

**PENURUNAN KONSENTRASI COD DAN  $C_r$  LIMBAH  
CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN  
METODE FOTOKIMIA UV/ $TiO_2$**

**Oleh:  
EVY SHOFYAH ISMAWATI  
99.26.005**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2008**

REPUBLIC OF SOUTH AFRICA  
MINISTER OF EDUCATION  
P.O. BOX 944, PRETORIA

MEMORANDUM  
TO: THE MINISTER OF EDUCATION  
FROM: THE DEPUTY MINISTER OF EDUCATION

RE: THE PROPOSED REVISION OF THE CURRICULUM FOR GRADE 10  
SCIENCE AND TECHNOLOGY  
AND THE PROPOSED REVISION OF THE CURRICULUM FOR GRADE 10  
MATHEMATICS  
DATE: 1994

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

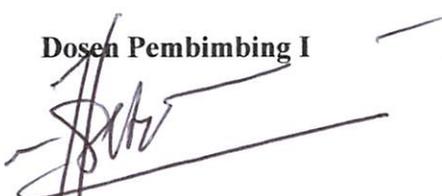
**PENURUNAN KONSENTRASI COD DAN Cr LIMBAH CAIR  
INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN METODE  
FOTOKIMIA UV/TIO<sub>2</sub>**

*Oleh:*

**Evy Shofyah Ismawati  
99.26.005**

**Menyetujui:  
Tim Pembimbing**

**Dosen Pembimbing I**

  
**DR. Ir. Hery Setyobudiarso, MSc**  
**NIP. 131965844**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Chandra Dwiratna, ST. MT**  
**NIP. P. 1030000349**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan**



  
**Sudiro, ST. MT**  
**NIP. Y. 1039900327**

**LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI**

**PENURUNAN KONSENTRASI COD DAN Cr LIMBAH CAIR  
INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN METODE  
FOTOKIMIA UV/TIO<sub>2</sub>**

*Oleh:*  
**Evy Shofyah Ismawati**  
**99.26.005**

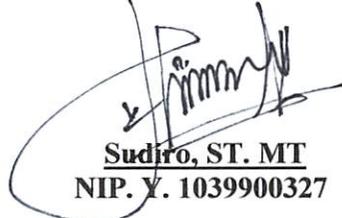
Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Tanggal 19 Maret 2008.

**Mengetahui:**  
**Panitia Ujian Komprehensif Skripsi**

**Ketua**

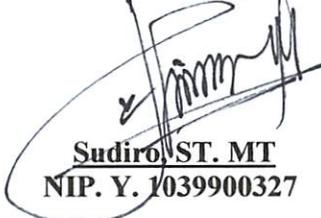
  
**Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP**  
**NIP. Y. 103900214**

**Sekretaris**

  
**Sudiro, ST. MT**  
**NIP. Y. 1039900327**

**Dewan Penguji**

**Dosen Penguji I**

  
**Sudiro, ST. MT**  
**NIP. Y. 1039900327**

**Dosen Penguji II**

  
**Tuani Lidjyawati S, ST. MT**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Penurunan Konsentrasi COD dan Cr Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit dengan Metode Fotokimia UV/TiO<sub>2</sub>”**.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama, dan bimbingan dari semua pihak, karena itu dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, Msc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
2. Ibu Chandra Dwiratna, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
3. Bapak Sudiro, ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini..
4. Ibu Tuani Lidyawati S, ST. MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
5. Ibu Anis Artiyani, ST selaku Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan.
6. Seluruh Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
7. Bapak dan Ibu Staf PT. Kasin, yang telah memberikan Informasi yang bermanfaat bagi penyusunan laporan ini.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang.

Malang, Maret 2008

*Penyusun*

## ABSTRAKSI

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit mengandung TSS, BOD, COD, pH, krom total, minyak, lemak, dan kekeruhan. Parameter krom total air buangan merupakan bahan pencemar yang cukup mengganggu karena termasuk bahan beracun dan berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan. Untuk mendapatkan kualitas air buangan yang layak dibuang ke badan air, perlu dilakukan pengolahan yang dapat menurunkan kandungan bahan pencemar sesuai dengan standart baku mutu air buangan. Pengolahan air buangan yang ada sering kali kurang efektif menurunkan konsentrasi krom karena metode yang kurang tepat sehingga tidak memberikan hasil yang diinginkan. Diperlukan suatu metode pengolahan yang praktis dan tepat untuk mengatasinya. Salah satu metode pengolahan yang dapat diterapkan adalah fotokimia UV/TiO<sub>2</sub>. Pertimbangan penggunaan proses fotokimia TiO<sub>2</sub> karena kelebihan yang dimilikinya, yaitu sifatnya yang tidak toksik dan tidak larut dalam air

Penelitian ini dilakukan dengan variasi dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l, 600 mg/l, 900 mg/l; variasi lama penyinaran 60 menit, 120 menit, 180 menit; dan variasi jarak lampu UV 10 cm, 15 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan metode fotokimia UV/TiO<sub>2</sub> dalam menurunkan konsentrasi COD dan Cr. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran, dan jarak lampu UV yang efektif dalam menurunkan konsentrasi COD dan Cr.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penyisihan COD tertinggi adalah 40,43 % dengan dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg/l, waktu penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm, sedangkan persentase penyisihan Cr tertinggi adalah 83,45 % dengan dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg/l, waktu penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm.

Kata kunci: fotokimia, UV/TiO<sub>2</sub>, konsentrasi COD dan Cr limbah cair penyamakan kulit.

## DAFTAR ISI

### LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAKSI.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v

### BAB I: PENDAHULUAN

1.1 . Latar Belakang .....	1
1.2 . Rumusan Masalah .....	2
1.3 . Tujuan Penelitian .....	2
1.4 . Ruang Lingkup Penelitian.....	3

### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Industri Penyamakan Kulit.....	4
2.1.1. Bahan baku.....	4
2.1.2. Proses produksi.....	4
2.1.3. Limbah cair industri penyamakan kulit.....	.6
2.2. Krom.....	.7
2.3. COD.....	.8
2.4. Metode Pengolahan dengan Fotokimia.....	8
2.4.1. Cahaya.....	9
2.4.1.1. Sinar <i>Ultra Violet</i> .....	10
2.4.1.2. Energi Cahaya.....	11
2.4.2. Reaksi Fotokimia .....	12
2.4.3. Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	14
2.5. Metode Pengolahan Data.....	..16

### **BAB III: METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Tempat Penelitian.....	19
3.2. Variabel Penelitian.....	19
3.3. Bahan dan Alat.....	19
3.4. Konstruksi Alat.....	21
3.5. Prosedur Penelitian.....	22
3.6. Pengolahan Data.....	23
3.7. Kerangka Penelitian.....	24

### **BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Hasil Penelitian.....	25
4.1.1. Konsentrasi Awal Limbah.....	25
4.1.2. Konsentrasi Akhir COD.....	25
A. Analisa Deskriptif.....	26
B. Analisa Faktorial.....	31
C. Analisa Korelasi.....	33
D. Analisis Regresi.....	34
4.1.2. Konsentrasi Akhir Cr.....	37
A. Analisa Deskriptif.....	37
B. Analisa Faktorial.....	42
C. Analisis Korelasi.....	44
D. Analisis Regresi.....	45
4.2. Pembahasan.....	
4.2.1. Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Penurunan Konsentrasi COD.....	49
4.2.2. Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Penurunan Konsentrasi Cr.....	53

### **BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran.....	58

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik dan Baku Mutu Limbah Cair Industri	
Penyamakan Kulit .....	6
Tabel 2.2. Sifat Kristologi Titanium Dioksida .....	15
Tabel 2.3. Koefisien Korelasi <i>Guilford</i> .....	17
Tabel 4.1. Konsentrasi Awal Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	25
Tabel 4.2. Data Konsentrasi Akhir COD .....	26
Tabel 4.3. Data Persen Removal COD.....	29
Tabel 4.4. Hasil Uji Anova untuk Analisa Faktorial	
Penurunan COD .....	31
Tabel 4.5. Korelasi Konsentrasi COD terhadap Dosis TiO <sub>2</sub> ,	
Waktu Penyinaran, dan Jarak Lampu.....	33
Tabel 4.6. Hasil Uji Regresi ANOVA.....	34
Tabel 4.7. Persamaan Regresi.....	35
Tabel 4.8. Persamaan R square .....	35
Tabel 4.9. Data Konsentrasi Akhir Cr .....	37
Tabel 4.10. Data Persen Removal Cr.....	40
Tabel 4.11. Hasil Uji ANOVA untuk Analisa Faktorial	
Penurunan Cr.....	42
Tabel 4.12. Korelasi antara Konsentrasi Cr terhadap Dosis TiO <sub>2</sub> ,	
Jarak Lampu dan Waktu Penyinaran.....	44
Tabel 4.13. Hasil Uji Regresi ANOVA Cr.....	45
Tabel 4.14. Persamaan Regresi Cr.....	46
Tabel 4.15. Persamaan R square Cr.....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pembagian Spektrum Elektromagnetik.....	10
Gambar 2.2. Pembagian Spektrum Ultraviolet.....	11
Gambar 2.3. Pengaruh Jarak terhadap Daya Radiasi.....	13
Gambar 2.4. Ilustrasi dari Persamaan Hukum Fotokimia.....	13
Gambar 3.1. Sketsa Reaktor.....	21
Gambar 3.2. Kerangka Penelitian.....	24
Gambar 4.1. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 300 mg/l .....	27
Gambar 4.2. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 600 mg/l.....	27
Gambar 4.3. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 900 mg/l.....	28
Gambar 4.4. Grafik Persentase Removal COD .....	30
Gambar 4.5. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 300 mg/l.....	38
Gambar 4.6. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 600 mg/l.....	38
Gambar 4.7. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO <sub>2</sub> 900 mg/l.....	39
Gambar 4.8. Grafik Persentase Removal Cr.....	41

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan industri akan selalu seiring dengan meningkatnya masalah pencemaran lingkungan. Air buangan industri penyamakan kulit merupakan salah satu sumber pencemar yang dapat merusak kualitas lingkungan. Parameter utama yang menunjukkan terjadinya pencemaran oleh air buangan industri penyamakan kulit adalah TSS, BOD, COD, pH, krom total, minyak, lemak, dan kekeruhan. Parameter krom total air buangan merupakan bahan pencemar yang cukup mengganggu karena termasuk bahan beracun dan berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan.

Pada industri penyamakan kulit, senyawa krom merupakan bahan penyamak kulit yang banyak digunakan. Sisa larutan penyamakan kulit yang dibuang ke lingkungan akan menambah ion logam dalam badan air. Krom merupakan salah satu bahan beracun bagi makhluk hidup dan lingkungan. Cara yang paling umum dipakai untuk mengolah air buangan industri penyamakan kulit adalah dengan penambahan zat kimia, flokulasi, serta cara-cara biologis dimana dibutuhkan biaya operasi dan pemeliharaan yang cukup mahal.

Sinar Ultra Violet (UV) biasanya dipakai untuk mensterilkan udara, air, plasma darah, dan bahan pencemar.  $\text{TiO}_2$  sering diterapkan pada teknologi *Advanced Oxidation Processes* yang berperan sebagai pengikat bahan pencemar. Penggunaan  $\text{TiO}_2$  dan sinar UV dikenal dengan metode fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$ , dimana  $\text{TiO}_2$  sebagai pereaksi dan sinar UV untuk mengaktifkannya. Fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$  telah diterapkan untuk penelitian di bidang pengolahan air buangan seperti reduksi konsentrasi sianida, penurunan kandungan tembaga pada limbah buatan, penurunan konsentrasi zat pewarna tekstil pada limbah industri, disinfeksi bakteri pada air bersih, serta fotolisis limbah deterjen.

Pertimbangan penggunaan proses fotokimia  $\text{TiO}_2$  karena kelebihan yang dimilikinya, yaitu sifatnya yang tidak toksik dan tidak larut dalam air sehingga dapat digunakan kembali (Al-Ekabi, 1993). Penggunaan fotokimia  $\text{TiO}_2$  dan sinar matahari dalam penyisihan Cu limbah buatan menghasilkan efisiensi sebesar



81,44 %, dosis  $\text{TiO}_2$  1000 mg/l, penyinaran 60 menit, dan kedalaman limbah 4 cm (Mediawati, 2005). Penyisihan COD limbah tekstil dengan metode UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  menghasilkan efisiensi 80,75 %, ketinggian limbah 2 cm, dosis  $\text{TiO}_2$  1 %, 180 menit penyinaran sinar UV (Fifiani, 2004).

