TSS terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar 24,54 % dan tertinggi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar 32,8 %.



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS

4.2.2.3 Menit ke-90

Tabel 4.12. Data Konsentrasi Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak antar elektroda (cm)	Suhu (°C)	pH	Konsentrasi Akhir TSS (mg/L)
1	333,5	aluminium	0,5	25	8,54	60,94
2	333,5		1,5	25	8,34	89,80
3	333,5		2,5	25	8,39	105,32
4	333,5	besi	0,5	25	8,60	80,09
5	333,5		1,5	25	8,52	98,63
6	333,5		2,5	25	8,39	115,30

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Untuk mengetahui persentase penyisihan TSS digunakan rumus :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

Contoh Perhitungan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir}}{\text{KonsentrasiAwal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{333,5 - 60,94}{333,5} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyisihan} = 81,73 \%$$

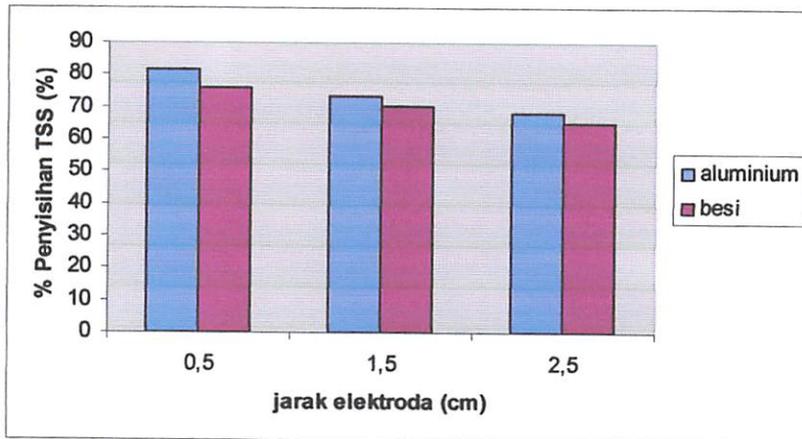
Untuk selengkapnya hasil perhitungan % penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.13 dan gambar 4.6

Tabel 4.13 Data Persentase Penyisihan Akhir TSS

No	Konsentrasi awal (mg/l)	Jenis elektroda	Jarak	Konsentrasi akhir TSS (mg/L)	Persentase penyisihan TSS (%)
1	333,5	aluminium	0,5	60,94	81,73
2	333,5		1,5	89,80	73,24
3	333,5		2,5	105,32	68,42
4	333,5	besi	0,5	80,09	75,98
5	333,5		1,5	98,63	70,42
6	333,5		2,5	115,30	65,43

Sumber : Hasil penelitian, 2009.

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa persen penyisihan TSS terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm sebesar 65,43 % dan tertinggi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm sebesar 81,73 %.



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Jenis dan Jarak antar Elektroda Terhadap % Penyisihan TSS

4.3 Analisis Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisis korelasi. Dalam analisis korelasi terdapat :

Hipotesis

- H_0 : Korelasi tidak signifikan
- H_1 : Korelasi signifikan

Pengambilan keputusan

- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak

Untuk mengetahui kuat lemahnya korelasi :

Apabila nilai korelasi semakin mendekati 1 atau (-1), berarti hubungan antara 2 variabel semakin erat (Iriawan dan Astuti, 2006)

4.3.1 Analisis Korelasi COD

- Uji Korelasi persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.14. Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke -12

Correlations: % penyisihan COD, jarak elektroda (cm), jenis elektroda		
	% penyisihan COD	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.873 0.023	
jenis elektroda	-0.434 0.390	0.000 1.000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value		

Tabel 4.15. Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke -35

Correlations: % penyisihan COD, jarak elektroda, jenis elektroda		
	% penyisihan COD	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.956 0.003	
jenis elektroda	-0.264 0.613	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Tabel 4.16. Analisis Korelasi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke - 90

Correlations: % penyisihan, jarak elektroda, jenis elektroda		
	% penyisihan	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.962 0.002	
jenis elektroda	-0.204 0.699	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan

Berdasarkan tabel 4.14, 4.15, dan 4.16 menunjukkan bahwa :

- Koefisien korelasi antara persen penyisihan COD dengan jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut adalah -0,873, -0,956, dan -0,962. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena mendekati -1 (Iriawan dan Astuti, 2006). Hubungan kedua variabel tidak searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika jarak antar elektroda meningkat, maka persentase penyisihan COD akan menurun. Tingkat signifikan persentase penyisihan COD dan jarak antar elektroda pada menit ke-12,

35, dan 90 berturut-turut 0,023, 0,003, dan 0,002 dengan nilai probabilitasnya $< 0,05$, maka korelasinya signifikan.

- Koefisien korelasi antara persen penyisihan COD dengan jenis elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut adalah -0,434, -0,264, dan -0,699. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel tidak kuat karena menjauhi -1 (Iriawan dan Astuti, 2006). Hubungan kedua variabel tidak searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Tingkat signifikan persentase penyisihan COD dan jenis elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut 0,390, 0,613, dan 0,699 dengan nilai probabilitasnya $> 0,05$, maka korelasi tidak signifikan.

4.3.2 Analisis Korelasi TSS

- Uji Korelasi persen penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.17, 4.18, dan 4.19

Tabel 4.17.

Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke-12

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda		
	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	0.717 0.019	
jenis elektroda	0.363 0.480	0.000 1.000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value		

Tabel 4.18.
Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke-35

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda		
	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.925 0.008	
jenis elektroda	-0.197 0.708	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Tabel 4.19.
Analisis Korelasi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke-90

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda		
	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.918 0.010	
jenis elektroda	-0.363 0.479	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan

- Berdasarkan tabel 4.17, 4.18, dan 4.19 menunjukkan bahwa :
 - Koefisien korelasi antara persen penyisihan TSS dengan jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut adalah 0,717, -0,925, dan -0,918. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena mendekati -1 dan 1 (Iriawan dan Astuti, 2006). Pada menit 12 hubungan kedua variabel searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika jarak antar elektroda meningkat, maka persentase penyisihan TSS akan meningkat pula. Pada

menit 35 dan 90 hubungan kedua variabel tidak searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika jarak antar elektroda meningkat, maka persentase penyisihan TSS akan menurun. Tingkat signifikan persentase penyisihan TSS dan jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut 0,019, 0,008, dan 0,010 dengan nilai probabilitasnya $< 0,05$, maka korelasinya signifikan.

- Koefisien korelasi antara persentase penyisihan TSS dengan jenis elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut adalah 0,363, -0,197, dan -0,363. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel tidak kuat karena menjauhi -1 dan 1 (Iriawan dan Astuti, 2006). Pada menit 12 hubungan kedua variabel searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Pada menit 35 dan 90 hubungan kedua variabel tidak searah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Tingkat signifikan persentase penyisihan TSS dan jenis elektroda pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut 0,480, 0,708 dan 0,479 dengan nilai probabilitasnya $> 0,05$, maka korelasinya tidak signifikan.

4.4 Analisis Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisis regresi terdapat uji F untuk uji kelinieran dan uji t untuk menguji signifikansi konstanta dengan variabel bebas/prediktor.

- Dalam uji kelinieran terdapat :

Hipotesis

H_0 : x dan y tidak linear

H_1 : x dan y linear

Pengambilan keputusan

Untuk uji kelinieran, berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel

- Jika statistik hitung (angka F *output*) > statistik tabel (F tabel), H_0 ditolak.
- Jika statistik hitung (angka F *output*) < statistik tabel (F tabel), H_0 diterima

➤ Dalam uji t untuk signifikansi konstanta dengan variabel bebas/prediktor terdapat :

Hipotesis

H_0 : koefisien regresi tidak signifikan

H_1 : koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan

Untuk nilai t, berdasarkan pada perbandingan t hitung dengan t tabel

- Jika statistik hitung (angka t *output*) > statistik tabel (t tabel), H_0 ditolak.
- Jika statistik hitung (angka t *output*) < statistik tabel (t tabel), H_0 diterima

Untuk nilai Probabilitas

- Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima
- Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak

4.4.1 Analisis Regresi COD

- Uji Koefisien Regresi persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.20, 4.21, dan 4.22.

Tabel 4.20. Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke - 12

Regression Analysis: % penyisihan COD versus jarak elektroda, jenis elektroda						
The regression equation is % penyisihan COD = 25.1 - 2.53 jarak elektroda (cm) - 2.06 jenis elektroda						
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF	
Constant	25.059	1.108	22.62	0.000		
jarak elektroda (cm)	-2.5325	0.3710	-6.83	0.006	1.000	
jenis elektroda	-2.0567	0.6059	-0.56	0.043	1.000	
S = 0.742049 R-Sq = 95.1% R-Sq(adj) = 91.8%						
Analysis of Variance						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Regression	2	31.999	16.000	29.06	0.011	
Residual Error	3	1.652	0.551			
Total	5	33.651				
Source	DF	Seq SS				
jarak elektroda (cm)	1	25.654				
jenis elektroda	1	6.345				

Tabel 4.21. Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke - 35

Regression Analysis: % penyisihan COD versus jarak elektroda, jenis elektroda

The regression equation is
 % penyisihan COD = 33.0 - 2.42 jarak elektroda - 1.09 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	33.0463	0.5446	60.68	0.000	
jarak elektroda	-2.4175	0.1824	-13.25	0.001	1.000
jenis elektroda	-1.0900	0.2978	-0.01	0.142	1.000

S = 0.364772 R-Sq = 98.4% R-Sq(adj) = 97.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	25.159	12.580	94.54	0.002
Residual Error	3	0.399	0.133		
Total	5	25.559			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	23.377
jenis elektroda	1	1.782

Tabel 4.22. Analisis Regresi Antara % Penyisihan COD Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) Menit ke - 90

Regression Analysis: % penyisihan COD versus jarak elektroda, jenis elektroda

The regression equation is
 % penyisihan = 79.0 - 8.84 jarak elektroda - 3.06 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	78.954	2.910	27.13	0.000	
jarak elektroda	-8.8425	0.9745	-9.07	0.003	1.000
jenis elektroda	-3.057	1.591	-1.92	0.151	1.000

S = 1.94899 R-Sq = 96.6% R-Sq(adj) = 94.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	326.77	163.39	43.01	0.006
Residual Error	3	11.40	3.80		
Total	5	338.17			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	312.76
jenis elektroda	1	14.01

Keterangan :	- S	= Standar deviasi model.
	- R-Sq (R^2)	= Koefisien determinasi.
	- R-Sq (adj)	= Koefisien determinasi yang disesuaikan.
	- T	= Nilai statistik.
	- P	= Nilai probabilitas
	- DF	= Derajat bebas
	- SS	= Variasi residual
	- MS	= Mean Square
	- F	= Nilai statistic Uji
	- P	= Nilai probabilitas
	- VIF	= Variance Inflation Factor

Pada tabel 4.20, 4.21, dan 4.22 dapat kita ketahui :

A. Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu :

➤ Menit ke-12

$$Y = 25,1 - 2,53 X_1 - 2,06 X_2$$

➤ Menit ke-35

$$Y = 33,0 - 2,42 X_1 - 1,09 X_2$$

➤ Menit ke-90

$$Y = 79,0 - 8,84 X_1 - 3,06 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan COD

X_1 = Jarak Antar Elektroda

X_2 = Jenis Elektroda

Tabel regresi menunjukkan bahwa parameter (koefisien) untuk variabel jarak antar elektroda bertanda negatif. Jika melihat tanda pada koefisien korelasi jarak antar elektroda dengan persentase penyisihan COD dalam output korelasi, menunjukkan bahwa koefisien korelasi antara jarak antar elektroda dengan persentase penyisihan COD bertanda negatif. Adanya tanda yang sama, mengindikasikan tidak adanya multikolinear dalam model. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai VIF, yaitu sebesar 1,00. Apabila $VIF < 5$ maka tidak adanya multikolinear dalam model. Sehingga model regresi ini dikatakan sudah tepat.

- B. Hasil analisis regresi juga didapatkan koefisien determinasi (R^2) pada menit ke- 12, 35, 90 berturut-turut sebesar 95,1 %, 98,4 %, dan 96,6 %. Hal ini berarti persentase penyisihan konsentrasi COD dipengaruhi oleh variasi jenis dan jarak antar elektroda sedangkan sisanya 4,9 %, 1,6 %, dan 3,4 % penurunan penyisihan COD dipengaruhi oleh faktor lainnya.
- C. Uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung pada menit ke- 12, 35, 90 berturut-turut sebesar 29,06, 94,54, dan 43,01. Dari tabel distribusi F didapatkan 9,55. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah persentase penyisihan COD dengan jenis dan jarak antar elektroda adalah linier.
- D. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel bebas
- o Berdasarkan nilai t
Pada tabel 4.20, 4.21, dan 4.22 statistik t hitung output untuk variasi jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 6,83, 13,25, dan 9,07. Sedangkan untuk variasi jenis elektroda menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 0,56, 0,01, dan 1,92. Dari tabel diketahui nilai t adalah 2,353. Untuk variasi jarak antar elektroda t hitung output > statistik t tabel maka kesimpulannya koefisien regresi signifikan. Untuk variasi jenis elektroda t hitung output < statistik t tabel maka kesimpulannya koefisien regresi tidak signifikan.
 - o Berdasarkan probabilitas
Terlihat bahwa pada kolom signifikan untuk variasi jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 0,006, 0,001, dan 0,003. Sedangkan untuk variasi jenis elektroda menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 0,043, 0,142, dan 0,151. Untuk variasi jarak antar elektroda probabilitasnya < 0,05 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan. Untuk variasi jenis elektroda probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak atau koefisien regresi tidak signifikan.