## **1.2. Permasalahan**

Kandungan COD dan krom dalam limbah cair industri penyamakan kulit menjadi bahan berbahaya bagi kesehatan manusia dan dapat mencemari lingkungan, sehingga diperlukan suatu pengolahan yang baik dan tepat untuk mengatasinya. Salah satu metode pengolahan yang dapat diterapkan adalah fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$ , yaitu oksidasi fotokimia yang menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai bahan utama dan sinar UV sebagai sumber energi. Untuk itu dilakukan pengolahan limbah cair penyamakan kulit untuk mereduksi konsentrasi COD dan krom dengan fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$ .

## **1.3. Rumusan Masalah**

1. Bagaimanakah pengaruh fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$  terhadap penurunan konsentrasi COD dan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit?
2. Berapa dosis  $\text{TiO}_2$  yang dibutuhkan, lama penyinaran UV, dan jarak lampu UV terhadap limbah untuk menurunkan konsentrasi COD dan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit?
- 3.

## **1.4. Tujuan**

1. Mengetahui pengaruh fotokimia UV/ $\text{TiO}_2$  terhadap penurunan konsentrasi COD dan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit.
2. Mengetahui dosis  $\text{TiO}_2$  yang dibutuhkan, lama penyinaran UV, dan jarak lampu UV terhadap limbah untuk menurunkan konsentrasi COD dan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit.

### **1.5. Ruang Lingkup**

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampel yang digunakan adalah limbah cair industri penyamakan kulit.
3. Proses yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah sistem *batch*.
4. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:
  - a. Variasi dosis TiO<sub>2</sub>; 300 mg/l, 600 mg/l, dan 900 mg/l.
  - b. Variasi lama penyinaran UV: 60 menit, 120 menit, dan 180 menit.
  - c. Variasi jarak lampu UV terhadap limbah: 10 cm dan 5 cm.
5. Parameter yang diukur adalah konsentrasi COD dan Cr.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi atau kulit tersamak dengan menggunakan bahan penyamak pada proses penyamakan.

##### 2.1.1. Bahan baku

Untuk kelangsungan proses produksi hingga menghasilkan produk secara kontinyu pada industri penyamakan kulit diperlukan bahan baku dan bahan pembantu yang mendukung proses tersebut. Bahan baku utama dalam industri penyamakan kulit adalah kulit mentah. Sedangkan bahan pembantu yang dibutuhkan pada setiap proses produksi meliputi:

- Proses *soaking* (perendaman): racun kulit untuk mengeluarkan kandungan garam, *degreasing* sebagai pelarut lemak, dan air.
- Proses *liming* (pengapuran): air, *degreasing*,  $\text{Na}_2\text{S}$ , kapur, soda ash.
- Proses *deliming/bating* (pembuangan kapur dan pelemasan): air  $\text{Zn}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , oropon, *degreasing*.
- Proses *pickling* (penggaraman): air, garam,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
- Proses *tanning* (penyamakan): tepung, soda ash, kromium.
- Proses *pretanning: quebraco* (merupakan bobokan dari kulit acacia).

##### 2.1.2. Proses produksi

Dalam industri penyamakan kulit, ada tiga tahapan pokok proses produksi, yaitu:

- Proses Pengerjaan Basah (*Beam House*), proses ini meliputi beberapa tahap, yaitu:
  1. Perendaman (*Soaking*): dilakukan untuk mengembalikan sifat-sifat kulit seperti keadaan semula serta mengeluarkan kandungan garam.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Industri Panyamakan Kulit

Industri panyamakan kulit adalah salah satu industri yang tergolong kulit mentah menjadi kulit jadi atau kulit teranak dengan menggunakan bahan panyamak pada proses panyamakan.

#### 2.1.1. Bahan baku

Untuk kelengkapan proses produksi hingga menghasilkan produk secara kontinyu pada industri panyamakan kulit diperlukan bahan baku dan bahan pembantu yang mendukung proses tersebut. Bahan baku utama dalam industri panyamakan kulit adalah kulit mentah. Sedangkan bahan pembantu yang dibutuhkan pada setiap proses produksi meliputi:

- Proses sylvik (perendaman): menaruh kulit untuk mengeluarkan kandungan garam, khususnya sebagai bahan lemak dan air.
- Proses kuring (pengapuran): air degreasing, Na<sub>2</sub>S, kapur, soda ash.
- Proses debanying/pelung (pembuangan kapur dan belerang): air Na<sub>2</sub>HSO<sub>3</sub>, etopon, degreasing.
- Proses sylvik (pengapuran): air garam, HCOOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Proses kuring (panyamakan): tepung, soda ash, kromium.
- Proses panyamak/padawa (menyamakan bobot dan kulit menjadi).

#### 2.1.2. Proses produksi

Dalam industri panyamakan kulit ada tiga tahapan pokok proses produksi yaitu:

- Proses pengapuran Basah (Kapur/Wet): proses ini meliputi beberapa tahap yaitu:
  1. Perendaman (Sylvik): dilakukan untuk mengeluarkan sifit-sifit kulit seperti kalsium serta mengeluarkan kandungan garam.

2. Pengapuran (*Liming*): menghilangkan bulu dan kelenjar minyak, menghilangkan zat-zat kulit yang tidak diperlukan, serta menghilangkan semua zat-zat yang bukan *kolagen*.
  3. Pembelahan (*Splitting*): proses pembelahan kulit yang dikerjakan dengan mesin split menjadi dua, lapisan atas yang mempunyai kualitas lebih baik daripada lapisan di bawahnya.
  4. Pembuangan kapur (*Deliming*): proses pembuangan kadar kapur dalam kulit dan menghilangkan pembengkakan pada kulit sehingga menjadi lemas.
  5. *Bating*: Proses ini bertujuan untuk membersihkan kulit.
  6. Pengasaman: proses ini bertujuan untuk mengasamkan kulit agar berada pada kondisi pH 3-3,5, menghilangkan sisa kapur yang masih tertinggal, menghilangkan noda-noda besi yang diakibatkan oleh  $\text{Na}_2\text{S}$  dalam pengapuran agar kulit menjadi putih bersih.
- Proses Penyamakan (*Tanning*)  
 Proses penyamakan disesuaikan dengan jenis kulit. Proses penyamakan ini bertujuan untuk memberi warna coklat atau kemerahan, bersifat kaku, dan untuk menghasilkan kulit yang lemas dan tahan terhadap panas.  
 Ditinjau dari bahan penyamak yang digunakan ada beberapa macam penyamakan, yaitu:
    1. Penyamakan Nabati: bahan penyamak nabati yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengandung bahan penyamak misalnya kulit atau biji akasia, sagawe, tangguli, mahoni, eikien, gambir, teh, manggis, dan lain-lain.
    2. Penyamakan Mineral: jenis penyamakan yang menggunakan bahan penyamak mineral, yaitu krom.
    3. Penyamakan Minyak: penyamakan yang menggunakan bahan penyamak yang berasal dari minyak ikan hiu yang biasanya disebut minyak kasar.

2. Pengapuran (Limeing): menggunakan batu dan kelentur minyak menggunakan zat-zat kulit yang tidak diperlukan serta menggunakan zat-zat yang tidak berguna.

3. Pembubunan (Limeing): proses pembubunan kulit yang dilakukan dengan mesin agit menjadi dua lapisan atas yang mempunyai kualitas lebih baik daripada lapisan di bawahnya.

4. Pembuatan kapur (Limeing): proses pembuatan kapur dalam kulit dan menggunakan pembungkusan pada kulit sehingga menjadi lemas.

5. Giling: proses ini bertujuan untuk membersihkan kulit.  
6. Pengasaman: proses ini bertujuan untuk mengasamkan kulit agar berbeda pada kondisi pH 2-3.3. menggunakan sisa kapur yang masih terdapat, menggunakan soda-soda besi yang dikubakkan oleh Na<sub>2</sub>S dalam pengapuran agar kulit menjadi putih bersih.

Proses Penyamakan (Tanning)

Proses penyamakan dilaksanakan dengan jenis kulit. Proses penyamakan ini bertujuan untuk membuat warna coklat atau kemerahan, bersih, kaku dan untuk mengkilatkan kulit yang lemas dan tahan terhadap panas. Ditinjau dari bahan penyamak yang digunakan ada beberapa macam penyamakan yaitu:

1. Penyamakan Nabati: bahan penyamak nabati yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengandung bahan penyamak misalnya kulit dan biji *Styria sagitta*, gambir, mahoni, ektis, gambir, teh, manggis dan lain-lain.

2. Penyamakan Mineral: jenis penyamakan yang menggunakan bahan penyamak mineral yaitu krom.

3. Penyamakan Minyak: penyamakan yang menggunakan bahan penyamak yang berasal dari minyak ikan dan minyak binatang disebut minyak kasar.

- Proses Penyelesaian (*Finishing*)

Proses ini bertujuan untuk menyempurnakan penampilan kulit jadi, memperkuat warna dasar kulit, mengkilapkan, menghaluskan, menutup cat atau warna dasar yang tidak rata.

### 2.1.3. Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah salah satu industri yang juga mencemari lingkungan dimana beberapa dari parameter yang ada dalam air limbah tidak sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan oleh pemerintah seperti yang sudah tercantum dalam SK Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002, seperti pada table berikut:

**Tabel 2.1. Karakteristik dan Baku Mutu Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit**

Hasil Uji Laboratorium		Volume Limbah Cair Maksimum Per Satuan Bahan Baku 50 M <sup>3</sup> /Ton Bahan Baku Kulit Kering Proses Lengkap 30 M <sup>3</sup> /Ton Bahan Baku Kulit Kering Sampai Proses Wet Blue 20 M <sup>3</sup> /Ton Bahan Baku Kulit Wet Blue Sampai Proses Jadi			
Parameter	Kadar (mg/l)	Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)		
			Proses Lengkap	Sampai Wet Blue	Bahan Baku Wet Blue
BOD <sub>5</sub>	84	BOD <sub>5</sub>	100	100	75
COD	197	COD	250	250	200
TSS	41	TSS	100	100	75
Cr (Chrom) total	0,5	Cr (Chrom) total	0,5	0,5	0,3
Minyak & Lemak	0,0	Minyak & Lemak	5	5	3
NH <sub>3</sub> -N (ammonia total)	86,5	NH <sub>3</sub> -N (ammonia total)	10	10	5
Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0,0	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0,8	0,8	0,5
		pH		6-9	

(Sumber: SK Gubernur Jawa Timur)

Proses pengolahan (Wastewater) Proses ini bertujuan untuk menyempurnakan pengolahan limbah. Setelah itu, air limbah yang tidak layak akan segera dimasukkan ke dalam saluran pembuangan.

### 2.1.3. Limbah Cair Industri Kertas

Industri pengolahan kertas adalah salah satu industri yang juga menghasilkan limbah yang berbahaya dan beracun yang ada dalam air limbah tidak sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan oleh pemerintah seperti yang sudah tercantum dalam SK (Surat Keputusan) Menteri No. 43 tahun 2002, seperti pada

table berikut:

Table 2.1. Karakteristik dan Baku Mutu Limbah Cair Industri

#### Pengolahan Kertas

Parameter	Konsentrasi (mg/l)	Parameter	Klasifikasi (mg/l)	
			Domestik	Industri
BOD <sub>5</sub>	84	BOD <sub>5</sub>	100	100
COD	103	COD	250	300
TSS	41	TSS	100	75
Cl (Chlorine total)	0.2	Cl (Chlorine total)	0.2	0.3
Mg <sup>2+</sup> & Fe <sup>2+</sup>	0.0	Mg <sup>2+</sup> & Fe <sup>2+</sup>	2	3
NH <sub>3</sub> -N (ammonia total)	30.2	NH <sub>3</sub> -N (ammonia total)	10	2
Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0.0	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0.2	0.2
		pH	6-9	

(Sumber: SK Gubernur Jawa Timur)

## 2.2. Krom (Cr)

Logam krom digunakan dalam industri penyamakan kulit sebagai zat penyamak. Industri yang menggunakan proses krom tanning menghasilkan limbah cair yang mengandung krom. Senyawa krom yang dihasilkan dari limbah penyamakan kulit adalah krom bervalensi tiga. Limbah cair maupun lumpur yang mengandung krom trivalent ini dapat membahayakan lingkungan karena krom trivalent dapat berubah menjadi krom heksavalent pada kondisi basa yang merupakan limbah B3 yang dapat membahayakan kesehatan.