4.4.2 Analisis Regresi TSS

- Uji Koefisien Regresi persen penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.23, 4.24, dan 4.25

Tabel 4.23. Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-12

Regression Analysis: % penyisihan TSS versus jarak elektroda, jenis elektroda					
The regression equation is					
% penyisihan TSS = - 8.68 + 1.26 jarak elektroda + 1.04 jenis elektroda					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-8.677	1.802	-4.82	0.017	
jarak elektroda	1.2600	0.6033	20.09	0.018	1.000
jenis elektroda	1.0400	0.9852	1.06	0.369	1.000
S = 1.20664 R-Sq = 84.6% R-Sq(adj) = 81.0%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	7.973	3.986	27.4	0.211
Residual Error	3	4.368	1.456		
Total	5	12.341			
Source	DF	Seq SS			
jarak elektroda	1	6.350			
jenis elektroda	1	1.622			

Tabel 4.24. Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-35

Regression Analysis: % penyisihan TSS versus jarak elektroda, jenis elektroda

The regression equation is
 % penyisihan TSS = 36.3 - 3.38 jarak elektroda - 1.18 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	36.330	2.044	17.77	0.000	
jarak elektroda	-3.3825	0.6846	-14.94	0.016	1.000
jenis elektroda	-1.177	1.118	-1.05	0.370	1.000

S = 1.36914 R-Sq = 89.5% R-Sq(adj) = 82.5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	47.842	23.921	22.76	0.034
Residual Error	3	5.624	1.875		
Total	5	53.466			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	45.765
jenis elektroda	1	2.077

Tabel 4.25. Analisis Regresi Antara % Penyisihan TSS Dengan Jenis dan Jarak Antar Elektroda (cm) menit ke-90

Regression Analysis: % penyisihan TSS versus jarak elektroda, jenis elektroda

The regression equation is
 % penyisihan TSS = 87.3 - 5.96 jarak elektroda - 3.85 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	87.264	1.767	49.38	0.000	
jarak elektroda	-5.9650	0.5918	-10.08	0.002	1.000
jenis elektroda	-3.8533	0.9665	-1.99	0.281	1.000

S = 1.18369 R-Sq = 97.5% R-Sq(adj) = 95.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	164.597	82.299	58.74	0.004
Residual Error	3	4.203	1.401		
Total	5	168.801			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	142.325
jenis elektroda	1	22.272

Keterangan :	- S	= Standar deviasi model.
	- R-Sq (R^2)	= Koefisien determinasi.
	- R-Sq (adj)	= Koefisien determinasi yang disesuaikan.
	- T	= Nilai statistik.
	- P	= Nilai probabilitas
	- DF	= Derajat bebas
	- SS	= Variasi residual
	- MS	= Mean Square
	- F	= Nilai statistic Uji
	- P	= Nilai probabilitas
	- VIF	= Variance Inflation Factor

Pada tabel 4.23, 4.24, dan 4.25 dapat diketahui :

A. Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu :

➤ Menit ke-12

$$Y = -8,68 + 1,26 X_1 - 1,04 X_2$$

➤ Menit ke-35

$$Y = 36,3 - 3,38 X_1 - 1,18 X_2$$

➤ Menit ke-90

$$Y = 87,3 - 5,96 X_1 - 3,85 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan TSS

X_1 = Jarak antar elektroda

X_2 = Jenis elektroda

Tabel regresi menunjukkan bahwa parameter (koefisien) untuk variabel jarak antar elektroda bertanda negatif. Jika melihat tanda pada koefisien korelasi jarak antar elektroda dengan Persentase penyisihan TSS dalam output korelasi, menunjukkan bahwa koefisien korelasi antara jarak antar elektroda dengan persentase penyisihan TSS bertanda negatif. Adanya tanda yang sama, mengindikasikan tidak adanya multikolinear dalam model. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai VIF, yaitu sebesar 1,00. Apabila $VIF < 5$ maka tidak adanya multikolinear dalam model. Sehingga model regresi ini dikatakan sudah tepat.

B. Hasil analisis regresi juga didapatkan koefisien determinasi (R^2) pada menit ke-12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 84,6 %, 89,5%, dan 97,5%. Hal ini berarti persentase penyisihan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh variasi jenis dan jarak antar elektroda, sedangkan sisanya 15,4 %, 10,5 %, dan 2,5 % penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh faktor lainnya.

C. Uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung pada menit ke- 12, 35, 90 berturut-turut sebesar 27,4, 22,76, dan 58,74. Dari tabel distribusi F didapatkan 9,55. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah persentase penyisihan TSS dengan jenis dan jarak antar elektroda adalah linier.

D. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel bebas

- o Berdasarkan nilai t

Pada tabel 4.23, 4.24, dan 4.25 statistik t hitung output untuk variasi jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 20,09, 14,94, dan 10,08. Sedangkan untuk variasi jenis elektroda menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 1,06, 1,05, dan 1,99. Dari tabel diketahui nilai t adalah 2,353. Untuk variasi jarak antar elektroda t hitung output > statistik t tabel maka kesimpulannya koefisien regresi signifikan. Untuk variasi jenis elektroda t hitung output < statistik t tabel maka kesimpulannya koefisien regresi tidak signifikan.

- o Berdasarkan probabilitas

Terlihat bahwa pada kolom signifikan untuk variasi jarak antar elektroda pada menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 0,018, 0,016, dan 0,002. Sedangkan untuk variasi jenis elektroda menit ke-12, 35, 90 berturut-turut 0,369, 0,370, dan 0,281. Untuk variasi jarak antar elektroda probabilitasnya < 0,05 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan. Untuk variasi jenis elektroda probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak atau koefisien regresi tidak signifikan.

4.5 Analisis Anova

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh antara jenis dan variasi jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan COD dan TSS maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA. Dalam uji anova ini terdapat :

Hipotesis

H_0 : Ke - 6 rata - rata perlakuan adalah identik

H_1 : Ke - 6 rata - rata perlakuan adalah tidak identik

Pengambilan keputusan

Untuk nilai Probabilitas

- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak

Untuk nilai F

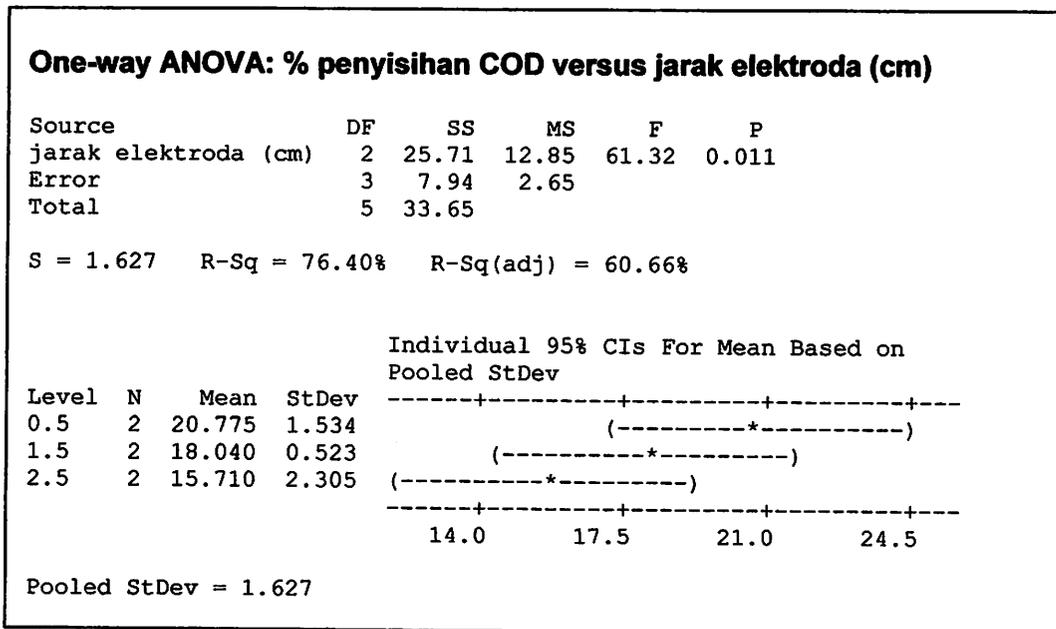
- Jika stasistik hitung (nilai F hitung) $>$ statistik tabel (tabel F), maka H_0 ditolak
- Jika stasistik hitung (nilai F hitung) $<$ statistik tabel (tabel F), maka H_0 diterima

4.5.1. Analisis Anova COD

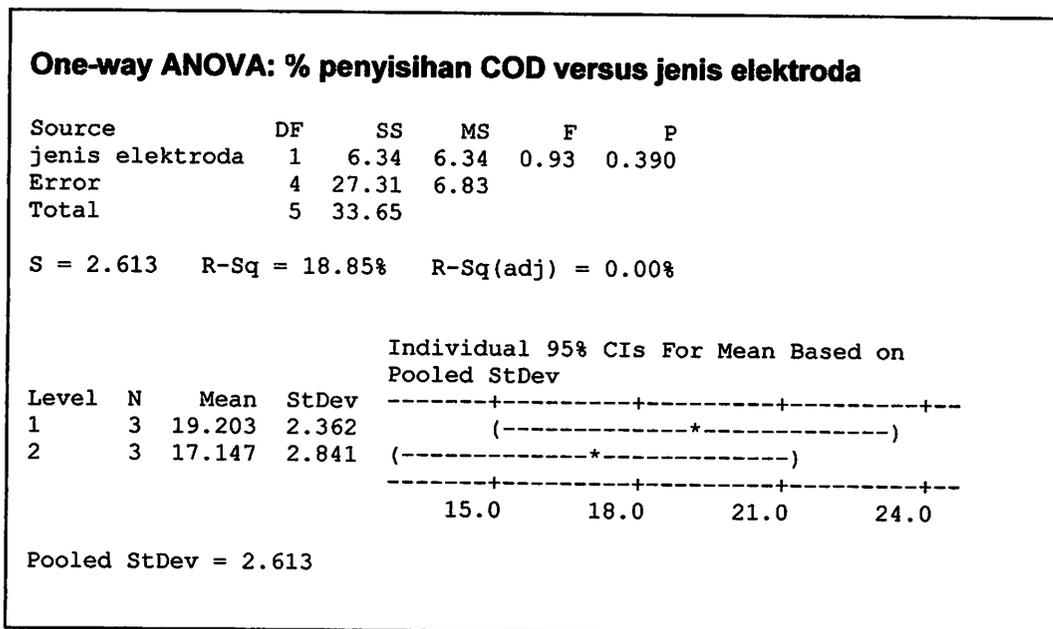
- Hasil uji ANOVA persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, dan 4.31.

4.5.1.1 Menit ke-12

Tabel 4.26. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)

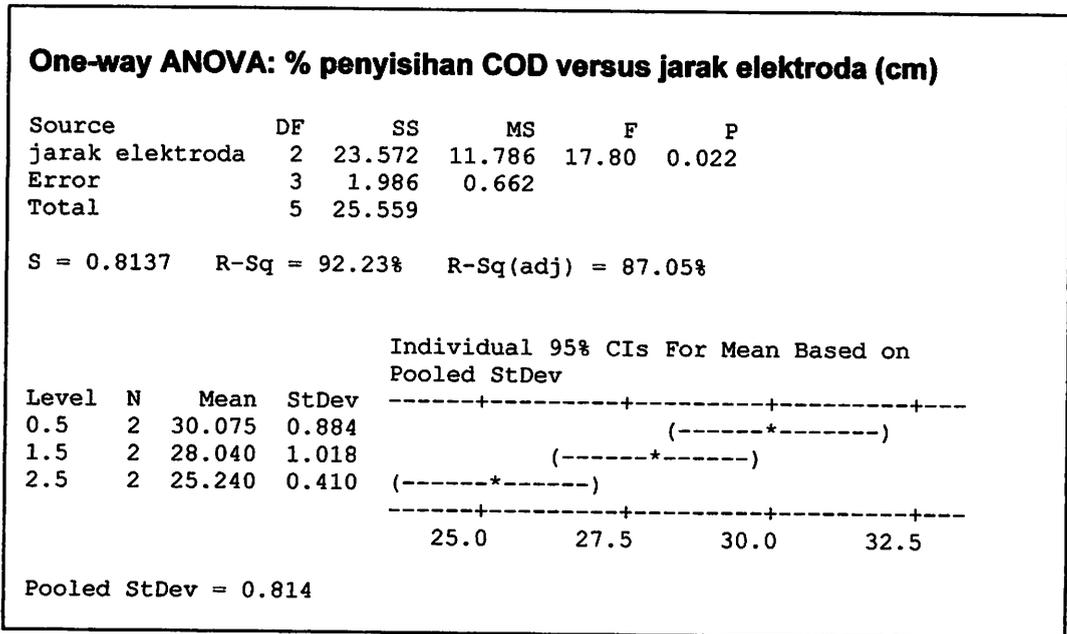


Tabel 4.27. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda

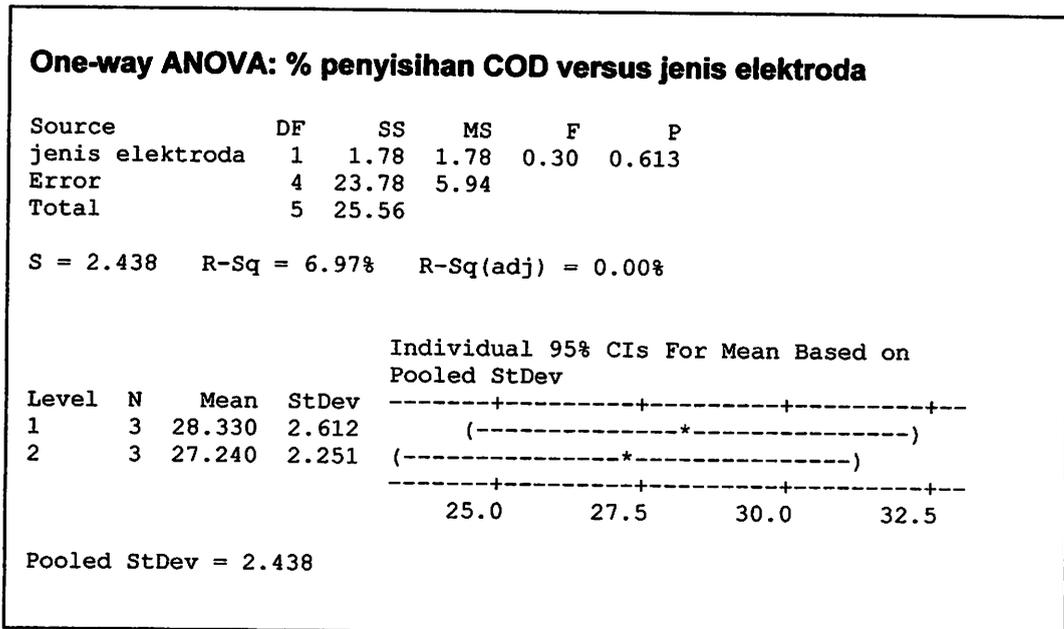


4.5.1.2 Menit ke-35

Tabel 4.28. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)

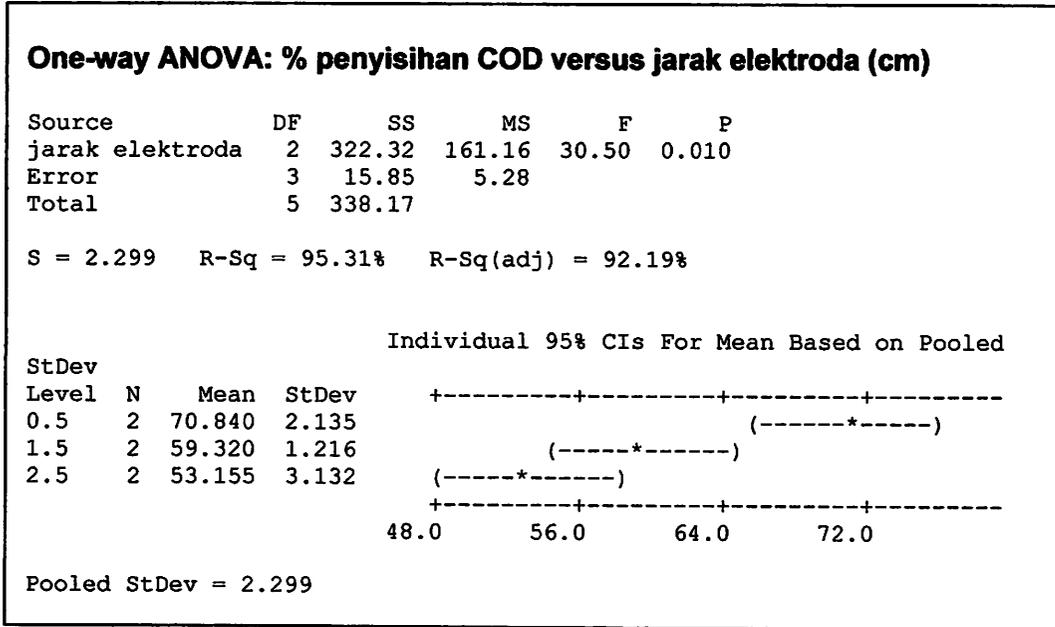


Tabel 4.29. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda

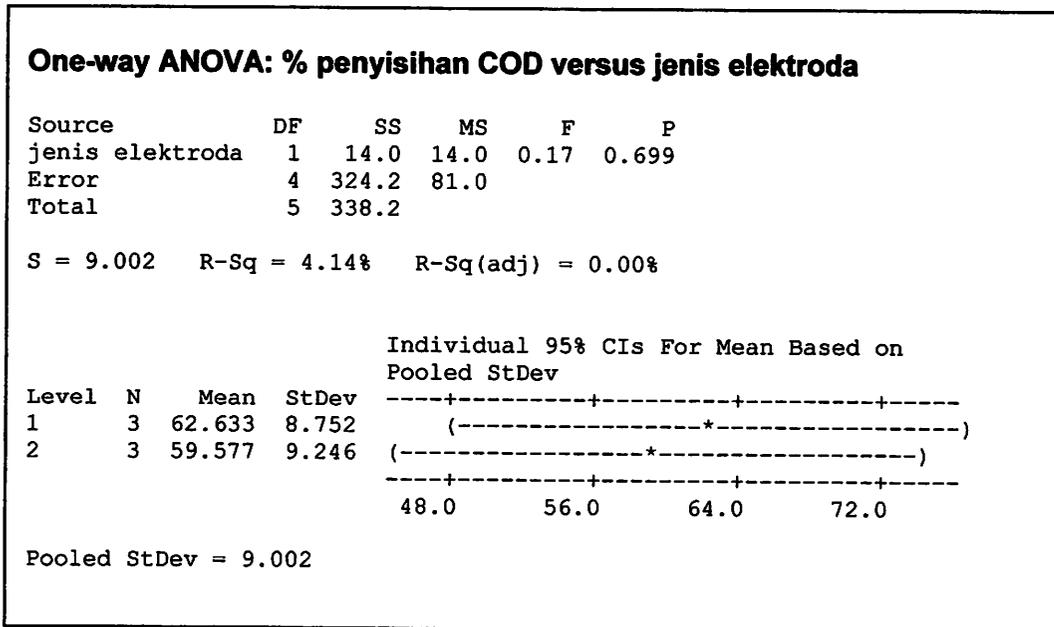


4.5.1.3 Menit ke-90

Tabel 4.30. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)



Tabel 4.31. Uji Anova % Penyisihan COD Terhadap Jenis Elektroda



Keterangan :

DF	= Derajat Bebas	F	= Nilai Statistik Uji
SS	= Variasi Residual	P	= Nilai Probabilitas
MS	= Mean Square	Mean	= Nilai rata-rata

Keputusan

1. Nilai Probabilitas

Berdasarkan tabel 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, dan 4.31 nilai probabilitas (P) dari variasi jarak antar elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,011, 0,022, dan 0,010. Karena nilai probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak. Artinya rata – rata persentase penyisihan konsentrasi COD terhadap jarak antar elektroda dalam enam perlakuan tersebut memang tidak identik. Sedangkan nilai probabilitas (P) dari variasi jenis elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,390, 0,613, dan 0,699. Karena nilai probabilitas $> 0,05$ maka H_0 diterima. Artinya rata – rata persentase penyisihan konsentrasi COD terhadap jenis elektroda dalam enam perlakuan tersebut memang identik.

2. Nilai F

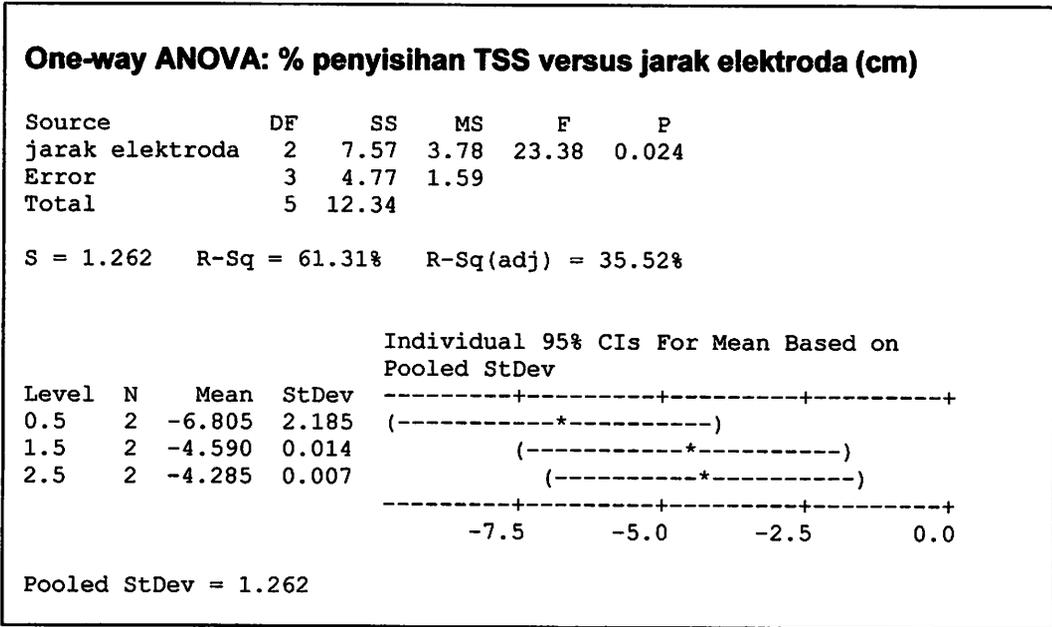
Berdasarkan tabel 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, dan 4.31 nilai F hitung output dari variasi jarak antar elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 61,32, 17,80, dan 30,50. Jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 9,55. Karena nilai F hitung output $>$ dari F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi jarak antar elektroda terhadap penyisihan COD. Sedangkan F hitung output dari variasi jenis elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,93, 0,30, dan 0,17. Jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 9,55. Karena nilai F hitung output $<$ dari F tabel maka keputusannya adalah menerima hipotesis awal (H_0) dan menolak hipotesis alternatif (H_1). Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara variasi jenis elektroda terhadap penyisihan COD.

4.5.1. Analisis Anova TSS

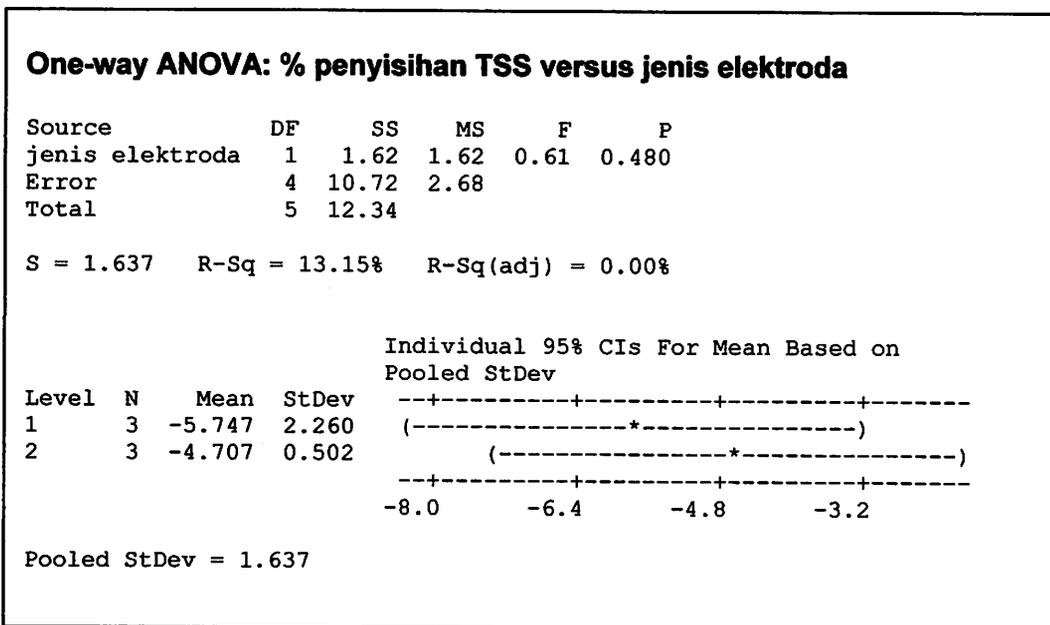
➤ Hasil uji ANOVA persen penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, dan 4.37.