Ion krom (II) atau khroma ( $\text{Cr}^{2+}$ ) diturunkan dari chromium (I) yang merupakan larutan berwarna biru. Ion chromium kurang stabil karena merupakan zat pereaksi yang kuat, bahkan dapat menguraikan air perlahan-lahan dengan membentuk hidrogen. Oksigen dari atmosfer dengan mudah mengoksidasinya menjadi chromium (II). Ion chromium (III) bersifat stabil dan diturunkan dari dichromium trioksida atau chromium trioksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dalam larutan ion ini berwarna hijau.

Cr sebagai mikronutrien dibutuhkan oleh manusia sedikitnya  $10\mu$  per hari. Cr (VI) merupakan bahan baku utama pada industri electroplating serta proses tanning pada industri penyamakan kulit serta bahan pewarna sintesis pada industri tekstil.

Sebagai logam berat krom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun tersebut ditentukan oleh variasi ionnya. Krom sangat toksik dalam bentuk Cr (VI) daripada Cr (III). Terakumulasinya krom dalam tubuh dapat merusak organ-organ tubuh seperti hati, ginjal, dan dapat menghambat kerja enzim dan bersifat karsinogenik, (Palar Haryando, 1994).

Ambang batas Cr dalam air limbah golongan I adalah  $0,05 \text{ mg/g}$ . Menurut US Public Health Service, kehadiran ion krom pada batas ini dapat ditoleransi oleh manusia tanpa memberi efek berbahaya terhadap kesehatan, tetapi kita tahu bahwa krom merupakan bahan karsinogenik yang perlu diwaspadai.

### 2.3. Chemical Oxygen Demand (COD)

*Chemical Oxygen Demand*/kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air secara kimiawi, dimana pengoksidasi  $K_2Cr_2O_7$  digunakan sebagai sumber oksigen. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

Prinsip analisa COD adalah mengoksidasi sebagian besar zat organik oleh larutan  $K_2Cr_2O_7$  dalam keadaan asam yang mendidih, dengan reaksi sebagai berikut:



### 2.4. Metode Pengolahan dengan Fotokimia

Degradasi fotokimia COD mengikuti mekanisme reaksi berikut:



Beberapa penelitian telah dilakukan dalam rangka menangani limbah cair industri penyamakan kulit. Pengujian kemampuan kayu api untuk degradasi krom dan BOD (Irwan, 2005). Hasil penelitian menunjukkan kayu api dengan penambahan nutrisi dan aerasi menurunkan Cr 70,40 % dan BOD 77,54 % dimana variasi nutrisi dan aerasi optimum masing-masing sebesar 1,5 gr dan 0,075 kg/h.

Pengolahan limbah penyamakan kulit dengan menguji efektifitas serbuk gergaji kayu jati untuk reduksi Cr (Indah, 2005). Pengolahan dilakukan dalam sebuah pipa yang diisi dengan serbuk gergaji teraktivasi HCl 0,4 N. Variasi diameter 16 dan 30 mesh sebagai media adsorpsi. Prosentase penurunan Cr yang terjadi sebesar 46,60 % dengan debit limbah 60 ml/menit, diameter optimum 30 mesh, dan ketinggian media adsorpsi 70 cm.

Berdasarkan penelitian fotokimia UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mereduksi warna limbah tekstil Meria (2004). Variasi jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dan ketinggian air limbah 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dalam reactor kaca. Hasil percobaan

menunjukkan prosentase reduksi tertinggi sebesar 99,20 % terjadi pada jarak lampu 10 cm selama 180 menit penyinaran dan ketinggian air limbah 2 cm.

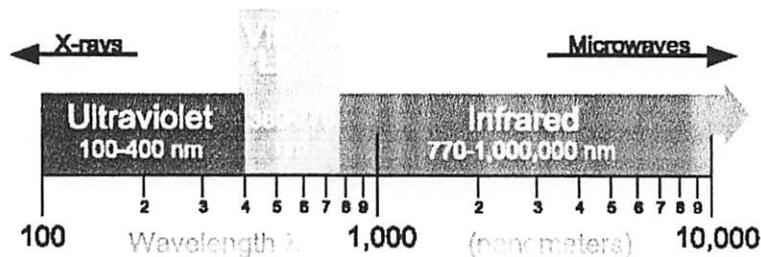
Penelitian fotoreduksi kromium limbah buatan dengan UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oleh Yuliani (2003) menunjukkan bahwa terjadi penurunan sebanyak 60 % dalam 300 menit proses fotokatalisis. Penelitian lain untuk reduksi Cr juga dilakukan Chen dan Ray (2001). Dengan membandingkan dosis katalis TiO<sub>2</sub> 1200 mg/l dan 2000 mg/l. Untuk konsentrasi awal Cr 25 mg/l terjadi reduksi 91,7 % dan untuk konsentrasi awal Cr 50 mg/l terjadi reduksi sebesar 94,3 %.

Penggunaan fotokimia TiO<sub>2</sub> dan sinar matahari dalam penyisihan Cu limbah buatan menghasilkan efisiensi sebesar 81,44 %, dosis TiO<sub>2</sub> 1000 mg/l, penyinaran 60 menit, dan kedalaman limbah 4 cm (Mediawati, 2005).

#### 2.4.1. Cahaya

Cahaya adalah salah satu bagian dari berbagai macam gelombang elektromagnetik yang melintasi angkasa. Spektrum elektromagnetik mencakup rentang yang sangat luas, mulai dari gelombang radio dengan panjang gelombang 1 meter atau lebih sampai sinar x yang mempunyai panjang gelombang sampai jutaan meter. Radiasi cahaya ini membentang antara spektrum gelombang radio dan sinar x, memperlihatkan campuran sinar unik, gelombang dan sifat kuantum (Ryer, 1998).

Seperti semua gelombang elektromagnetik, gelombang cahaya bisa tercampur dengan lainnya menjadi terpolarisasi secara langsung dan dibelokkan pada saat melewati tepian.



**Gambar 2.1. Pembagian Spektrum Elektromagnetik**

(Sumber : Ryer, 1998)

### 2.4.1.1. Sinar *Ultra Violet* (UV)

Sinar *Ultra violet* mempunyai panjang gelombang pendek yang memperlihatkan sifat-sifat kuantum yang lebih daripada cahaya tampak dan infra merah. Berdasarkan efek yang dapat ditimbulkan, *ultra violet* dapat dibagi menjadi :

#### 1. UV-C

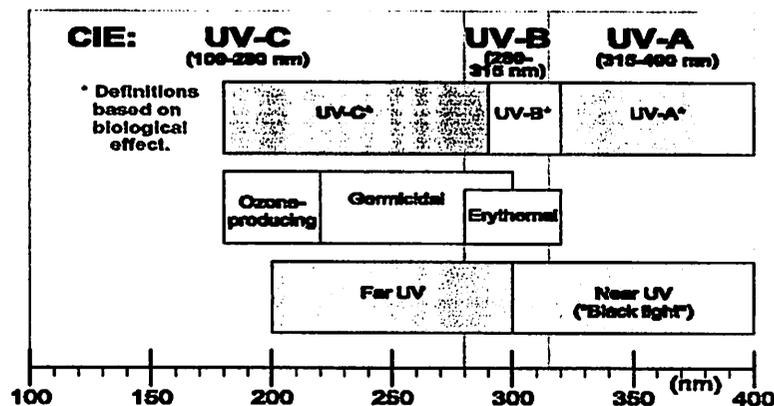
UV-C ini mempunyai panjang gelombang ( $\lambda$ ) 100 nm-280 nm. UV-C di udara dapat diserap hampir sempurna dalam beberapa ratus meter. Ketika *foton* UV-C bertabrakan dengan atom O<sub>2</sub>, perubahan energi yang terjadi dapat menyebabkan terbentuknya ozon. UV-C hampir tidak ditemukan di alam karena dapat dengan cepat diserap.

#### 2. UV-B

UV-B ini mempunyai panjang gelombang ( $\lambda$ ) 280 nm-315 nm. UV-B merupakan jenis UV paling destruktif karena mempunyai cukup energi untuk membunuh jaringan yang bersifat biologi. Sebagian besar UV-B ditahan oleh atmosfer, perubahan yang terjadi pada lapisan *ozon* hanya sedikit saja sehingga dapat meningkatkan bahaya dari kanker kulit.

#### 3. UV-A

UV-A ini mempunyai panjang gelombang ( $\lambda$ ) 315 nm - 400 nm. Tingkat bahaya dari UV-A ini adalah yang paling rendah dan merupakan tipe UV yang biasa ditemukan. UV-A biasa disebut dengan *black light* dan pada umumnya digunakan dalam fototerapi.



Gambar 2.2. Pembagian Spektrum Ultraviolet

(Sumber : Ryer, 1998)

#### 2.4.1.2. Energi Cahaya

Suatu reaksi fotokimia menyangkut reaksi absorpsi radiasi elektromagnetik oleh satu molekul. Energi absorpsi terjadi dalam beberapa langkah dimana setiap langkah sesuai dengan absorpsi dari satu quanta energi (*foton*).

Besarnya energi suatu radiasi cahaya merupakan fungsi dari jumlah foton dan panjang gelombang dimana setiap foton membawa energi tertentu sesuai dengan persamaan *Planck* berikut :

$$Q = hc / \lambda$$

Dimana:

$h$  = Konstanta *Planck* ( $6,623 \cdot 10^{-34}$  J.detik)

$c$  = Kecepatan cahaya ( $2,998 \cdot 10^8$  m/detik)

$\lambda$  = Panjang gelombang radiasi (meter)

Dalam radiometri, bila daya yang dipancarkan mengenai suatu luasan area tertentu maka daya tersebut memiliki kepadatan daya per satuan luas yang disebut *flux density* dan dalam pengukuran pada detektor, kerapatan ini disebut *irradiance* atau radiasi pancaran (*radiant emittance*). Besarnya *flux density* ini akan turun dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi, yang besarnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$H_e = \frac{\Phi_e}{4\pi R^2}$$

Dimana:

$H_e$  = Radiometric *flux density* ( $\text{w}/\text{cm}^2$ )

$\Phi_e$  = Daya radiasi (*watt*)

$R$  = Jarak dari sumber radiasi (cm)

Telah dijelaskan bahwa intensitas berpengaruh pada radiasi yang dipancarkan. Dalam hal ini intensitas radiasi adalah besarnya kerapatan flux (*flux density*) per satuan *solid angle*. Solid angle ( $\omega$ ) merupakan prosentase atau ratio permukaan area dalam batas luasan tertentu dengan luas imajiner, yang diukur dalam steradian (sr). Secara umum persamaan untuk intensitas adalah:

$$I_e = \frac{\Phi_{e1}}{\omega}$$

Dimana :

$I_e$  = Intensitas radiasi (*watt/steradian, w/sr*)

$\Phi_e$  = Daya yang dipancarkan (*watt*)

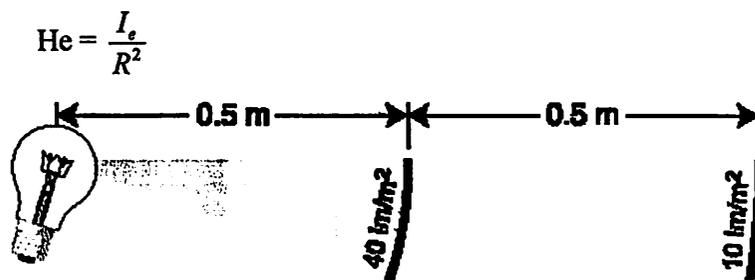
$\omega$  = *Solid angle* (steradian, sr)

$$\omega = \frac{A}{R^2}$$

Dimana: A = Luas section

R = Jari-jari *sphere*

Dari persamaan diatas, didapat hubungan antara *irradiance* dengan intensitas radiasi berikut:

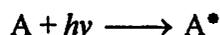


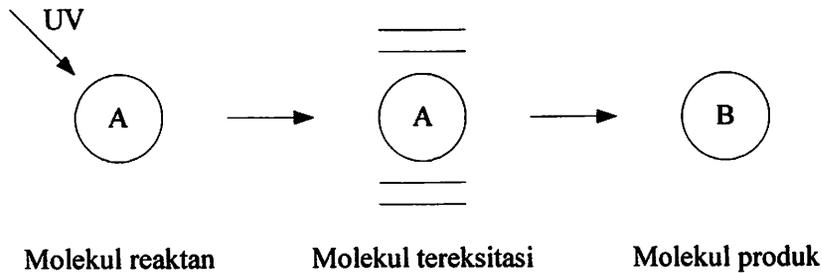
**Gambar 2.3. Pengaruh Jarak terhadap Daya Radiasi**

#### 2.4.2. Reaksi Fotokimia

Cahaya yang jatuh pada suatu sistem dapat dipindahkan, dihamburkan atau diserap. Lebih dari satu abad yang lalu, Grotus (1517) dan Drapper (1843) menyatakan bahwa cahaya yang diserap oleh suatu molekul dapat menimbulkan perubahan kimia. Pernyataan inilah yang kemudian dikenal sebagai Hukum I Fotokimia. Sekalipun hukum ini tampak jelas, namun tidak dijelaskan secara nyata suatu reaksi dalam fotokimia, yaitu radiasi yang tidak diserap dapat mendorong molekul tereksitasi dan memancarkan cahaya.