4.5.2.1 Menit ke-12

Tabel 4.32. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)

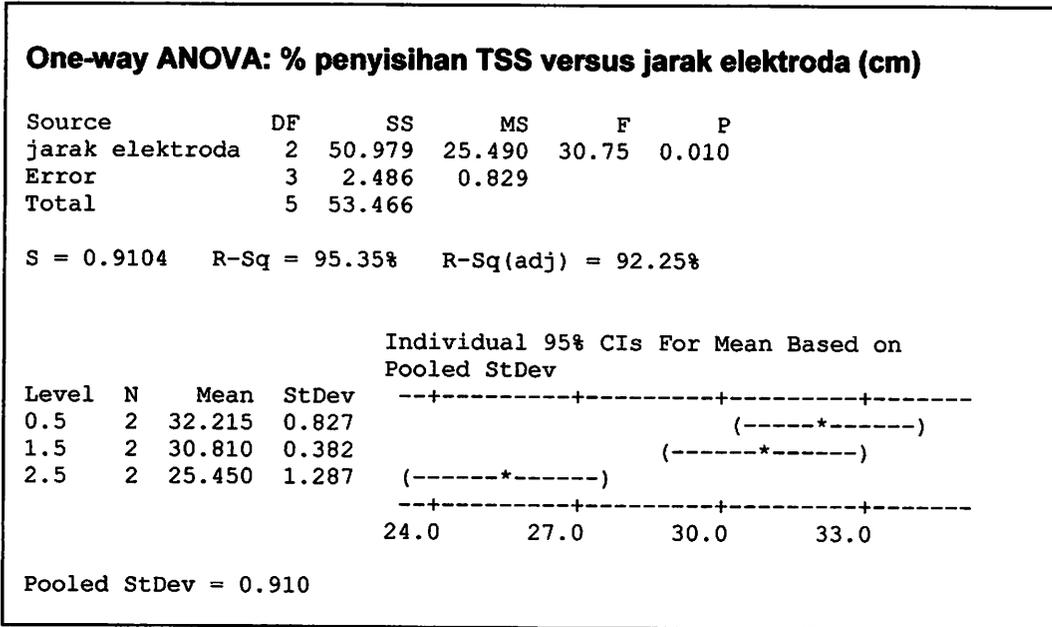


Tabel 4.33. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda

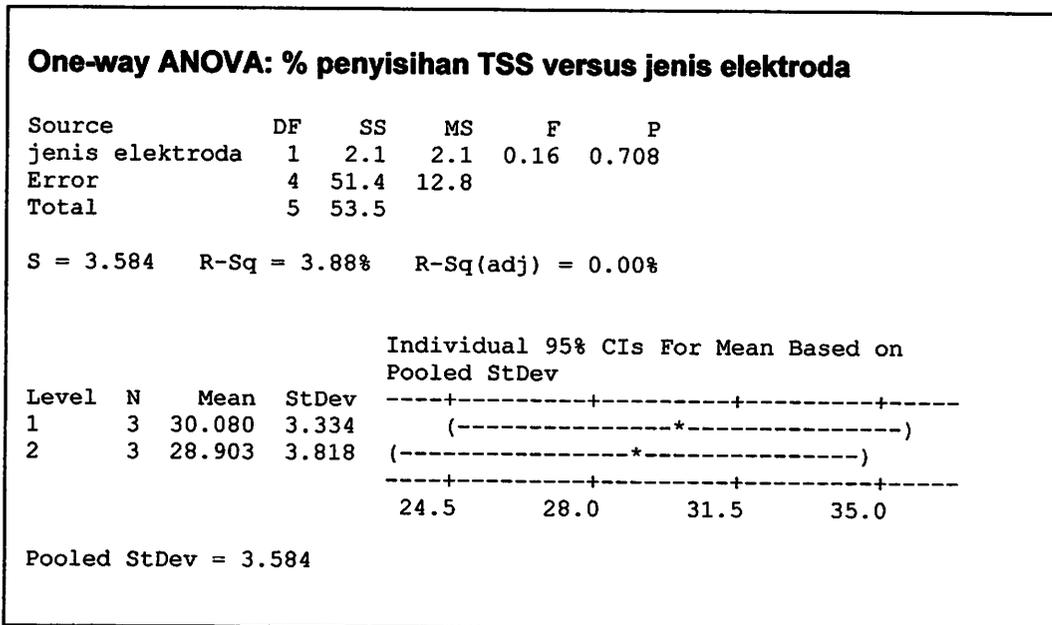


4.5.2.2 Menit ke-35

Tabel 4.34. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)

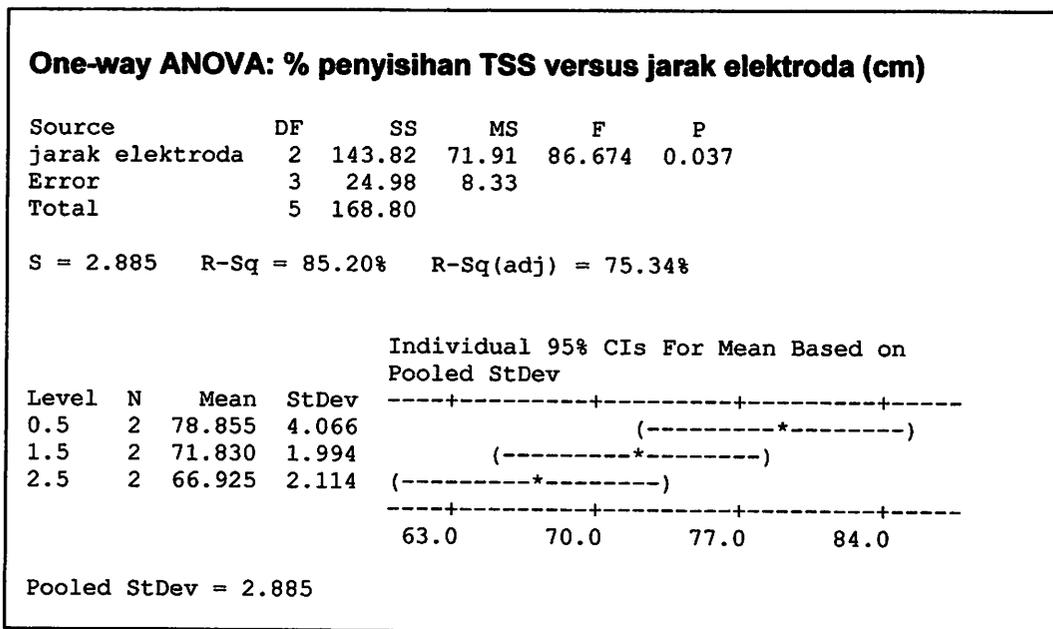


Tabel 4.35. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda

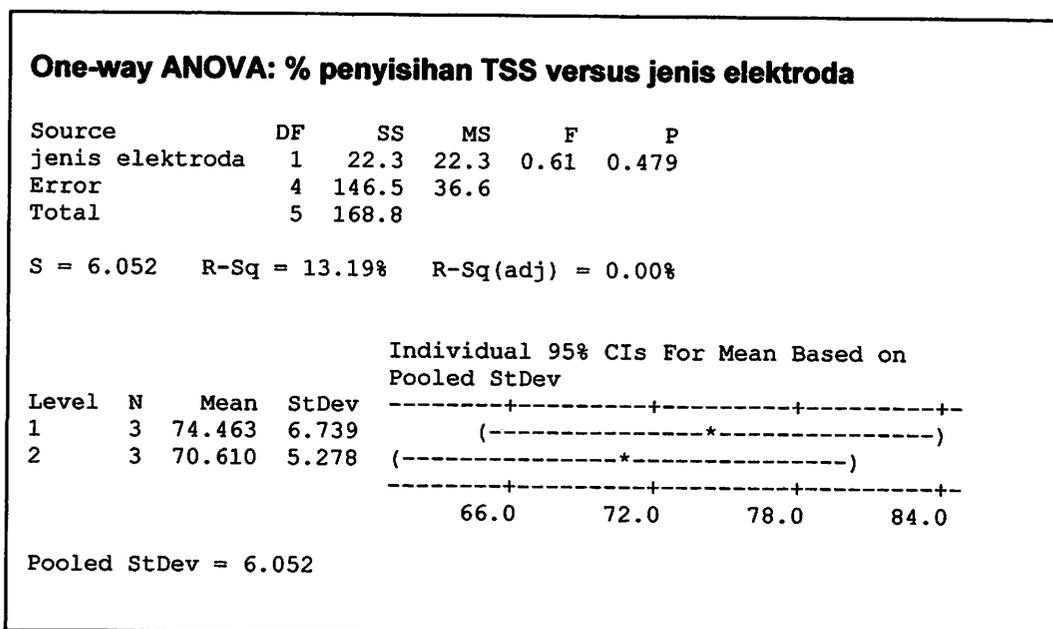


4.5.2.3 Menit ke-90

Tabel 4.36. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jarak Antar Elektroda (cm)



Tabel 4.37. Uji Anova % Penyisihan TSS Terhadap Jenis Elektroda



Keterangan :	DF	= Derajat Bebas	F	= Nilai Statistik Uji
	SS	= Variasi Residual	P	= Nilai Probabilitas
	MS	= Mean Square	Mean	= Nilai rata-rata

Keputusan

1. Nilai Probabilitas

Berdasarkan tabel 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, dan 4.37 nilai probabilitas (P) dari variasi jarak antar elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,024, 0,010, dan 0,037. Karena nilai probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak. Artinya rata – rata persentase penyisihan konsentrasi TSS terhadap jarak antar elektroda dalam enam perlakuan tersebut memang tidak identik. Sedangkan nilai probabilitas (P) dari variasi jenis elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,480, 0,708, dan 0,479. Karena nilai probabilitas $> 0,05$ maka H_0 diterima. Artinya rata – rata persentase penyisihan konsentrasi TSS terhadap jenis elektroda dalam enam perlakuan tersebut memang identik.

2. Nilai F

Berdasarkan tabel 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, dan 4.37 nilai F hitung output dari variasi jarak antar elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 23,38, 30,75, dan 86,74. Jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 9,55. Karena nilai F hitung output $>$ dari F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi jarak antar elektroda terhadap penyisihan TSS. Sedangkan F hitung output dari variasi jenis elektroda pada menit ke -12, 35, dan 90 berturut-turut sebesar 0,61, 0,16, dan 0,61. Jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 9,55. Karena nilai F hitung output $<$ dari F tabel maka keputusannya adalah menerima hipotesis awal (H_0) dan menolak hipotesis alternatif (H_1). Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara variasi jenis elektroda terhadap penyisihan TSS.

4.6 Pembahasan Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar

4.6.1 Pengaruh Jenis Dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Penyisihan Konsentrasi COD

A. Tinjauan Pada Menit ke- 12

Pada tabel 4.3 dan gambar 4.1 dapat dilihat persentase penyisihan COD tidak besar. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar 21,86 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar 14,08 %. COD dalam limbah *laundry* disebabkan oleh material organik dalam limbah tersebut. Berdasarkan tabel 2.2 konsentrasi COD dalam limbah *laundry* disebabkan material organik yang sebagian besar berupa material LAS (surfaktan), *carboxyl methyl cellulose* (CMC) dan minyak tumbuhan (Seo, dkk., 2001). COD merupakan bahan organik kompleks yang sulit untuk diuraikan sehingga dalam pengolahannya juga diperlukan suatu pengolahan yang khusus. Elektrokoagulasi merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan. Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ dan $Fe(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* (Suaib, 1994). Selain itu penurunan bahan organik dalam hal ini COD pada proses elektrokoagulasi, dapat teradsorpsi pada permukaan partikel sehingga terbentuk permukaan yang hidropobik yang menyebabkan partikel dalam air limbah akan naik ke permukaan dengan bantuan gelembung gas yang terbentuk (Hudori, 2008). Perentase penurunan COD pada menit ke-12 masih rendah, hal ini disebabkan pada menit awal baru terjadi proses elektrolisis. Penyisihan COD terjadi akibat proses flotasi, dimana pada katoda akan terbentuk gas H_2 dan pada anoda akan terbentuk gas O_2 . Pembentukan oksigen pada anoda dapat dilihat pada reaksi berikut:



Pembentukan oksigen di anoda menyebabkan meningkatnya suplai oksigen pada air limbah (Hudori, 2008). Suplai oksigen merupakan faktor yang sangat berperan dalam penurunan konsentrasi COD (Alaerts dan Santika, 1987). Pembentukan gas H_2 dan O_2 dipengaruhi oleh jarak antar elektroda, dimana semakin dekat jarak antar elektroda maka semakin banyak pembentukan gas H_2 dan O_2 (Hudori, 2008).

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persen penyisihan konsentrasi COD adalah signifikan, begitu juga uji anova antara jarak antar elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak identik/ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar elektroda mempunyai range yang cukup untuk membedakan persen penyisihan COD. Hasil analisis dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan persentase penyisihan COD jika jarak antar elektroda semakin kecil. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajesshwar dan Ibanes, 2005). Semakin besar nilai *IR-drop* maka semakin kecil efisiensi elektrokoagulasi.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah identik/tidak ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan COD. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I , t , F , Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang,

2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002).

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi COD limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 95,1%.

B. Tinjauan Pada Menit ke- 35

Pada tabel 4.5 dan gambar 4.2 dapat dilihat persentase penyisihan COD cukup besar, disebabkan pada menit ini air limbah mengalami proses elektrokoagulasi dan flokulasi. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar 30,7 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar 24,95 %. COD dalam limbah *laundry* disebabkan oleh material organik dalam limbah tersebut. Berdasarkan tabel 2.2 konsentrasi COD dalam limbah *laundry* disebabkan material organik yang sebagian besar berupa material LAS (surfaktan), *carboxyl methyl cellulose* (CMC) dan minyak tumbuhan (Seo, dkk., 2001). COD merupakan bahan organik kompleks yang sulit untuk diuraikan sehingga dalam pengolahannya juga diperlukan suatu pengolahan yang khusus. Elektrokoagulasi merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan. Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ dan $Fe(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* (Suaib, 1994). Kemudian dilanjutkan dengan proses flokulasi dengan waktu detensi 20 menit dan kecepatan 40 rpm menghasilkan gradien kecepatan 73,23 /detik.

Dengan gradien kecepatan tersebut sudah memenuhi kriteria design proses flokulasi yang menyebabkan terjadinya penggabungan inti flok sehingga terbentuk flok yang berukuran lebih besar. Terbentuknya flok yang berukuran lebih besar menyebabkan zat organik penyebab COD sudah mulai dapat mengendap.

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persen penyisihan konsentrasi COD adalah signifikan, begitu juga uji anova antara jarak antar elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak identik/ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar elektroda mempunyai range yang cukup untuk membedakan % penyisihan COD. Hasil analisis dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan persentase penyisihan COD jika jarak antar elektroda semakin kecil. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajeshwar dan Ibanes, 2005). Semakin dekat jarak antar elektroda, efisiensi elektrokoagulasi meningkat dan penyisihan COD di bak pengadukan lambat meningkat. Proses penyisihan pada bak flokulasi terjadi akibat penggabungan inti flok. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel-partikel yang terbawa aliran media cair, mengakibatkan terjadinya tumbukan atau kontak antar partikel dan terjadi penggabungan antar partikel. Penggabungan antar partikel dapat membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab COD sudah mulai dapat mengendap.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah identik/tidak ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum

mempunyai range yang cukup untuk membedakan perentase penyisihan COD. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I, t, F, Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang, 2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002). Dengan jumlah koagulan yang terlepas di elektrokoagulasi tidak berbeda jauh, maka tingkat penyisihan konsentrasi COD pada proses flokulasi tidak jauh berbeda antara elektroda aluminium dan besi.

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi COD limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 96,6 %.

C. Tinjauan Pada Menit ke- 90

Pada tabel 4.7 dan gambar 4.3 dapat dilihat persentase penyisihan COD besar, pada menit ini air limbah telah mengalami proses elektrokoagulasi, flokulasi dan sedimentasi dimana telah terbentuk partikel flokulen yang lebih besar sehingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi secara gravitasi. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda aluminium dengan jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar 72,35 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda besi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar 50,94 %. COD dalam limbah *laundry* disebabkan oleh material organik dalam limbah tersebut. Berdasarkan tabel 2.2 konsentrasi COD dalam limbah *laundry* disebabkan material organik yang sebagian besar berupa material LAS (surfaktan),

carboxyl methyl cellulose (CMC) dan minyak tumbuhan (Seo, dkk., 2001). COD merupakan bahan organik kompleks yang sulit untuk diuraikan sehingga dalam pengolahannya juga diperlukan suatu pengolahan yang khusus. Elektrokoagulasi merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan. Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ dan $Fe(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* (Suaib, 1994). Setelah proses elektrokoagulasi dilanjutkan dengan proses flokulasi dimana terjadi penggabungan inti flok yang membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab COD sudah mulai dapat mengendap. Kemudian dilanjutkan dengan proses sedimentasi dimana selama proses ini, partikel flokulen mendapatkan waktu untuk mengendap secara gravitasi.

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persen penyisihan konsentrasi COD adalah signifikan, begitu juga uji anova antara jarak antar elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak identik/ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar elektroda mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan COD pada proses elektrokoagulasi. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajeshwar dan Ibanes, 2005). Semakin kecil nilai *IR-drop* maka semakin besar efisiensi elektrokoagulasi dan penyisihan COD di bak pengadukan lambat meningkat. Proses penyisihan pada bak flokulasi terjadi akibat penggabungan inti flok. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel-partikel yang terbawa aliran media cair, mengakibatkan terjadinya tumbukan atau kontak antar partikel dan terjadi penggabungan antar partikel. Penggabungan antar partikel dapat

membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab COD sudah mulai dapat mengendap. Pada bak sedimentasi partikel flokulen yang terbentuk di bak flokulasi akan diendapkan secara gravitasi, sehingga kecepatan pengendapannya juga meningkat.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi COD adalah identik/tidak ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum mempunyai range yang cukup untuk membedakan % penyisihan COD. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I, t, F, Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang, 2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002). Dengan jumlah koagulan yang terlepas di elektrokoagulasi tidak berbeda jauh, maka tingkat penyisihan konsentrasi COD pada proses flokulasi tidak jauh berbeda antara elektroda aluminium dan besi. Tingkat penyisihan konsentrasi COD pada proses flokulasi tidak jauh berbeda menyebabkan tingkat penyisihan konsentrasi COD pada proses sedimentasi tidak jauh berbeda juga.

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi COD limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 98,4%.

Persentase penyisihan COD cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan % penyisihan TSS, ini disebabkan karena tidak semua bahan organik penyebab COD dapat teradsorpsi kepermukaan maupun

mengendap dengan bantuan Al dan Fe sebagai koagulan (Talens-Alisson, 2004 dalam Hudori, 2008). Konsentrasi COD terendah pada elektrokoagulasi dengan aluminium dan besi berturut-turut 184,95 mg/L dan 205,15 mg/L terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Jika dibandingkan dengan Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No: 45 Tahun 2002 Lampiran II dimana COD sebesar 300 mg/L maka, hasil pengolahan limbah *laundry* menggunakan elektrokoagulasi mopolar sudah memenuhi standar baku mutu limbah cair. Sehingga pengolahan ini dapat dijadikan sebagai teknologi alternatif dalam pengolahan limbah cair.

4.6.2 Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Penyisihan Konsentrasi TSS

A. Tinjauan Pada Menit ke- 12

Pada tabel 4.9 dan gambar 4.4 dapat dilihat tidak ada penurunan konsentrasi TSS, melainkan konsentrasi TSS meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda besi pada jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar -4,28 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda aluminium pada jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar -8,35%. Pada limbah *laundry* TSS dapat disebabkan oleh detergen yang mengikat kotoran pada pakaian (Seo, dkk., 2001). TSS merupakan zat padat total (partikel solid) yang bersifat organis dan anorganis. Pada proses elektrokoagulasi dapat menurunkan konsentrasi TSS cukup tinggi. Ini disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ dan $Fe(OH)_3$ yang mampu mengikat TSS yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) sehingga dapat mengendap secara gravitasi (Suaib, 1994). Penurunan TSS pada menit ke-12 belum ada, melainkan konsentrasi TSS meningkat. Hal ini disebabkan pada menit awal baru terjadi proses elektrolisis. Sehingga limbah menjadi keruh karena pelepasan ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang cukup besar.

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah signifikan, begitu juga dari hasil analisis anova antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak identik. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar elektroda sudah mempunyai range yang cukup untuk membedakan % penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil analisis dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan persentase penyisihan TSS jika jarak antar elektroda semakin kecil. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajeshwar dan Ibanes, 2005). Semakin besar nilai *IR-drop* maka semakin kecil efisiensi elektrokoagulasi.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah identik/tidak ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan TSS. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I , t , F , Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang, 2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga

pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002).

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi TSS limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 84,6 %.

B. Tinjauan Pada Menit ke- 35

Pada tabel 4.11 dan gambar 4.5 dapat dilihat penurunan konsentrasi TSS cukup rendah. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda aluminium pada jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar 32,8 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda besi pada jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar - 24,54 %. Pada limbah *laundry* TSS dapat disebabkan oleh detergen yang mengikat kotoran pada pakaian (Seo, dkk., 2001). TSS merupakan zat padat total (partikel solid) yang bersifat organik dan anorganik. Pada proses elektrokoagulasi dapat menurunkan konsentrasi TSS cukup tinggi. Ini disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang mampu mengikat TSS yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* (Suaib, 1994). Setelah proses elektrokoagulasi kemudian dilanjutkan dengan proses flokulasi dengan waktu detensi 20 menit dan kecepatan 40 rpm menghasilkan gradien kecepatan 73,23 /detik. Dengan gradien kecepatan tersebut sudah memenuhi kriteria design proses flokulasi yang menyebabkan terjadinya penggabungan inti flok sehingga terbentuk flok yang berukuran lebih besar. Terbentuknya flok yang berukuran lebih besar menyebabkan zat organik penyebab TSS sudah mulai dapat mengendap.

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah signifikan, begitu juga dari hasil analisis anova antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak identik. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar

elektroda sudah mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil analisis dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan persentase penyisihan TSS jika jarak antar elektroda semakin kecil. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajeshwar dan Ibanes, 2005). Semakin kecil nilai *IR-drop* maka semakin besar efisiensi elektrokoagulasi dan penyisihan TSS di bak pengadukan lambat meningkat. Proses penyisihan pada bak flokulasi terjadi akibat penggabungan inti flok. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel-partikel yang terbawa aliran media cair, mengakibatkan terjadinya tumbukan atau kontak antar partikel dan terjadi penggabungan antar partikel. Penggabungan antar partikel dapat membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab TSS sudah mulai dapat mengendap.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah identik/tidak ada perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan TSS. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I , t , F , Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang, 2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama

mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002). Dengan jumlah koagulan yang terlepas di elektrokoagulasi tidak berbeda jauh, maka tingkat penyisihan konsentrasi TSS pada proses flokulasi tidak jauh berbeda antara elektroda aluminium dan besi. Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap.

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi TSS limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 89,5 %.

C. Tinjauan Pada Menit ke- 90

Pada tabel 4.13 dan gambar 4.6 dapat dilihat penurunan konsentrasi TSS cukup besar. Pada menit ke 90 air limbah telah mengalami proses elektrokoagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dimana telah terjadi pengendapan partikel flokulen, terjadi interaksi antar partikel sehingga ukuran meningkat dan kecepatan pengendapan bertambah sehingga penyisihan TSS pada menit ke 90 paling besar. Hal ini ditunjukkan dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada elektroda aluminium pada jarak antar elektroda 0,5 cm yaitu sebesar 81,73 % dan persentase penyisihan terendah terjadi pada elektroda besi pada jarak antar elektroda 2,5 cm yaitu sebesar - 65,43 %. Pada limbah *laundry* TSS dapat disebabkan oleh detergen yang mengikat kotoran pada pakaian (Seo, dkk., 2001). TSS merupakan zat padat total (partikel solid) yang bersifat organis dan anorganis. Pada proses elektrokoagulasi dapat menurunkan konsentrasi TSS cukup tinggi. Ini disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dan Fe^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ dan $Fe(OH)_3$ yang mampu mengikat TSS yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) sehingga dapat mengendap secara gravitasi (Suaib, 1994). Setelah proses elektrokoagulasi dilanjutkan dengan proses flokulasi dimana terjadi

penggabungan inti flok yang membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab TSS sudah mulai dapat mengendap. Kemudian dilanjutkan dengan proses sedimentasi dimana selama proses ini, partikel flokulen mendapatkan waktu untuk mengendap secara gravitasi.

Analisis korelasi antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah signifikan, begitu juga dari hasil analisis anova antara jarak antar elektroda terhadap persentase penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak identik. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jarak antar elektroda sudah mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil analisis dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan persentase penyisihan TSS jika jarak antar elektroda semakin kecil. Hal ini disebabkan karena *IR-drop* berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m^2) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

Dengan I , A dan K yang tetap sedangkan d (jarak antar elektroda) meningkat maka akan meningkatkan *IR-drop*. Dimana *IR-drop* adalah faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi elektrokoagulasi (Rajeshwar dan Ibanes, 2005). Semakin kecil nilai *IR-drop* maka semakin besar efisiensi elektrokoagulasi dan penyisihan TSS di bak pengadukan lambat meningkat. Proses penyisihan pada bak flokulasi terjadi akibat penggabungan inti flok. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel-partikel yang terbawa aliran media cair, mengakibatkan terjadinya tumbukan atau kontak antar partikel dan terjadi penggabungan antar partikel. Penggabungan antar partikel dapat membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga zat organik penyebab TSS sudah mulai dapat mengendap. Pada bak sedimentasi partikel flokulen yang terbentuk di bak flokulasi akan diendapkan secara gravitasi, sehingga kecepatan pengendapannya juga meningkat.

Analisis korelasi antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah tidak signifikan, begitu juga uji anova antara jenis elektroda terhadap penyisihan konsentrasi TSS adalah identik/tidak ada

perbedaan. Hal ini menyatakan bahwa dalam variasi jenis elektroda belum mempunyai range yang cukup untuk membedakan persentase penyisihan TSS. Hal ini disebabkan valensi antara aluminium dengan besi adalah sama yaitu +3 sehingga pelarutan logam di elektrolit juga tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada rumus 2.1. Dengan I, t, F, Z yang sama dan MW yang tidak jauh berbeda maka jumlah logam yang larut tidak berbeda jauh (Chang, 2002). Pelarutan logam berhubungan dengan fungsinya sebagai agen koagulan dan selanjutnya akan menempel pada partikulat sehingga memudahkan membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Selain itu dalam deret volta aluminium dan besi merupakan logam yang sama-sama mudah dioksidasi dengan nilai $^{\circ}E$ berturut-turut -1,66 dan -0,44, sehingga pada anoda akan mudah melepas ion Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berfungsi sebagai agen koagulan (Chang, 2002). Dengan jumlah koagulan yang terlepas di elektrokoagulasi tidak berbeda jauh, maka tingkat penyisihan konsentrasi TSS pada proses flokulasi tidak jauh berbeda antara elektroda aluminium dan besi. Tingkat penyisihan konsentrasi TSS pada proses flokulasi tidak jauh berbeda menyebabkan tingkat penyisihan konsentrasi TSS pada proses sedimentasi tidak jauh berbeda juga.