Hukum II Fotokimia menurut Stark, Einstein dan Bodenstern (1905) (Kirk dan Othmer, 1982) menyatakan bahwa molekul menjadi teraktifkan bila menyerap satu kuantum radiasi cahaya masuk.





**Gambar 2.4. Ilustrasi dari Persamaan Hukum Fotokimia**

*(Sumber : B.S. Bahl, 1997 dalam Fujilestari, 2006)*

Dalam perkembangannya terdapat berbagai macam reaktor fotokimia, diantaranya adalah reaktor batch, reaktor kontinyu, reaktor bertekanan tinggi, dan reaktor pebble-bed.

Pada penelitian ini akan dipakai reaktor batch. Tipikal dari reaktor ini biasanya adalah suatu wadah dengan luasan tertentu (umumnya terbuat dari kaca), yang di dalamnya diisi dengan reaktan, suatu alat pengaduk, serta ada sumber cahaya.

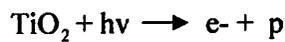
Sumber cahaya biasanya digantung pada penutup wadah. Yang perlu diperhatikan adalah pengaturan letak sumber cahaya (lampu). Lampu harus diletakkan sedekat mungkin untuk menghindari “ruang mati”, dimana cahaya tidak sampai pada reaktan, tetapi sejauh mungkin terpisah untuk menjamin penyerapan cahaya yang jatuh secara utuh (*Kirk dan Othmer, 1982*).

Parameter-parameter yang harus diperhatikan agar proses fotokimia berlangsung optimal adalah:

- o Permukaan sumber cahaya
- o Distribusi sinar yang digunakan
- o Besarnya listrik sumber cahaya dan sumber tenaga
- o Volume reaktor fotokimia
- o Volume total limbah yang diolah
- o Detail prosedur analisa dan hasil analisa termasuk blanko percobaan dan kalibrasi peralatan.

### 2.4.3. Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)

TiO<sub>2</sub> merupakan senyawa alam yang memiliki konduktivitas listrik di antara logam dan isolator atau dapat pula dikatakan bahwa TiO<sub>2</sub> memiliki sifat semikonduktor. TiO<sub>2</sub> memiliki energi celah 3,2 eV yang memungkinkan untuk digunakan sebagai oksidator dalam proses reduksi fotokimia. Setelah dilakukan penyinaran pada permukaan semikonduktor TiO<sub>2</sub> oleh cahaya dengan energi yang lebih besar dari pada band gap semikonduktor tersebut, maka akan terjadi perpindahan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi sehingga menghasilkan pasangan elektron dan hole. Hal ini dinyatakan sebagai berikut:



Kelebihan dari penggunaan TiO<sub>2</sub> adalah:

- Tidak larut dalam air.
- Lebih efektif dengan adanya penyinaran.
- Secara kimia lebih stabil.
- Tidak berbahaya bagi lingkungan (tidak toksik dalam air).
- Mudah didapat di alam.
- Dapat digunakan kembali.

Berdasarkan bentuk kristalnya,  $\text{TiO}_2$  yang terdapat di alam dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu anatase, rutile, brookite. Ketiga bentuk kristal ini pada umumnya memiliki kemurnian yang cukup tinggi. Ketidakmurnian dalam kristal ini sering disebabkan oleh adanya pengotor berupa besi, khrom, ataupun vanadium. Adanya pengotor ini menyebabkan warna kristal menjadi gelap. Secara ringkas, sifat-sifat kristologi dari ketiga kristal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Sifat Kristologi Titanium Dioksida**

Sifat	Anatase	Rutile	Brookite
Struktur kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthorhombik
Densitas	3,9 g/ml	4,23 g/ml	4,0 g/ml
Kekerasan	5,5 - 6,0	7,0 - 7,5	5,5 - 6,0

Sumber: Rio & Masamori, 1982

Dalam penelitian ini digunakan  $\text{TiO}_2$  dengan bentuk kristal anatase karena struktur ini paling stabil, memiliki luas permukaan paling besar serta paling banyak terdapat di alam. Hasil analisa dengan sinar X menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  yang ada di alam kebanyakan dari struktur anatase karena merupakan struktur paling stabil di antara ketiganya. Spesifikasi dari struktur  $\text{TiO}_2$  anatase adalah sebagai berikut:

- Area spesifik =  $\pm 38 \text{ m}^2/\text{g}$
- Diameter partikel rata-rata =  $0,78 \mu\text{m}$
- Densitas =  $3,9 \text{ g/ml}$

## 2.5. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisa, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisis konfirmatif (Soleh, 2005).

### 2.5.1 Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskriptifkan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya, tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Statistik deskriptif memberikan informasi secara visual dan lebih bersifat subjektif dalam pembuatan analisisnya. (Soleh, 2005). Berikut ini adalah beberapa rumus yang biasa digunakan dalam statistik deskriptif (Sudjana, 2002).

### 2.5.2 Statistik Inferensi

Statistik inferensi mencakup semua metode yang berhubungan dengan analisis data untuk kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan (Soleh, 2005). Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih objektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang ditunjang dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengukuran. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut.

#### 1. Analisa korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel digunakan analisa korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan, terutama untuk data kuantitatif, dinamakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan, meliputi kekuatan hubungan dan bentuk/arrah hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup  $(-1, 1)$ . Untuk membaca besarnya derajat keeratan dari hubungan terdapat dua hal yang harus diperhatikan, yakni:

- ~ Lihat tanda dari derajat keeratan tersebut, positif atau negatif. Hubungan statisiska kedua peubah akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang bertolak belakang dengan peubah lainnya. Atau dengan kata lain apabila nilai suatu pengubah membesar maka nilai pengubah lainnya

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang penting untuk mengolah data, perkembangan metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk statistik dan penyajian variabel yang dihasilkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisis konvensional (Solih, 2002).

2.2.1. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menggambarkan data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Statistik deskriptif memberikan informasi secara visual dan lebih bersifat subjektif dalam pembuatan analisisnya (Solih, 2002). Berikut ini adalah beberapa rumus yang biasa digunakan dalam statistik deskriptif (Solih, 2002).

2.2.2. Statistik Inferensi

Statistik inferensi mencakup semua metode yang berhubungan dengan analisis data untuk kemudian sampai pada penarikan dan pembuatan kesimpulan (Solih, 2002). Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih objektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang dituntut dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengujian. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut.

1. Analisis korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel digunakan analisis korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan, terutama untuk data kuantitatif, dinamakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan negatif, ketepatan hubungan dan bentuknya hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup (-1, 1). Untuk mengetahui besarnya derajat ketepatan dan hubungan terdapat dan hal yang harus diperhatikan yakni:

- Nilai tanda dari derajat ketepatan tersebut positif dan negatif. Hubungan statistika kedua variabel akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang berlawanan dengan bentuk lainnya. Atau dengan kata lain apabila nilai suatu pengujian menunjukkan maka nilai pengujian lainnya

mengecil. Sedangkan hubungan statistika kedua pengubah akan bernilai positif jika hubungan kedua peubah searah atau dengan kata lain apabila satu pengubah membesar maka nilai peubah yang lainnya ikut membesar, dan sebaliknya.

- ~ Lihat besarnya nilai derajat keeratan. Untuk membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statistika dua pengubah menurut *Guilford* berikut ini:

**Tabel 2.3. Koefisien Korelasi *Guilford***

Nilai Hubungan Statistika dua Peubah	Keterangan
< 0,2	Tidak terdapat hubungan antara kedua peubah
Antara 0,2 s/d 0,4	Hubungan kedua peubah lemah
Antara 0,4 s/d 0,7	Hubungan kedua peubah sedang
Antara 0,7 s/d 0,9	Hubungan kedua peubah kuat
Antara 0,9 s/d 1	Hubungan kedua peubah sangat kuat

(Sumber: Soleh, 2005)

Sebagai catatan penting, nilai hubungan statistika dua peubah sama dengan '1' memiliki makna bahwa terdapat hubungan yang sempurna antara kedua peubah. Atau dengan kata lain, nilai suatu peubah dapat dengan tepat/pasti dijelaskan oleh peubah yang lainnya. Lain halnya dengan nilai statistika dua peubah sama dengan '0' menunjukkan tidak adanya hubungan diantara kedua peubah (Soleh, 2005)

Untuk keperluan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan sekumpulan data berukuran n dapat digunakan rumus (Sudjana, 2002):

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}}$$

dimana:

- $r$  = koefisien korelasi
- $x_i$  = variabel bebas
- $y_i$  = variabel terikat
- $n$  = jumlah data

mengetahui. Sedangkan hubungan statistik kedua pengubah akan menjadi positif jika hubungan kedua pengubah secara umum akan menunjukkan arah yang sama. Sedangkan sebaliknya.

Untuk besarnya nilai derajat koefisien Untuk besarnya nilai dari derajat koefisien dapat digunakan klasifikasi hubungan statistik dan pengubah menurut (Gujarati, 2007) berikut ini:

Tabel 2.3. Klasifikasi Koefisien Korelasi (Gujarati, 2007)

Keterangan	Nilai hubungan statistik dan koefisien
Tidak terdapat hubungan antara kedua pengubah	$> 0.2$
Hubungan kedua pengubah lemah	Antara 0.2 dan 0.4
Hubungan kedua pengubah sedang	Antara 0.4 dan 0.7
Hubungan kedua pengubah kuat	Antara 0.7 dan 0.9
Hubungan kedua pengubah sangat kuat	Antara 0.9 dan 1

(Sumber: Gujarati, 2007)

Sebagai contoh, jika nilai hubungan statistik dan pengubah secara umum 0,7, memiliki makna bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kedua pengubah. Atau dengan kata lain, nilai suatu pengubah dapat dengan tepat/pasti diprediksi oleh pengubah yang lainnya. Lain halnya dengan nilai statistik dan pengubah sama dengan 0, menunjukkan tidak adanya hubungan diantara kedua pengubah (Gujarati, 2007).

Untuk keperluan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan sekumpulan

data tersebut dapat digunakan rumus (Gujarati, 2007):

$$r = \frac{\sum(XY) - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{(\sum X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}} \sqrt{(\sum Y^2) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}}$$

dimana:

- $n$  = koefisien korelasi
- $x$  = variabel bebas
- $y$  = variabel terikat
- $\sum$  = jumlah data

## 2. Analisa Regresi

Analisa regresi adalah suatu analisa untuk menyatakan hubungan fungsional antara variabel–variabel ke dalam bentuk persamaan matematis. Untuk analisis regresi akan dibedakan dua jenis variabel ialah variabel bebas atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Pembuatan persamaan matematis dimaksudkan untuk membantu peneliti didalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas/terikat, bahkan biasanya digunakan untuk memprediksikan kondisi masa yang akan datang. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + kX_z$$

dimana:

$Y$  = variabel terikat

$a$  = konstanta

$b$  = koefisien regresi

$X_1$  = variabel bebas

Pada analisa regresi juga diperlukan beberapa pengujian yaitu:

- Uji F yang digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi bisa dipakai untuk memprediksi variabel terikat.
- Uji t digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien konstanta dan variabel bebas.

## 3. Analisa Varian

Pengujian menggunakan analisa varian dalam statistika parametrik di antara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan, dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Varian* (ANOVA).