Hasil analisis regresi penyisihan konsentrasi TSS limbah *laundry* dipengaruhi oleh jenis dan variasi jarak antar elektroda. Hal ini diperkuat dengan nilai R square sebesar 97,5 %.

Konsentrasi TSS terendah pada elektrokoagulasi dengan aluminium dan besi berturut-turut 60,94 mg/L dan 80,09 mg/L terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Jika dibandingkan dengan Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No: 45 Tahun 2002 Lampiran II dimana TSS sebesar 200 mg/L, maka hasil pengolahan limbah *laundry* menggunakan elektrokoagulasi mopolar sudah memenuhi standar baku mutu limbah cair. Sehingga pengolahan ini dapat dijadikan sebagai teknologi alternatif dalam pengolahan limbah cair.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Jarak antar elektroda berpengaruh signifikan terhadap besarnya efisiensi penurunan COD dan TSS. Semakin kecil jarak antar elektroda maka efisiensi penurunan COD dan TSS semakin besar. Sedangkan jenis elektroda tidak berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya efisiensi penurunan COD dan TSS.
2. Efisiensi penyisihan COD terkecil pada elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium yaitu sebesar 17,34 % dan besi sebesar 14,08% terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 2,5 cm. Efisiensi penyisihan TSS terkecil pada elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium yaitu sebesar -8,35 % dan besi sebesar -5,26% terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Efisiensi penyisihan COD terbesar pada elektrokoagulasi dengan aluminium yaitu sebesar 72,35 % dan besi sebesar 69,33% terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Efisiensi penyisihan TSS terbesar pada elektrokoagulasi dengan aluminium yaitu sebesar 81,73% dan besi sebesar 75,98% terjadi pada variasi dengan jarak antar elektroda 0,5 cm.

5.2. Saran

Saran yang dapat diusulkan sehubungan dengan penelitian lebih lanjut adalah :

- a. Perlu penelitian yang lebih lanjut dengan memperbesar waktu detensi proses elektrokoagulasi untuk memperoleh tingkat penyisihan COD dan TSS yang lebih besar.

- b. Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh gradien kecepatan pengadukan terhadap efisiensi penurunan COD dan TSS.
- c. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan parameter lain pada air limbah *laundry* seperti BOD, phospat, surfactan, dan minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Santika, S.S, 1987. Metode Penelitian Air. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Bajpai, D., Tyagi V.K. 2007 Laundry Detergen. Journal of Oleo Science. 56. (7) 321-340. Verlag GMBH, Weinheim.
- Chang, R. 2002. Kimia Dasar Edisi Ke 3 Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
- Cogley, D.R., Wechsler, B.A. 2005 Occuarence and Treatability of Priority Pollutans in Industrial Laundry Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.
- Duan, T., and Gregory, T. 2003 Coagulaion by Hidrolysing Metal Salts, Advance in Colloid and Interface Science.
- Heiss, C. W. 2008 Elektrocoagulation Reactor and Water Treadment System and Method. Denver, CO United State.
- Holt, P. K., Barton, G.W., and Michell, C.A. 2001. The Role of Current in Determining Poluttant Removal in a Batch Electrocoagulation Reactor. Conference Media CD. Melbourne, Australia.
- Holt, P. 2002. Electrocoagulation : Unravelling and Synthetising the Mechanisms Behind a Water Treatment Proccess. Departement of Chemical Engineering. University of Sydney.
- Holt, P. K., Barton, G.W., and Michell, C.A. 2004. Dechiphering the Science Behind Electrocoagulation to Remove Suspended Clay Partcles From Water. Water Science and Technology.
- Hudori, 2008. Pengolahan Limbah Laundry dengan Menggunakan elektrokoagulasi. Central Library in Institute Technology Bandung.
- Iriawan, N dan Astuti, P.S. 2006. Mengolah Data Statistika Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14. Andi. Yogyakarta.
- Koparal, A. S. dan Ogutveren, U.B. 2002. Removal of Nitrate From Water by Electroduction and Electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials.

- Letterment, R.O., Amirtharajah, A. dan O'Melia, C.R. 1999. *water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Suplies.*
- Masduqi, A. dan Slamet, A. 2002. *Satuan Operasi.* Jurusan Teknik Lingkungan - FTSP. ITS. Surabaya.
- Metcalf & Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse,* McGraw-Hill Inc, New York.
- Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kezmez, M., Parga, J., and Cocke, D.L. 2001. *Electrocoagulation (EC). Science and Application.* Journl of Hazardous Materials.
- Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kezmez, M., Parga, J., and Cocke, D.L. 2004. *Fundamentals, Present and Future Perspectives of Electrocoagulation.* Journal of Hazaedous Material.
- Reynolds, R. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering* (2nd ed). Boston: PWS Publishing Company.
- Rajesshwar, K. and Ibanez, J.G. 2005. *Environmental Electrochemistry.* Academic Press.
- Seo, T. G., T.S. Lee, B.H. Moon, J.H. Lim. 2001. *Ultrafiltration Combined With Ozone For Domestic Laundry Wastewater Reclamation and Reuse. Water Supply.*
- Suaib, S. B. 1994. *Pengaruh Rapat Arus Listrik, Jumlah dan Jenis Elektroda Terhadap Efektifitas Penurunan Warna Pada Air Gambut Dengan Proses Elektrokoagulasi.* Jurusan Teknik Lingkungan Pascasarjana. ITB.
- Sugiharto, 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah,* UI Press Jakarta.
- Taufikurrahman, 2006. *Penurunan TSS, Warna dan COD Pada Limbah Laundry Menggunakan Membran Mikrofiltrasi (MF) Dengan Pretreatment Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi.* Jurusan Teknik Lingkungan . Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. ITN Malang.
- Wenten G. I. 2003. *Aplikasi Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air dan Air Buangan.* M. Razif, dkk (Eds.), *Perkembangan dan Aplikasi Teknologi Lingkungan Dalam Menghadapi Era Global* (hlm. U.5-1 - U.5-16). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

ଜାମପୁରୀ

Lampiran A
Perhitungan Reaktor

III. DESAIN BAK SEDIMENTASI

$$T_d = 60 \text{ menit}$$

$$Q_{in} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$V = Q \times t = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{menit} \times 60 \text{ menit} = 30 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Zona Settling

Direncanakan dimensi;

$$p : l = 3 : 1$$

untuk $l = 22 \text{ cm}$ (menyesuaikan dimensi bak flokulasi)

$$P = 22 \text{ cm} \times 3 = 66 \text{ cm}$$

$$H = \frac{\text{Volume}}{(0,22\text{m} \times 0,66\text{m})} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{0,1452} = 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

Zona Inlet

$$P = 25 \% \times \text{panjang zona settling}$$

$$= 25 \% \times 66 \text{ cm} = 16,5 \text{ cm}$$

Zona Lumpur

Vol. lumpur diasumsikan 100ml/1000ml limbah, jadi volume lumpur

$$= 30 \text{ l} \times 0,1 \text{ l} = 3 \text{ l} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ untuk td 1 jam}$$

Direncanakan dimensi :

$$\text{Vol. trapesium} = 1/3 \cdot H \cdot (A_1 + A_2 + (A_1 \cdot A_2)^{0,5})$$

$$A_1 = \text{luas atas}; A_2 = \text{luas bawah}$$

$$a = 1/3 \times l = 1/3 \times 66 \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

$$a' = 1/5 \times l = 1/5 \times 66 \text{ cm} = 13,2 \text{ cm}$$

$$b = w = 22 \text{ cm}$$

$$b' = 1/3 \times w = 1/3 \times 22 \text{ cm} = 7,33 \text{ cm}$$

$$A_1 = a \times b = 22 \times 22 = 484 \text{ cm}^2 = 0,0484 \text{ m}^2$$

$$A_2 = a' \times b' = 13,2 \times 7,33 = 96,756 \text{ cm}^2 = 9,6756 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$H = \frac{3 \times \text{Vol}}{(A_1 + A_2 + (A_1 \cdot A_2)^{0,5})}$$

$$= \frac{3 \times (3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{(484 \cdot 10^{-4} + 9,6756 \cdot 10^{-3} + (484 \cdot 10^{-4} \cdot 9,6756 \cdot 10^{-3})^{0,5}}$$

$$= 0,11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

μ : Kekentalan absolute cairan (N.det/m²)

V : Volume cairan yang diaduk (m³)

II. DESAIN BAK PENGADUKAN LAMBAT

$$T_d = 20 \text{ menit}$$

$$Q_{in} = 0,5 \text{ l/menit}$$

$$V = Q \times t = 0,5 \text{ l/menit} \times 20 \text{ menit} = 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$V = p \times l \times t; p = l = t$$

$$p^3 = 10^{-2} \text{ m}^3 = 0,22 \text{ m}$$

$$\text{panjang paddle (d}_{paddle}) = 80 \% \times p = 80 \% \times 22 \text{ cm} = 17,6 \approx 18 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar paddle (w}_{paddle}) = 1/6 \times 18 \text{ cm} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi paddle terhadap dasar (h}_{paddle}) = 1/2 \times 18 \text{ cm} = 9 \text{ cm}$$

$$n = 40 \text{ rpm}$$

Jika tanpa sekat (baffle) tegak, tenaga yang dibutuhkan adalah 75% dari tenaga untuk tangki bersekat. Jadi nilai KT:

$$\begin{aligned} KT &= 0,75 \times KT \\ &= 0,75 \times 1,15 = 0,86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= KT \cdot n^3 \cdot D_i^5 \\ &= 0,86 \cdot (40/60)^3 \text{ rps} \cdot (0,18 \text{ m})^5 \cdot 997,07 \text{ kg/m}^3 = 0,048 \text{ N.m/dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G^2 &= \frac{P}{\mu \times V} \\ &= \frac{0,048 \text{ N.m / dt}}{0,8949 \cdot 10^{-3} \text{ N.dtk / m}^2 \times 10^{-2} \text{ m}^3} = 5.363,72/\text{dtk}^2 \end{aligned}$$

$$G = 73,23 / \text{dtk}$$

DESAIN REAKTOR ELEKTROKOAGULASI

I. DESAIN BAK PENGADUKAN CEPAT DENGAN ELEKTRODA

$$T_d = 10 \text{ menit}$$

$$Q_{in} = 0,5 \text{ l/menit}$$

$$V = Q \times t = 0,5 \text{ l/menit} \times 10 \text{ menit} = 0,5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$V = p \times l \times t; p = l = t$$

$$p^3 = 0,5 \times 10^{-2} \text{ m}^3 = 0,17 \text{ m}$$

$$\text{Panjang paddle } (d_{paddle}) = 60 \% \times p = 60 \% \times 17 \text{ cm} = 10,2 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar paddle } (w_{paddle}) = 1/6 \times 10,2 \text{ cm} = 1,7 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi paddle terhadap dasar } (h_{paddle}) = 1/2 \times 10,2 \text{ cm} = 5,1 \text{ cm}$$

$$n = 200 \text{ rpm}$$

Jika tanpa sekat (baffle) tegak, tenaga yang dibutuhkan adalah 75% dari tenaga untuk tangki bersekat. Jadi nilai KT:

$$KT = 0,75 \times KT$$

$$= 0,75 \times 1,15 = 0,86$$

$$P = KT \cdot n^3 \cdot D_i^5 \cdot \rho$$

$$= 0,86 \cdot (200/60)^3 \text{ rps} \cdot (0,102 \text{ m})^5 \cdot 997,07 \text{ kg/m}^3 = 0,3506 \text{ N.m/dtk}$$

$$G^2 = \frac{P}{\mu \times V}$$

$$= \frac{0,3506 \text{ N.m} / dt}{0,8949 \cdot 10^{-3} \text{ N.dtk} / m^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} m^3} = 78.355,123 / dtk^2$$

$$G = 279,92 / dtk$$

Keterangan:

P : Suplai tenaga ke air (N.m/dtk)

G : Gradien kecepatan (dtk^{-1})

KT : Konstanta pengaduk

n : Kecepatan putaran (rps)

D_i : Diameter pengaduk (m)

ρ : Massa jenis cairan (kg/m^3)

Lampiran B
Hasil Analisis



LABORATORIUM TEKNIK LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN



Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Extention 187
 Malang 65145

No : ITN-25.4/Lab.T.Ling/FTSP/2009

HASIL ANALISIS SAMPEL

a.n. : Angelina Puspita Sandy (NIM : 0526011)
Alamat : Mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang
Lokasi : Limbah Laundry
Sampling : Oleh konsumen
Analisis : Oleh konsumen

Tanggal Analisis Sampel : 24 Agustus – 28 Agustus 2009

➤ Hasil Analisis Elektrokoagulasi dengan Menggunakan Elektroda Aluminium

jarak antar elektroda (cm)	waktu (menit)	Suhu (oC)			rata-rata suhu	pH			Rata-rata pH
		I	II	III		I	II	III	
0.5	12	27	27	27	27	12	12	12	12
	35	25	25	25	25	10.14	10.14	10	10.09
	90	25	25	25	25	8.54	8.54	8.54	8.54
1.5	12	26	26	26	26	11.7	11.8	11.76	11.75
	35	25	25	25	25	8.99	9.1	9.07	9.05
	90	25	25	25	25	8.32	8.3	8.39	8.34
2.5	12	26	26	26	26	9.87	9.94	9.91	9.91
	35	25	25	25	25	8.8	8.81	8.9	8.84
	90	25	25	25	25	8.37	8.41	8.4	8.39

➤ Hasil Analisis Elektrokoagulasi dengan Menggunakan Elektroda Besi

jarak antar elektroda (cm)	waktu (menit)	Suhu (oC)			rata-rata suhu	pH			Rata-rata pH
		I	II	III		I	II	III	
0.5	12	27	26	25	26	11.73	11.7	11.68	11.70
	35	26	26	25	25.67	9.07	9.1	9.08	9.08
	90	25	25	25	25	8.56	8.61	8.63	8.6
1.5	12	26	26	25	25.67	9.58	9.65	9.66	9.63
	35	25	25	25	25	8.76	8.79	8.79	8.78
	90	25	25	25	25	8.5	8.53	8.53	8.52
2.5	12	26	26	26	26	9.06	9.12	9.15	9.11
	35	25	25	25	25	8.78	8.81	8.81	8.8
	90	25	25	25	25	8.3	8.35	8.41	8.39



LABORATORIUM TEKNIK LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

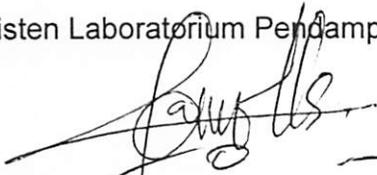


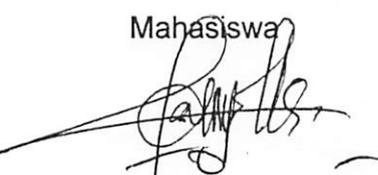
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Extention 187
 Malang 65145

Hasil analisis ini hanya berlaku untuk kondisi sampel saat itu. Pengambilan sampel dan proses analisis di laboratorium dilakukan sendiri oleh konsumen.

Asisten Laboratorium Pendamping

Mahasiswa


ANGELINA RUCPITA SANDY
 NIM :


ANGELINA RUCPITA SANDY
 NIM :

Matang, 2 September 2009
 Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan

Hardianto, ST, MT
 NIP. Y. 1030000350

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

Laboratorium Penguji
LP - 227 - BM

Nomor : 06S/LKA MLG/IX/09/06

Halaman 2 dari 3
Page 2 of 3

Kode Contoh Uji : Ext. 05/PC/IX/2009/05
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 2-8 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	D 1.1				
	COD	mg/L	545,44	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	352,44	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	D 1.2				
	COD	mg/L	477,34	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	228,63	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	D 1.3				
	COD	mg/L	265,96	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	89,73	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	E 1.1				
	COD	mg/L	545,62	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	352,8	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	E 1.2				
	COD	mg/L	476,19	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	228,01	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	E 1.3				
	COD	mg/L	266,82	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	89,65	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	F 1.1				
	COD	mg/L	546,13	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	353,16	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	F 1.2				
	COD	mg/L	476,05	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	227,17	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	F 1.3				
	COD	mg/L	266,31	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	88,31	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

laboratorium Penguji
LP - 227 - IDM

Nomor : 13S/LKA MLG/IX/09/13

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 11/PC/IX/2009/11
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 4-10 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	W 1.1				
	COD	mg/L	575,17	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	347,98	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	W 1.2				
	COD	mg/L	496,88	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	133,25	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	W 1.3				
	COD	mg/L	322,17	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	114,13	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	X 2.1				
	COD	mg/L	574,31	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	348,23	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	X 2.2				
	COD	mg/L	497,46	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	133,95	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	X 2.3				
	COD	mg/L	331,17	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	116,16	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	Y 3.1				
	COD	mg/L	574,31	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	347,14	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	Y 3.2				
	COD	mg/L	497,21	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	131,58	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	Y 3.3				
	COD	mg/L	330,57	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	115,62	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

Laboratorium Penguji
LP - 227 - IBM

Nomor : 12S/LKA MLG/IX/09/12

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 09/PC/IX/2009/09
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 3-9 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	T 1.1				
	COD	mg/L	551,26	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	348,23	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	T 1.2				
	COD	mg/L	485,36	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	231,64	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	T 1.3				
	COD	mg/L	277,29	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	98,17	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	U 2.1				
	COD	mg/L	550,11	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	349,10	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	U 2.2				
	COD	mg/L	487,15	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	231,88	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	U 2.3				
	COD	mg/L	278,66	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	98,62	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	V 3.1				
	COD	mg/L	550,99	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	348,99	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	V 3.2				
	COD	mg/L	485,88	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	230,41	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	V 3.3				
	COD	mg/L	277,46	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	98,11	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

as atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

Laboratorium Pengujian
LP - 227 - IBN

Nomor : 11S/LKA MLG/IX/09/11

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 08/PC/IX/2009/08
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 3-9 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	Q 1.1				
	COD	mg/L	536,87	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	350,98	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	Q 1.2				
	COD	mg/L	472,45	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	228,84	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	Q 1.3				
	COD	mg/L	105,67	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	79,55	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	R 2.1				
	COD	mg/L	537,33	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	351,60	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	R 2.2				
	COD	mg/L	471,97	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	227,35	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	R 2.3				
	COD	mg/L	105,82	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	80,77	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	S 3.1				
	COD	mg/L	537,45	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	350,54	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	S 3.2				
	COD	mg/L	471,25	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	227,87	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	S 3.3				
	COD	mg/L	104,97	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	79,96	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

Laboratorium Pengujian
LP - 227 - IBN

Nomor : 06S/LKA MLG/IX/09/06

Halaman 2 dari 3
Page 2 of 3

Kode Contoh Uji : Ext. 05/PC/IX/2009/05
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 2-8 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	G 1.1				
	COD	mg/L	552,86	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	348,56	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	G 1.2				
	COD	mg/L	497,66	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	253,12	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	G 1.3				
	COD	mg/L	268,47	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	154,63	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	H 1.1				
	COD	mg/L	553,11	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	347,3	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	H 1.2				
	COD	mg/L	498,59	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	232,75	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	H 1.3				
	COD	mg/L	268,16	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	150,23	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	I 1.1				
	COD	mg/L	552,69	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	347,55	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	I 1.2				
	COD	mg/L	498,17	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	250,87	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	I 1.3				
	COD	mg/L	267,77	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	152,58	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

Kata atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LABORATORIUM KUALITAS AIR



Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.co.id

laboratorium Paagoji
LP - 227 - IBN

Nomor : 08S/LKA MLG/IX/09/08

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 06/PC/IX/2009/06
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 1-7 September 2009
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	A 1.1				
	COD	mg/L	522,25	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	326,18	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
2.	A 1.2				
	COD	mg/L	463,23	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	223,87	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
3.	A 1.3				
	COD	mg/L	184,78	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	60,67	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	B 1.1				
	COD	mg/L	523,01	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	360,2	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
5.	B 1.2				
	COD	mg/L	463,15	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	224,07	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
6.	B 1.3				
	COD	mg/L	185,08	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	61,13	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	C 1.1				
	COD	mg/L	522,68	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	361,64	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
8.	C 1.2				
	COD	mg/L	464,25	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	224,36	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
9.	C 1.3				
	COD	mg/L	184,99	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	60,92	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

*fikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I*

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

*This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation*

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 06S/LKA MLG/IX/09/06

Halaman 2 dari 3
 Page 2 of 3

Kode Contoh Uji : Ext. 05/PC/IX/2009/05
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 2-8 September 2009
 Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
1.	G 1.1				
	COD	mg/L	552,86	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
2.	TSS	mg/L	348,56	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
	G 1.2				
3.	COD	mg/L	497,66	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	253,12	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
4.	G 1.3				
	COD	mg/L	268,47	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
5.	TSS	mg/L	154,63	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
	H 1.1				
6.	COD	mg/L	553,11	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	347,3	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
7.	H 1.2				
	COD	mg/L	498,59	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
8.	TSS	mg/L	232,75	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
	H 1.3				
9.	COD	mg/L	268,16	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	150,23	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
10.	I 1.1				
	COD	mg/L	552,69	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
11.	TSS	mg/L	347,55	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
	I 1.2				
12.	COD	mg/L	498,17	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
	TSS	mg/L	250,87	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	
13.	I 1.3				
	COD	mg/L	267,77	Q1/LKA/19 (Spektrofotometer)	
14.	TSS	mg/L	152,58	APHA. Ed. 20. 2540 D, 1998	

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

12

Correlations: % penyisihan COD, jarak elektroda (cm), jenis elektroda

	% penyisihan COD	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.873 0.023	
jenis elektroda	-0.434 0.390	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is

% penyisihan COD = 25.1 - 2.53 jarak elektroda (cm) - 2.06 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	25.059	1.108	22.62	0.000	
jarak elektroda (cm)	-2.5325	0.3710	-6.83	0.006	1.000
jenis elektroda	-2.0567	0.6059	-0.56	0.043	1.000

S = 0.742049 R-Sq = 95.1% R-Sq(adj) = 91.8%

Analysis of Variance

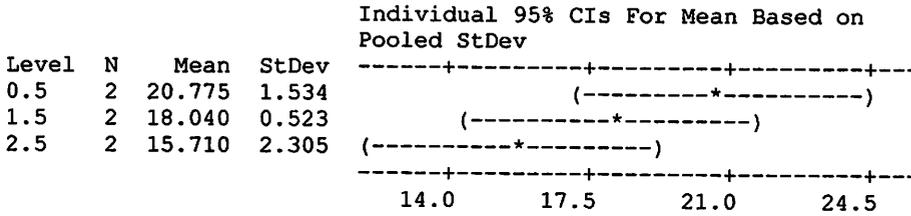
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	31.999	16.000	29.06	0.011
Residual Error	3	1.652	0.551		
Total	5	33.651			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda (cm)	1	25.654
jenis elektroda	1	6.345

One-way ANOVA: % penyisihan COD versus jarak elektroda (cm)

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda (cm)	2	25.71	12.85	61.32	0.011
Error	3	7.94	2.65		
Total	5	33.65			

S = 1.627 R-Sq = 76.40% R-Sq(adj) = 60.66%

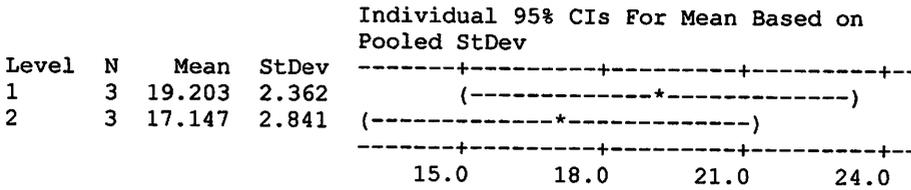


Pooled StDev = 1.627

One-way ANOVA: % penyisihan COD versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	6.34	6.34	0.93	0.390
Error	4	27.31	6.83		
Total	5	33.65			

S = 2.613 R-Sq = 18.85% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 2.613

Results for: Worksheet 2

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda

	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	0.717	0.109
jenis elektroda	0.363	0.000
	0.480	1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is

% penyisihan TSS = - 8.68 + 1.26 jarak elektroda + 1.04 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-8.677	1.802	-4.82	0.017	
jarak elektroda	1.2600	0.6033	2.09	0.128	1.000
jenis elektroda	1.0400	0.9852	1.06	0.369	1.000

S = 1.20664 R-Sq = 64.6% R-Sq(adj) = 41.0%

Analysis of Variance

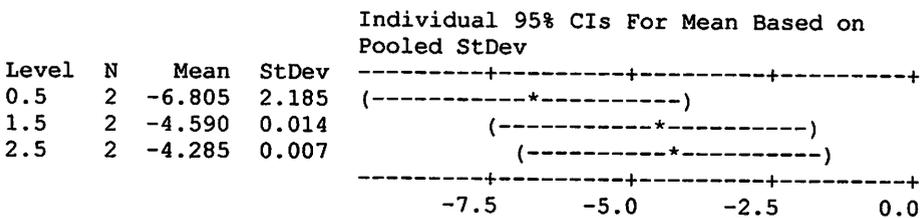
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	7.973	3.986	2.74	0.211
Residual Error	3	4.368	1.456		
Total	5	12.341			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	6.350
jenis elektroda	1	1.622

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jarak elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda	2	7.57	3.78	2.38	0.241
Error	3	4.77	1.59		
Total	5	12.34			

S = 1.262 R-Sq = 61.31% R-Sq(adj) = 35.52%

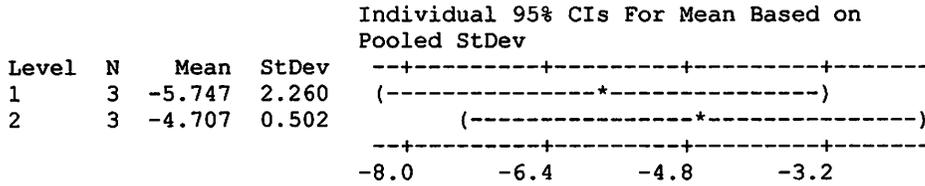


Pooled StDev = 1.262

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	1.62	1.62	0.61	0.480
Error	4	10.72	2.68		
Total	5	12.34			