### 2. Analisis Regresi

Analisis regresi adalah suatu analisis untuk menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel ke dalam bentuk persamaan matematis. Untuk analisis regresi akan dibedakan dua jenis variabel ialah variabel bebas dan variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Pembuatan persamaan matematis dimaksudkan untuk membantu peneliti didalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel-variabel dengan variabel tak bebas/terikat, bahkan biasanya digunakan untuk memprediksikan kondisi masa yang akan datang. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + kX_n$$

dimana:

- $Y$  = variabel terikat
- $a$  = konstanta
- $b$  = koefisien regresi
- $X_1$  = variabel bebas

Pada analisa regresi juga diberikan beberapa pengertian yaitu:

- Uji F yang digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi bisa dipakai untuk memprediksi variabel terikat.
- Uji t digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien konstanta dan variabel bebas.

### 3. Analisis Varian

Regresi menggunakan analisis varian dalam statistika parametrik di antara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan. dilakukan dengan menggunakan analisis of variance (ANOVA).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat Penelitian**

Penelitian ini diadakan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Malang.

#### **3.2. Variabel Penelitian**

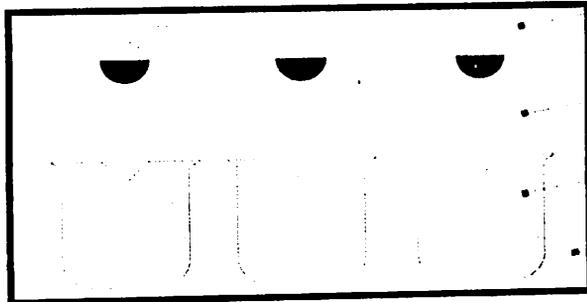
- ✓ Variabel tetap:
  - Volume sampel: 130 ml
  - Ketinggian sampel: 4 cm
- ✓ Variabel terikat:
  - Penurunan konsentrasi COD
  - Penurunan konsentrasi krom
- ✓ Variabel bebas:
  - Variasi dosis  $\text{TiO}_2$ : 300 mg/l, 600 mg/l, dan 900 mg/l.
  - Variasi lama penyinaran UV: 60 menit, 120 menit, dan 180 menit.
  - Variasi jarak limbah terhadap lampu UV: 10 cm, dan 15 cm

#### **3.3. Bahan dan Alat**

##### **Alat:**

- ✓ Reaktor: kotak kedap cahaya, beker glass diameter 7 cm (250 ml), lampu ultra violet (UV) 10 watt.
- ✓ Gelas ukur
- ✓ Pipet volum
- ✓ pH meter
- ✓ Stopwatch
- ✓ Timbangan analitis
- ✓ Botol sampel
- ✓ Spektrofotometer

### 3.4. Konstruksi Alat

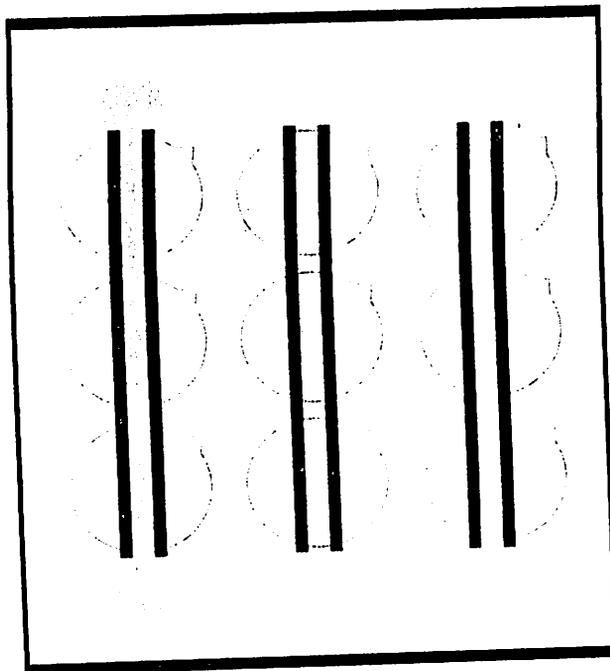


Lampu Ultraviolet  
10 Watt

Variasi Jarak lampu  
10 cm dan 15 cm

Beker Glass 250 ml  
Tinggi 9 cm  
Diameter 7 cm

Kotak Kedap Cahaya  
Panjang 60 cm  
Lebar 34 cm  
Tinggi 25 cm



60 cm

34 cm

Gambar 3.1. Konstruksi Alat

**Bahan:**

- ✓ Sampel limbah penyamakan kulit
- ✓ Aquades
- ✓ HNO<sub>3</sub> pekat
- ✓ Palladium Nitrat
- ✓ K<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>
- ✓ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat
- ✓ HgSO<sub>4</sub>
- ✓ Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- ✓ Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O
- ✓ FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O

### **3.5. Prosedur Penelitian**

#### **3.5.1. Pengambilan Sampel**

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari inlet pengolahan limbah pabrik penyamakan kulit di PT Kasin Malang. Sampel yang telah diambil ditampung dalam wadah yang kedap udara agar tidak terjadi reaksi kimia yang dapat merubah konsentrasi dari air limbah.

#### **3.5.2. Analisa Pendahuluan**

Analisa pendahuluan ini merupakan suatu analisa mengenai konsentrasi COD dan kandungan krom dan yang terdapat dalam air limbah. Analisa ini digunakan sebagai perbandingan dari analisa yang akan dilakukan setelah pengolahan.

#### **3.5.3. Pelaksanaan Percobaan**

##### **Tahap Persiapan**

- a. Menyiapkan bahan yang akan dipakai yaitu sampel air limbah penyamakan kulit dan bubuk  $\text{TiO}_2$ .
- b. Menyiapkan alat yang akan digunakan: reaktor, beker glass, gelas ukur, pipet volum, timbangan analitis, stopwatch.
- c. Menganalisa kadar krom dan COD sampel air limbah industri penyamakan kulit dari PT. Kasin Malang.

##### **Tahap Penelitian**

1. Menyiapkan 9 buah beker glass untuk masing-masing variasi waktu 60 menit, 120 menit, dan 180 menit dan variasi dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg/l, 600 mg/l, dan 900 mg/l.
2. Memasukkan sampel sebanyak 130 ml ke dalam setiap beker glass.
3. Melakukan analisa pendahuluan untuk mengukur konsentrasi krom dan COD yang terdapat dalam air limbah. Analisa ini digunakan sebagai perbandingan dari analisa yang akan dilakukan setelah penelitian.
4. Membubuhkan dosis  $\text{TiO}_2$  ke dalam masing-masing beker glass yang berisi sampel sebanyak:
  - o 39 mg  $\text{TiO}_2$  dalam 130 ml air limbahSetiap 1000 ml air dibutuhkan 300  $\text{TiO}_2$  mg, maka untuk 130 ml larutan dilakukan penambahan dosis sebesar 39 mg.

- 78 mg TiO<sub>2</sub> dalam 130 ml air limbah  
Setiap 1000 ml air dibutuhkan 600 TiO<sub>2</sub> mg, maka untuk 130 ml larutan dilakukan penambahan dosis sebesar 78 mg.
  - 117 mg TiO<sub>2</sub> dalam 130 ml air limbah  
Setiap 1000 ml air dibutuhkan 900 TiO<sub>2</sub> mg, maka untuk 130 ml larutan dilakukan penambahan dosis sebesar 117 mg.
5. Meletakkan semua beker glass yang telah terisi sampel ke dalam reaktor dan mengatur letaknya agar berada tepat di bawah lampu UV.
  6. Melakukan penyinaran dengan variasi waktu 60 menit, 120 menit, dan 180 menit untuk masing-masing variasi dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l, 600 mg/l, dan 900 mg/l.
  7. Mengambil sampel sebanyak 100 ml dan dimasukkan ke dalam wadah tertutup untuk analisa hasil.
  8. mengulangi langkah 1-8 untuk variasi jarak lampu terhadap limbah 15 cm.

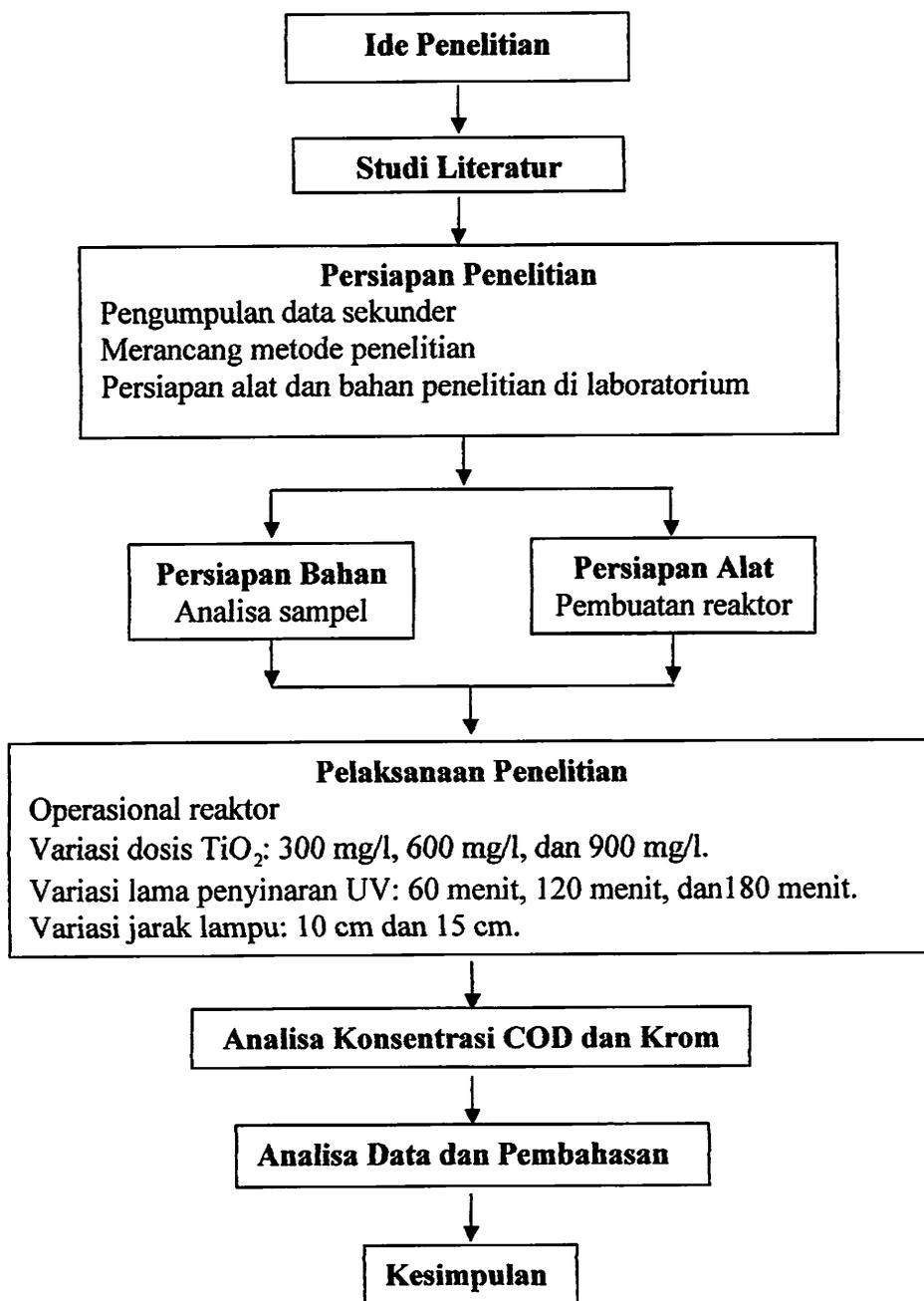
### 3.6. Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan untuk menentukan konsentrasi krom menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Sedangkan untuk mengukur konsentrasi COD menggunakan metode titrimetri (refluks tertutup).