S = 1.637 R-Sq = 13.15% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 1.637

35

Correlations: % penyisihan COD, jarak elektroda, jenis elektroda

	% penyisihan COD	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.956 0.003	
jenis elektroda	-0.264 0.613	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is

$$\% \text{ penyisihan COD} = 33.0 - 2.42 \text{ jarak elektroda} - 1.09 \text{ jenis elektroda}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	33.0463	0.5446	60.68	0.000	
jarak elektroda	-2.4175	0.1824	-13.25	0.001	1.000
jenis elektroda	-1.0900	0.2978	-3.66	0.035	1.000

S = 0.364772 R-Sq = 98.4% R-Sq(adj) = 97.4%

Analysis of Variance

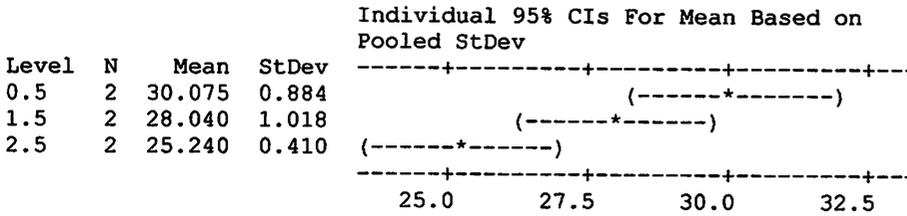
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	25.159	12.580	94.54	0.002
Residual Error	3	0.399	0.133		
Total	5	25.559			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	23.377
jenis elektroda	1	1.782

One-way ANOVA: % penyisihan COD versus jarak elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda	2	23.572	11.786	17.80	0.022
Error	3	1.986	0.662		
Total	5	25.559			

S = 0.8137 R-Sq = 92.23% R-Sq(adj) = 87.05%

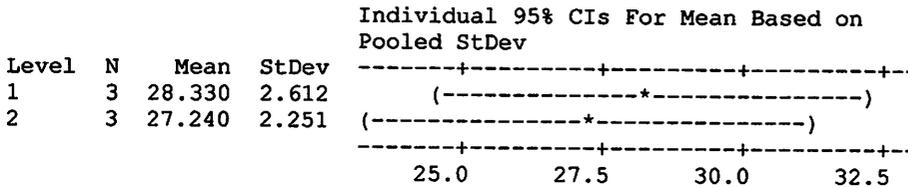


Pooled StDev = 0.814

One-way ANOVA: % penyisihan COD versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	1.78	1.78	0.30	0.613
Error	4	23.78	5.94		
Total	5	25.56			

S = 2.438 R-Sq = 6.97% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 2.438

Results for: Worksheet 2

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda

	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.925 0.008	
jenis elektroda	-0.197 0.708	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is

% penyisihan TSS = 36.3 - 3.38 jarak elektroda - 1.18 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	36.330	2.044	17.77	0.000	
jarak elektroda	-3.3825	0.6846	-4.94	0.016	1.000
jenis elektroda	-1.177	1.118	-1.05	0.370	1.000

S = 1.36914 R-Sq = 89.5% R-Sq(adj) = 82.5%

Analysis of Variance

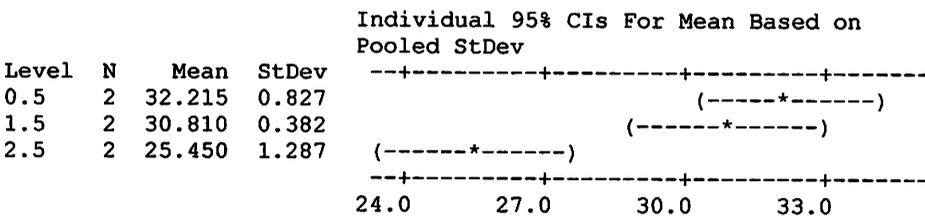
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	47.842	23.921	12.76	0.034
Residual Error	3	5.624	1.875		
Total	5	53.466			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	45.765
jenis elektroda	1	2.077

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jarak elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda	2	50.979	25.490	30.75	0.010
Error	3	2.486	0.829		
Total	5	53.466			

S = 0.9104 R-Sq = 95.35% R-Sq(adj) = 92.25%



Pooled StDev = 0.910

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	2.1	2.1	0.16	0.708
Error	4	51.4	12.8		
Total	5	53.5			

S = 3.584 R-Sq = 3.88% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
1	3	30.080	3.334
2	3	28.903	3.818

24.5 28.0 31.5 35.0

Pooled StDev = 3.584

Correlations: % penyisihan, jarak elektroda, jenis elektroda

	% penyisihan	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.962 0.002	
jenis elektroda	-0.204 0.699	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is
 $\% \text{ penyisihan} = 79.0 - 8.84 \text{ jarak elektroda} - 3.06 \text{ jenis elektroda}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	78.954	2.910	27.13	0.000	
jarak elektroda	-8.8425	0.9745	-9.07	0.003	1.000
jenis elektroda	-3.057	1.591	-1.92	0.151	1.000

S = 1.94899 R-Sq = 96.6% R-Sq(adj) = 94.4%

Analysis of Variance

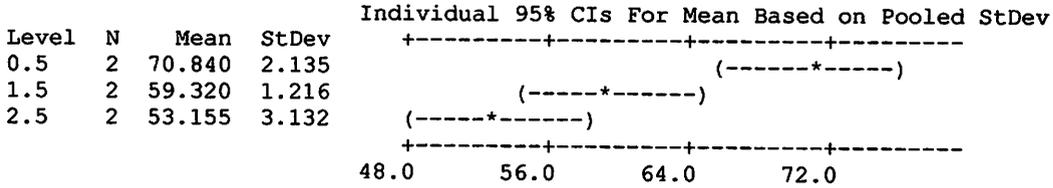
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	326.77	163.39	43.01	0.006
Residual Error	3	11.40	3.80		
Total	5	338.17			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	312.76
jenis elektroda	1	14.01

One-way ANOVA: % penyisihan versus jarak elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda	2	322.32	161.16	30.50	0.010
Error	3	15.85	5.28		
Total	5	338.17			

S = 2.299 R-Sq = 95.31% R-Sq(adj) = 92.19%

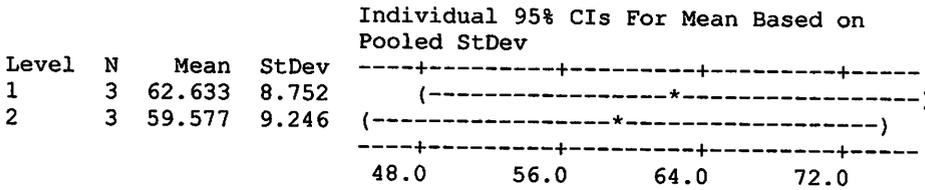


Pooled StDev = 2.299

One-way ANOVA: % penyisihan versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	14.0	14.0	0.17	0.699
Error	4	324.2	81.0		
Total	5	338.2			

S = 9.002 R-Sq = 4.14% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 9.002

Results for: Worksheet 2

Correlations: % penyisihan TSS, jarak elektroda, jenis elektroda

	% penyisihan TSS	jarak elektroda
jarak elektroda	-0.918	0.010
jenis elektroda	-0.363	0.000
	0.479	1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: % penyisihan versus jarak elektr, jenis elektr

The regression equation is

% penyisihan TSS = 87.3 - 5.96 jarak elektroda - 3.85 jenis elektroda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	87.264	1.767	49.38	0.000	
jarak elektroda	-5.9650	0.5918	-10.08	0.002	1.000
jenis elektroda	-3.8533	0.9665	-3.99	0.028	1.000

S = 1.18369 R-Sq = 97.5% R-Sq(adj) = 95.8%

Analysis of Variance

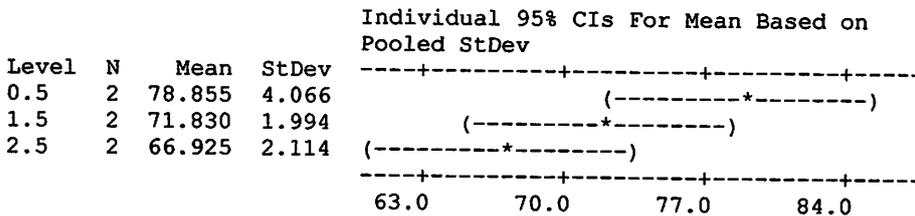
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	164.597	82.299	58.74	0.004
Residual Error	3	4.203	1.401		
Total	5	168.801			

Source	DF	Seq SS
jarak elektroda	1	142.325
jenis elektroda	1	22.272

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jarak elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jarak elektroda	2	143.82	71.91	8.64	0.057
Error	3	24.98	8.33		
Total	5	168.80			

S = 2.885 R-Sq = 85.20% R-Sq(adj) = 75.34%

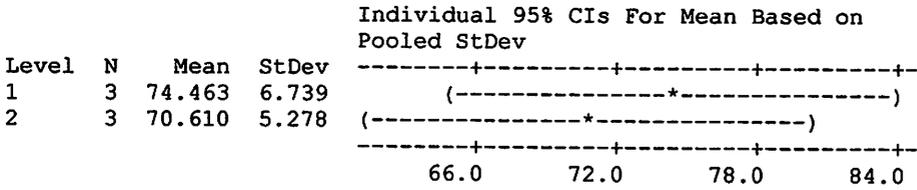


Pooled StDev = 2.885

One-way ANOVA: % penyisihan TSS versus jenis elektroda

Source	DF	SS	MS	F	P
jenis elektroda	1	22.3	22.3	0.61	0.479
Error	4	146.5	36.6		
Total	5	168.8			

S = 6.052 R-Sq = 13.19% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 6.052

Lampiran C
Dokumentasi



Gambar 1 Adaptor



Gambar 2 Regulator



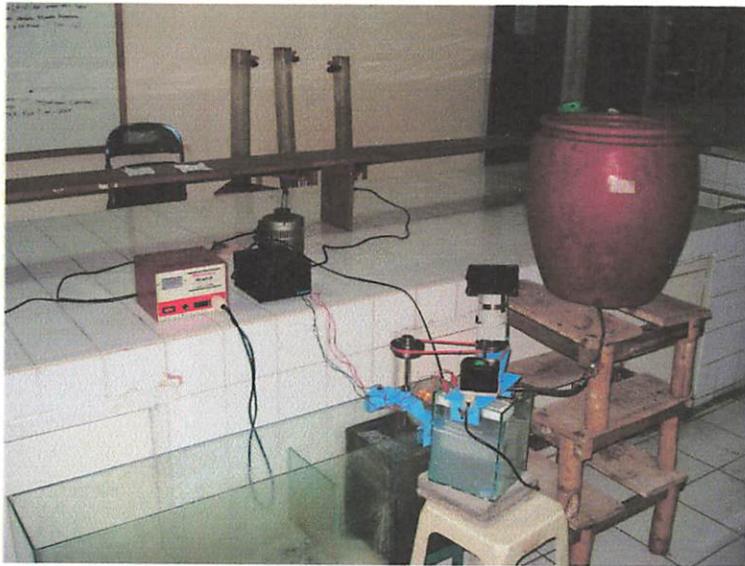
Gambar 3 Motor Pengaduk



Gambar 4 Analisis Suhu dan pH



Gambar 5 Elektroda



Gambar 6 Operasional Alat Elektrokoagulasi



ANGEL THANKS TO :

Pertama q mo ngucapin thanks to my saviour n my Lord Jesus Christ, tanpa bimbingan dan jalan dari-Nya q ndak bisa menghirup udara sampek skarang na tentunya ndak bisa nyelesaiin skripsi ini tepat waktu.



My big Family yaitu sandy family, makasi atas kasih sayangnnya sampek q sebesar ini. Terutama mama n papa makasi udah sabar mendidik q sampek q bisa seperti sekarang makasi juga atas kirimannya tiap bulan yang cukup banget n udah memeperlancar studi q di ITN Malang. CoCa, Cek Noris, EnZo, n Bli Gebol makasi atas perhatiannya ya. Ntar lagi qta bisa kumpul bareng lagi.



Deby my best prendzz, tanks udah nemenin tidur q selama 4 tahun. Hidup bareng kamu adalah hal terindah dalam hidup q. Sory q duluan pulang kampung. Semoga qta masih ada jodoh. Buat My Lovely F_F thanks y udah sabar n support angel terus.

Utuk semua my soulmate ada Ulpa, Bli Nyoman, Deny, n Debby , you're my best friend yang pernah q punya.



Smoga qta tetep jadi temen sejati ampek kakek nenek. Ntar qta certain persahabatan ke anak cucu qta. AMIN.



Temen- temen TL angkatan '05 gondes, ulpa, debby, In, Piter, Sadi tetep smangat Ya, Q pasti doain yg terbaik untuk kalian. Cahayoo!!!!

POV yang paling Q banggain, qta bisa koq meraih apapun
kalo qta mau, tetap berkarya dan Semangat !! Go Girls!!!



Temen-temen VCC “ VOX COLEISTIS CHOIR”
kalian udah q anggap keuarga kedua q. Tetep berkarya n
bekerja..Harumkan nama ITN di dunia paduan suara.

**Akhir kata Angel Cuma mo
ngucapkan makasi ya atas
semua yang udah kalian kasi
ke Angel. Angel ndak bakal
bisa ngelupain kalian. I LOVE
YOU FULL!**