### 3.7. Metode Pengolahan Data

Analisa statistik data hasil penelitian menggunakan analisa deskriptif, analisa fakorial, analisa korelasi, dan analisa regresi. Analisa deskriptif ditujukan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan gejala dan fakta yang diperoleh dari data penelitian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisa fakorial ditujukan untuk mengetahui tingkat keterkaitan variasi dosis, lama penyinaran, dan jarak lampu terhadap penurunan konsentrasi COD dan Cr. Analisa korelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan serta kuat atau lemahnya hubungan variasi dosis, lama penyinaran, dan jarak lampu terhadap penurunan konsentrasi COD dan Cr tersebut. Analisa regresi ditujukan untuk mempelajari hubungan/pengaruh variasi dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran, dan jarak lampu terhadap penurunan konsentrasi COD dan Cr sehingga dari hubungan yang ada dapat ditaksir nilai variabel yang satu jika variabel yang lainnya diketahui.

### 3.7. Kerangka Penelitian



Gambar 3.2. Kerangka Penelitian

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1. Konsentrasi Awal Limbah

Dalam penelitian ini dilakukan analisa awal sampel air limbah untuk mengukur konsentrasi COD dan Krom total sebelum sampel air limbah diolah. Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang dilakukan, diperoleh data konsentrasi awal COD dan Krom sebagai berikut:

**Tabel 4.1. Konsentrasi Awal Limbah Cair Penyamakan Kulit**

<b>COD (mg/l)</b>	<b>Baku mutu COD (mg/l)</b>	<b>Cr (mg/l)</b>	<b>Baku mutu Cr (mg/l)</b>
195,26	147	4,7788	0,5

*Sumber: Hasil penelitian, 2007*

##### 4.1.2. Konsentrasi Akhir COD

Penelitian ini dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan bervariasi dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg/l; 600 mg/l; dan 900 mg/l, lama penyinaran UV masing-masing 60 menit; 120 menit; dan 180 menit, serta jarak lampu UV terhadap limbah 10 cm dan 5 cm. Sampel limbah berupa limbah cair penyamakan kulit. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD seiring dengan penambahan dosis  $\text{TiO}_2$  dan waktu penyinaran, serta kecilnya jarak limbah terhadap lampu UV.

## A. Analisa Deskriptif

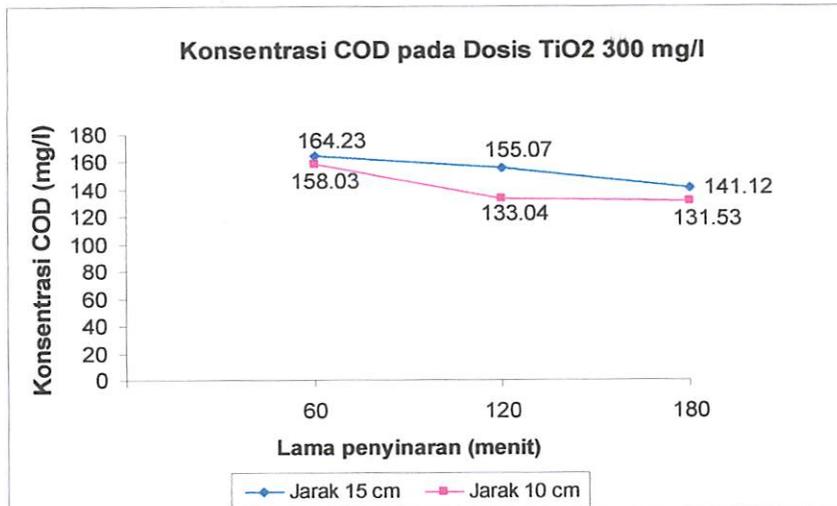
Analisa deskriptif ditujukan untuk memperoleh gambaran berdasarkan fakta yang didapat dari sampel penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub>/UV mempunyai kemampuan menurunkan konsentrasi COD pada limbah penyamakan kulit dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2. Data Konsentrasi Akhir COD**

Dosis TiO <sub>2</sub> (mg/l)	Lama penyinaran (menit)	Jarak lampu (cm)	Konsentrasi COD (mg/l)			Rata-rata
			1	2	3	
300	60	15	164,46	164,25	163,98	164.23
	120	15	155,25	154,88	155,10	155.07
	180	15	141,34	140,98	141,05	141.12
	60	10	158,14	157,94	158,01	158.03
	120	10	133,15	132,84	133,14	133.04
	180	10	131,44	131,59	131,57	131.53
600	60	15	130,98	130,03	130,88	130.63
	120	15	129,21	129,26	129,17	129.21
	180	15	124,94	125,65	125,19	125.26
	60	10	127,73	127,01	127,94	127.56
	120	10	123,85	123,68	123,17	123.56
	180	10	121,29	121,12	121,58	121.33
900	60	15	124,88	124,58	124,56	124.67
	120	15	122,45	122,47	122,48	122.46
	180	15	119,28	119,56	119,48	119.44
	60	10	120,44	120,57	120,84	120.61
	120	10	118.12	118,19	118,24	118.18
	180	10	116,25	116,48	116,20	116.31

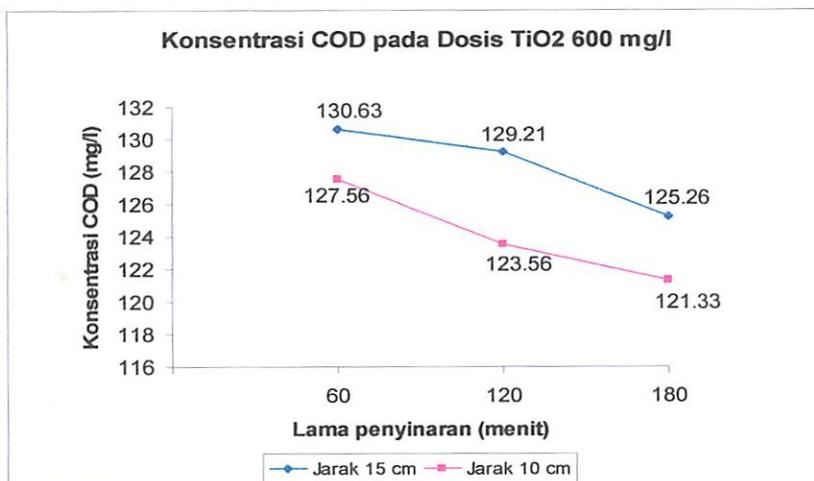
*Sumber: Hasil penelitian*

Berdasarkan tabel 4.2 menunjukkan bahwa konsentrasi COD pada limbah cair penyamakan kulit semakin menurun seiring dengan semakin tingginya dosis TiO<sub>2</sub> dan lamanya waktu penyinaran serta kecilnya jarak lampu. Konsentrasi akhir COD terendah sebesar 116.31 (mg/l) dan konsentrasi akhir COD yang paling tinggi sebesar 164.23 (mg/l). Dari data yang diperoleh pada tabel 4.2 dapat dibuat grafik sebagai berikut:



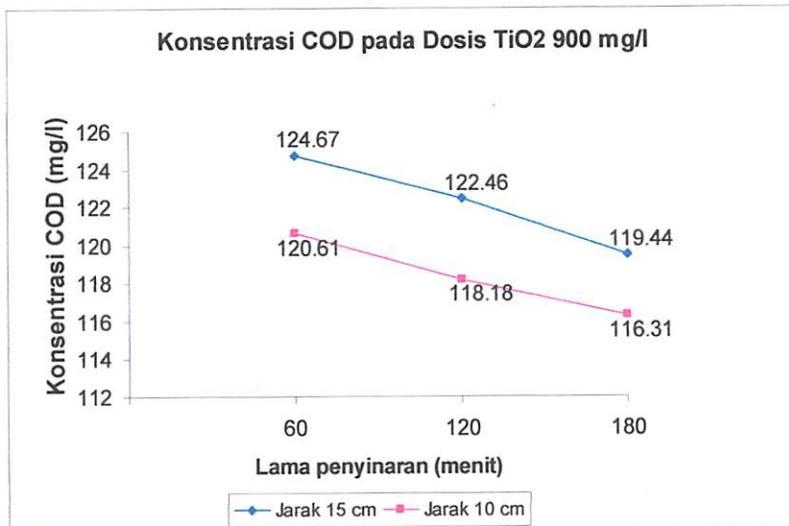
**Gambar 4.1. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l**

Untuk variasi dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l pada grafik 4.1 di atas menunjukkan menurunnya konsentrasi COD seiring dengan meningkatnya waktu penyinaran dan menurunnya jarak lampu. Konsentrasi COD terendah dan tertinggi pada jarak 15 cm adalah masing-masing sebesar 141.12 mg/l dan 164.23 mg/l. Sedangkan pada jarak 10 cm adalah sebesar 131.53 mg/l dan 158.03 mg/l. Konsentrasi COD terendah dengan nilai sebesar 131.53 (mg/l) terjadi saat penyinaran selama 180 menit pada jarak lampu 10 cm.



**Gambar 4.2. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis TiO<sub>2</sub> 600 mg/l**

Untuk dosis  $\text{TiO}_2$  600 mg/l grafik menunjukkan konsentrasi COD terendah sebesar 121.33 mg/l dan tertinggi sebesar 130.63 mg/l. Konsentrasi COD terendah adalah pada lama penyinaran 180 menit dengan jarak lampu 10 cm sebesar 121.33 mg/l.



**Gambar 4.3. Grafik Konsentrasi Akhir COD dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis  $\text{TiO}_2$  900 mg/l**

Untuk dosis  $\text{TiO}_2$  900 mg/l pada grafik di atas konsentrasi COD terkecil sebesar 119.44 mg/l dan 116.31 mg/l pada kedua variasi jarak. Sedangkan konsentrasi COD terbesar adalah 124.67 mg/l dan 120.61 mg/l. Konsentrasi COD terendah adalah sebesar 116.31 mg/l terjadi pada jarak lampu 10 cm selama 180 menit penyinaran.

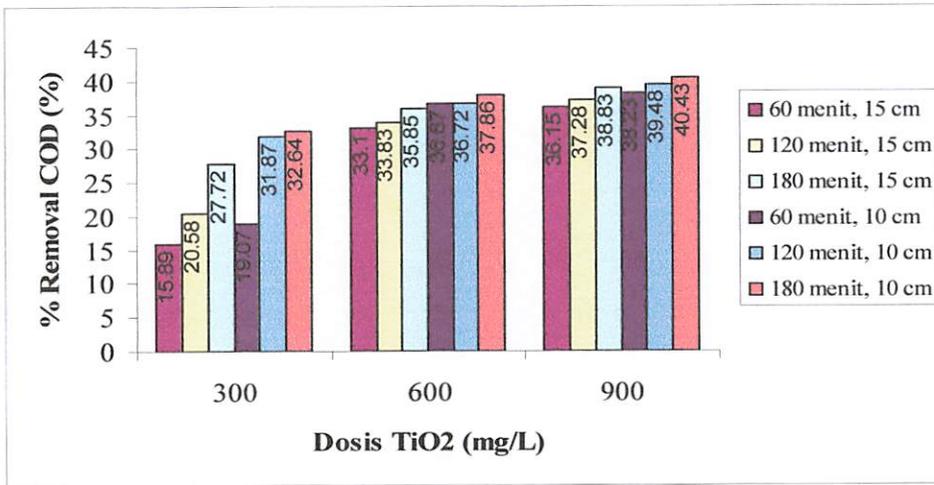
Dari data konsentrasi akhir COD kemudian dihitung persen removal COD pada tiap perlakuan yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3. Data Persen Removal COD**

Dosis TiO <sub>2</sub> (mg/l)	Lama penyinaran (menit)	Jarak lampu (cm)	Removal COD (%)
300	60	15	15,89
	120	15	20,58
	180	15	27,72
	60	10	19,07
	120	10	31,87
	180	10	32,64
600	60	15	33,10
	120	15	33,83
	180	15	35,85
	60	10	36,67
	120	10	36,72
	180	10	37,86
900	60	15	36,15
	120	15	37,28
	180	15	38,83
	60	10	38,23
	120	10	39,48
	180	10	40,43

*Sumber: Hasil penelitian*

Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan bahwa persen removal COD pada limbah penyamakan kulit berkisar antara 15,89 % sampai 40,43 %. persen removal terbesar adalah 40,43 % (dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg/l, lama penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm), sedangkan persen removal terkecil adalah 15,89 % (dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l, lama penyinaran 60 menit, dan jarak lampu 15 cm). Dari data yang diperoleh dari Tabel 4.3 dapat dibuat diagram yang dapat dilihat pada grafik 4.2.



**Gambar 4.4. Grafik Persentase Removal COD**

## B. Analisa Faktorial

Untuk mengetahui interaksi antar perlakuan terhadap penurunan COD, maka dilakukan analisa faktorial. Hasil uji tersebut tersaji dalam tabel 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.4. Hasil Uji Anova untuk Analisa Faktorial  
Penurunan COD  
Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: konstr. COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10355.198(a)	19	545.010	8797.787	.000
Intercept	930066.383	1	930066.383	15013521.284	.000
ulangan	.132	2	.066	1.066	.356
dosis_TiO2	7177.300	2	3588.650	57929.489	.000
lama_sinar	1277.076	2	638.538	10307.546	.000
jr_k_lampu	639.427	1	639.427	10321.903	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar	824.844	4	206.211	3328.746	.000
dosis_TiO2 * jr_k_lampu	221.625	2	110.812	1788.778	.000
lama_sinar * jr_k_lampu	98.811	2	49.406	797.527	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar * jr_k_lampu	115.983	4	28.996	468.062	.000
Error	2.106	34	.062		
Total	940423.687	54			
Corrected Total	10357.304	53			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Dari tabel hasil uji anova untuk analisa faktorial di atas, dapat dilihat apakah terdapat pengaruh interaksi yang nyata antara kelompok perlakuan terhadap penurunan COD.

Pengaruh dosis TiO<sub>2</sub> terhadap penurunan COD.

Hipotesa yang diberikan adalah:

H<sub>0</sub>: dosis TiO<sub>2</sub> tidak berpengaruh terhadap penurunan COD.

H<sub>1</sub>: dosis TiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap penurunan COD.

Pengambilan keputusan berdasarkan:

Nilai F hitung > F tabel, H<sub>0</sub> ditolak

Nilai F hitung < F tabel, H<sub>0</sub> diterima

Serta, Jika probabilitas ≥ 0,05 H<sub>0</sub> diterima

Jika probabilitas < 0,05 H<sub>1</sub> ditolak

Berdasarkan tabel 4.4 nilai F hitung sebesar 57929,49 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,20. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau dosis  $TiO_2$  berpengaruh terhadap penurunan COD. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau dosis  $TiO_2$  berpengaruh terhadap penurunan COD.

Pengaruh waktu penyinaran terhadap penurunan COD.

Hipotesa yang diberikan adalah:

- $H_0$ : waktu penyinaran tidak berpengaruh terhadap penurunan COD.
- $H_1$ : waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan COD.

Berdasarkan tabel 4.4 nilai F hitung sebesar 10307,55 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,20. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan COD. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan COD.

Pengaruh jarak lampu terhadap penurunan COD.

Hipotesa yang diberikan adalah:

- $H_0$ : jarak lampu tidak berpengaruh terhadap penurunan COD.
- $H_1$ : jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan COD.

Berdasarkan tabel 4.4 nilai F hitung sebesar 10321,90 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,04. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan COD. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan COD.

### C. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, maka analisa data menggunakan analisa korelasi. Hasil dari analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5. Korelasi Konsentrasi COD terhadap Dosis TiO<sub>2</sub>, Waktu Penyinaran, dan Jarak Lampu**

		Correlations			
		dosis TiO	lama penyinaran	jarak lampu	rerata COD
dosis TiO	Pearson Correlation	1	.000	.000	.788(**)
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	1.000	.000
	N	18	18	18	18
lama penyinaran	Pearson Correlation	.000	1	.000	.326
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	1.000	.186
	N	18	18	18	18
jarak lampu	Pearson Correlation	.000	.000	1	-.263
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	.	.292
	N	18	18	18	18
rerata COD	Pearson Correlation	.788(**)	.326	-.263	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.186	.292	.
	N	18	18	18	18

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel 4.5 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel yang dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah:

- Besar hubungan variabel COD dengan dosis TiO<sub>2</sub> adalah 0.788, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang kuat karena memiliki nilai di atas 0,5 (Yarnest,2004). Sedangkan tanda positif menyatakan hubungan searah yang berarti semakin tinggi dosis TiO<sub>2</sub> maka akan diikuti dengan tingginya removal COD. Tingkat signifikan COD dan dosis TiO<sub>2</sub> yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya kuat (signifikan).
- Besar hubungan variabel COD dengan waktu penyinaran adalah 0.326, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang lemah karena memiliki nilai di bawah 0,5 (Yarnest,2004). Sedangkan tanda positif menyatakan hubungan

searah yang berarti semakin tinggi waktu penyinaran maka akan diikuti dengan tingginya removal COD. Tingkat signifikan COD dan waktu penyinaran yang ditunjukkan dengan nilai 0,186 jauh lebih besar dari 0,05 maka korelasinya lemah (tidak signifikan).

- Besar hubungan variabel COD dengan jarak limbah adalah -0.263, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang lemah karena memiliki nilai di bawah 0,5 (*Yarnest,2004*). Sedangkan tanda negatif menyatakan hubungan tidak searah yang berarti semakin jauh jarak lampu maka akan diikuti dengan rendahnya removal COD. Tingkat signifikan COD dan jarak lampu yang ditunjukkan dengan nilai 0,292 jauh lebih besar dari 0,05 maka korelasinya lemah (tidak signifikan).

#### D. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratn hubungan antara variabel maka kita menganalisa data dengan menggunakan analisa regresi. Hasil analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel–tabel berikut:

**Tabel 4.6. Hasil Uji Regresi ANOVA COD**

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	729.804	3	243.268	18.224	.000 <sup>a</sup>
	Residual	186.880	14	13.349		
	Total	916.685	17			

a. Predictors: (Constant), jarak limbah, lama penyinaran, dosis TiO

b. Dependent Variable: rerata COD

Dari tabel hasil uji ANOVA untuk analisa regresi di atas, dapat dilihat apakah suatu model yang dibuat bisa dipakai untuk memprediksi removal COD.

Hipotesa unuk kecukupan model yang diberikan adalah:

$H_0$ : Model regresi yang dibuat tidak bisa dipakai untuk memprediksi removal COD.

$H_1$ : Model regresi yang dibuat bisa dipakai untuk memprediksi removal COD.

Pengambilan keputusan berdasarkan:

Nilai F hitung > F tabel,  $H_0$  ditolak

Nilai F hitung < F tabel,  $H_0$  diterima

Serta, Jika probabilitas  $\geq 0,05$   $H_0$  diterima

Jika probabilitas < 0,05  $H_1$  ditolak

Berdasarkan tabel 4.6 didapat nilai F hitung adalah 18.224. Sedangkan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,34. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka kesimpulannya adalah model regresi bisa dipakai untuk memprediksi removal COD. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak atau model regresi bisa dipakai untuk memprediksi removal COD.

**Tabel 4.7. Persamaan Regresi COD**

Model		Coefficients(a)				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	22.797	5.309		4.294	.001
	dosis TiO <sub>2</sub>	.023	.004	.788	6.529	.000
	lama penyinaran	.048	.018	.326	2.704	.017
	jarak lampu	-.750	.344	-.263	-2.177	.047

a Dependent Variable: rerata COD

**Tabel 4.8. Persamaan R square COD**

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.892 <sup>a</sup>	.796	.752	3.65357	1.157

a. Predictors: (Constant), jarak limbah, lama penyinaran, dosis TiO

b. Dependent Variable: rerata COD

Dari tabel 4.7 dan 4.8 di atas dapat kita ketahui:

1. Persamaan regresi

$$Y = 22.797 + 0.023 X_1 + 0.048 X_2 - 0.750 X_3$$

Dimana: Y = % penurunan nilai COD

X<sub>1</sub> = Dosis TiO<sub>2</sub>

X<sub>2</sub> = Waktu penyinaran

X<sub>3</sub> = Jarak lampu

Berdasarkan hasil analisa statistik, nilai R sebesar 0.892 menunjukkan hubungan yang kuat antar variabel COD dengan dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran serta jarak lampu karena mendekati 1 (*Yarnest, 2004*). Sedangkan nilai R square (*r*<sup>2</sup>) adjusted sebesar 0.752 bisa disebut koefisien determinasi terkoreksi yang dalam hal ini berarti pengaruh dosis TiO<sub>2</sub>, waktu penyinaran dan jarak lampu terhadap penurunan COD dapat dijelaskan oleh model sebesar 75,2 %. Berdasarkan nilai R dan R square adjusted tersebut maka model persamaan regresi di atas dapat diterima.

Koefisien regresi untuk dosis TiO<sub>2</sub> sebesar 0.023 menyatakan bahwa setiap penambahan variasi dosis TiO<sub>2</sub> akan meningkatkan removal COD sebesar 0.023 %. Koefisien regresi untuk variasi waktu penyinaran sebesar 0.048 menyatakan bahwa setiap penambahan waktu penyinaran akan menyebabkan meningkatnya removal COD sebesar 0.048 %. Sedangkan koefisien regresi untuk variasi jarak lampu sebesar -0.750 menyatakan bahwa setiap penambahan jarak lampu akan menyebabkan menurunnya removal COD sebesar 0.75 %.

2. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independen.

Hipotesa:

H<sub>0</sub> = koefisien regresi tidak signifikan.

H<sub>1</sub> = koefisien regresi signifikan.

Keputusan:

Dasar pengambilan keputusan:

- a. Dengan membandingkan statistik hitung dengan statistik tabel. Jika statistik hitung < statistik t tabel, maka H<sub>0</sub> diterima dan H<sub>1</sub> ditolak dan begitu

sebaliknya. Statistik t hitung dari tabel 4.7 di atas untuk variasi dosis  $\text{TiO}_2$  terlihat bahwa t hitung adalah 6.529 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110. Dan untuk variasi waktu penyinaran terlihat bahwa t hitung adalah 2.704 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110, Sedangkan untuk variasi jarak lampu terlihat bahwa t hitung adalah 2.177 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110. Karena statistik t hitung  $>$  t tabel maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima atau koefisien regresi signifikan atau variasi dosis  $\text{TiO}_2$ , waktu penyinaran dan variasi jarak lampu benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap removal COD.

b. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas  $>$  0.05 maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak
- Jika probabilitas  $<$  0.05 maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima

Keputusan:

Terlihat bahwa pada kolom signifikan (*significance*) untuk variasi dosis  $\text{TiO}_2$  adalah 0.000. Untuk variasi waktu penyinaran adalah 0.017 dan untuk variasi jarak lampu adalah 0.047 atau probabilitas lebih kecil dari 0.05. Sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima artinya koefisien regresi signifikan atau variasi dosis  $\text{TiO}_2$ , variasi waktu penyinaran dan variasi jarak lampu benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap removal COD.

#### 4.1.2 Konsentrasi Akhir Cr

##### A. Analisa Deskriptif

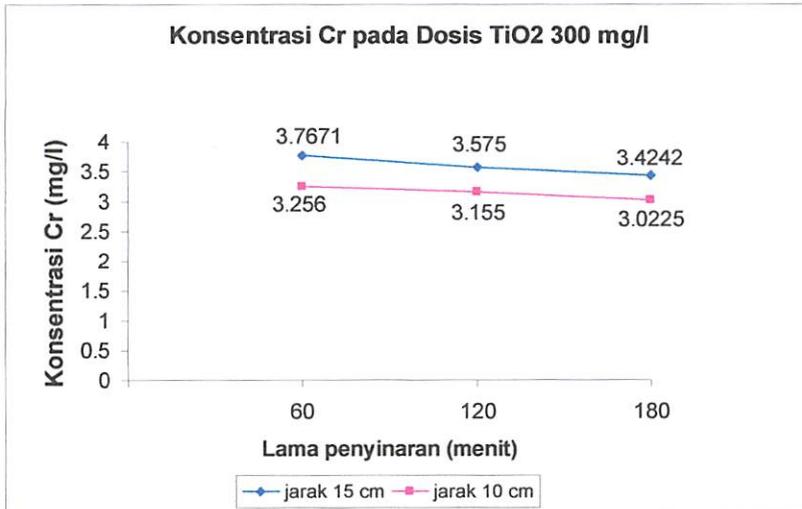
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub>/UV mempunyai kemampuan menurunkan konsentrasi Cr pada limbah penyamakan kulit dapat dilihat pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9. Data Konsentrasi Akhir Cr**

Dosis TiO <sub>2</sub> (mg/l)	Lama penyinaran (menit)	Jarak lampu (cm)	Konsentrasi Cr (mg/l)			Rata-rata
			1	2	3	
300	60	15	3,7670	3,7675	3,7628	3,7671
	120	15	3,5745	3,5756	3,5749	3,5750
	180	15	3,4235	3,4242	3,4243	3,4240
	60	10	3,2544	3,2580	3,2566	3,2560
	120	10	3,1555	3,1544	3,1551	3,1550
	180	10	3,0222	3,0227	3,0226	3,0225
600	60	15	2,9504	2,9505	2,9500	2,9503
	120	15	2,6440	2,6453	2,6445	2,6446
	180	15	2,3265	2,3278	2,3264	2,3269
	60	10	2,4687	2,4694	2,4695	2,4692
	120	10	2,2715	2,2725	2,2724	2,2721
	180	10	2,1596	2,1599	2,1593	2,1596
900	60	15	1,9450	1,9439	1,9440	1,9443
	120	15	1,6424	1,6434	1,6420	1,6426
	180	15	1,2336	1,2326	1,2325	1,2329
	60	10	1,1890	1,1900	1,1898	1,1896
	120	10	0,9876	0,9881	0,9880	0,9879
	180	10	0,7927	0,7931	0,7920	0,7926

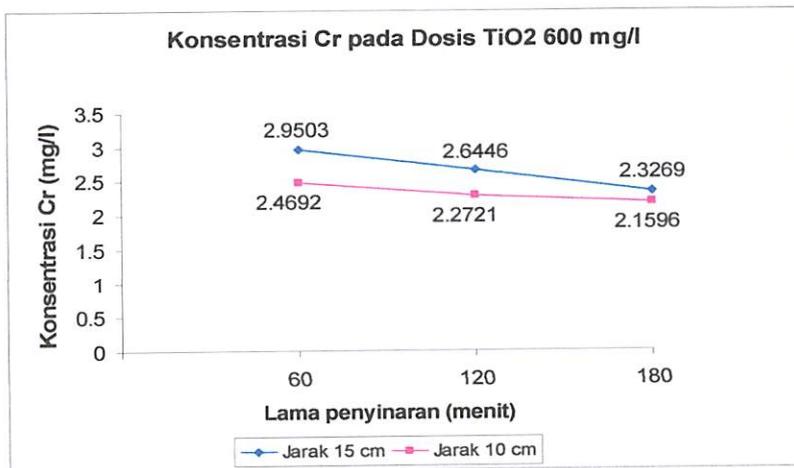
*Sumber: Hasil penelitian*

Berdasarkan tabel 4.9 menunjukkan bahwa konsentrasi Cr pada limbah penyamakan kulit semakin menurun seiring dengan semakin tingginya dosis TiO<sub>2</sub> dan lamanya waktu penyinaran serta kecilnya jarak lampu. Konsentrasi akhir Cr terendah sebesar 0,7926 (mg/l) dan konsentrasi akhir COD yang paling tinggi sebesar 3,7671 (mg/l). Dari data yang diperoleh dari tabel 4.15 dapat dibuat grafik sebagai berikut:



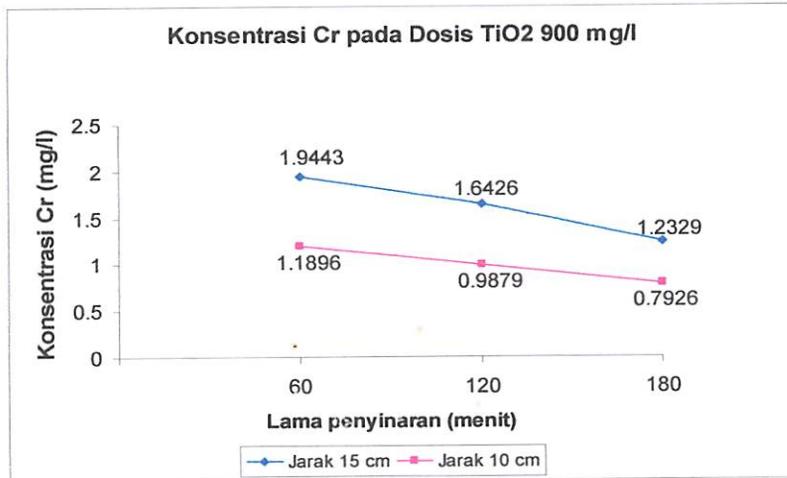
**Gambar 4.5. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg/l**

Untuk variasi dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg/l pada grafik 4.4 di atas menunjukkan menurunnya konsentrasi Cr seiring dengan meningkatnya waktu penyinaran dan menurunnya jarak lampu. Konsentrasi Cr terendah dan tertinggi pada jarak 15 cm adalah masing-masing sebesar 3,7671 mg/l dan 3,4240 mg/l. Sedangkan pada jarak 10 cm adalah sebesar 3,0225 mg/l dan 3,2560 mg/l. Konsentrasi Cr terendah dengan nilai sebesar 3,0225 (mg/l) terjadi saat penyinaran selama 180 menit pada jarak lampu 10 cm.



**Gambar 4.6. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis  $\text{TiO}_2$  600 mg/l**

Untuk dosis  $\text{TiO}_2$  600 mg/l menunjukkan konsentrasi Cr terendah sebesar 2.3269 mg/l dan tertinggi sebesar 2.9503 mg/l pada jarak 15 cm. Sedangkan pada jarak 10 cm konsentrasi Cr terendah sebesar 2.1596 mg/l dan tertinggi sebesar 2.4692 mg/l. Konsentrasi Cr terendah adalah pada lama penyinaran 180 menit dengan jarak lampu 10 cm sebesar 2.1596 mg/l.



**Gambar 4.7. Grafik Konsentrasi Akhir Cr dengan Variasi Waktu Penyinaran pada Dosis  $\text{TiO}_2$  900 mg/l**

Untuk dosis  $\text{TiO}_2$  900 mg/l menunjukkan konsentrasi Cr terendah sebesar 1.2329 mg/l dan tertinggi sebesar 1.9443 mg/l pada jarak 15 cm. Sedangkan pada jarak 10 cm konsentrasi Cr terendah sebesar 0.7926 mg/l dan tertinggi sebesar 1.1896 mg/l. Konsentrasi Cr terendah adalah pada lama penyinaran 180 menit dengan jarak lampu 10 cm sebesar 0.7926 mg/l.

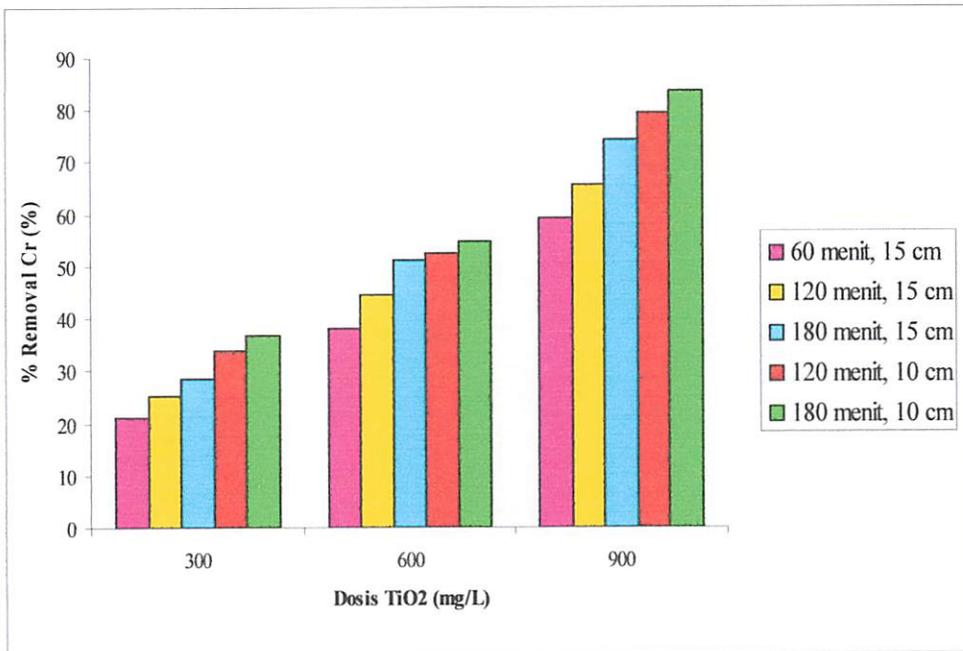
Sedangkan persentase removal Cr pada tiap perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10. Data Persentase Removal Cr**

Dosis TiO <sub>2</sub> (mg/l)	Lama penyinaran (menit)	Jarak lampu(cm)	Removal Cr (%)
300	60	15	21,17
	120	15	25,19
	180	15	28,35
	60	10	31,87
	120	10	33,98
	180	10	36,75
600	60	15	38,26
	120	15	44,66
	180	15	51,31
	60	10	48,33
	120	10	52,45
	180	10	54,81
900	60	15	59,31
	120	15	65,63
	180	15	74,20
	60	10	75,11
	120	10	79,33
	180	10	83,45

*Sumber: Hasil penelitian*

Berdasarkan tabel 4.10 menunjukkan bahwa persentase removal Cr pada limbah penyamakan kulit berkisar antara 21,17 % sampai 83,45 %. Persentase removal terbesar adalah sebesar 83,45 % (dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg, lama penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm), sedangkan persentase removal terkecil adalah sebesar 21,17 % (dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg, lama penyinaran 60 menit, dan jarak lampu 15 cm). Dari data yang diperoleh dari tabel 4.16 dapat dibuat grafik berikut.



**Gambar 4.8. Grafik Persentase Removal Cr**

## B. Analisa Faktorial

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan dalam penurunan konsentrasi Cr, maka dilakukan analisa faktorial. Hasil uji tersebut tersaji dalam tabel 4.11 berikut ini.

**Tabel 4.11. Hasil Uji ANOVA untuk Analisa Faktorial Penurunan Cr**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: konstr Cr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43.832(a)	19	2.307	2420306.038	.000
Intercept	305.487	1	305.487	320499928.398	.000
ulangan	.000	2	.000	2.584	.090
dosis_TiO2	38.724	2	19.362	20313734.947	.000
lama_sinar	1.712	2	.856	898174.717	.000
jr_k_lampu	2.942	1	2.942	3086438.711	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar	.114	4	.029	29970.213	.000
dosis_TiO2 * jr_k_lampu	.176	2	.088	92078.392	.000
lama_sinar * jr_k_lampu	.137	2	.069	71956.648	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar * jr_k_lampu	.026	4	.007	6900.145	.000
Error	.000	34	.000		
Total	349.319	54			
Corrected Total	43.832	53			

a R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Dari tabel hasil uji anova untuk analisa faktorial di atas, dapat dilihat apakah terdapat pengaruh interaksi yang nyata antara kelompok perlakuan terhadap penurunan Cr.

Pengaruh dosis TiO<sub>2</sub> terhadap penurunan Cr.

Hipotesa yang diberikan adalah:

- H<sub>0</sub>: dosis TiO<sub>2</sub> tidak berpengaruh terhadap penurunan Cr.
- H<sub>1</sub>: dosis TiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap penurunan Cr.

Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Nilai F hitung > F tabel, H<sub>0</sub> ditolak
- Nilai F hitung < F tabel, H<sub>0</sub> diterima

Serta,

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$   $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$   $H_1$  ditolak

Berdasarkan tabel 4.11 nilai F hitung sebesar 2068.13 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,20. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau dosis  $TiO_2$  berpengaruh terhadap penurunan Cr. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau dosis  $TiO_2$  berpengaruh terhadap penurunan Cr.

Pengaruh waktu penyinaran terhadap penurunan Cr.

Hipotesa yang diberikan adalah:

- $H_0$ : waktu penyinaran tidak berpengaruh terhadap penurunan Cr.
- $H_1$ : waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan Cr.

Berdasarkan tabel 4.11 nilai F hitung sebesar 898174,7 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,20. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan Cr. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau waktu penyinaran berpengaruh terhadap penurunan Cr.

Pengaruh jarak lampu terhadap penurunan Cr.

Hipotesa yang diberikan adalah:

- $H_0$ : jarak lampu tidak berpengaruh terhadap penurunan Cr.
- $H_1$ : jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan Cr.

Berdasarkan tabel 4.11 nilai F hitung sebesar 30864,39 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,04. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan Cr. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak. Atau jarak lampu berpengaruh terhadap penurunan Cr.

### C. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, maka analisa data menggunakan analisa korelasi. Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12. Korelasi antara Konsentrasi Cr terhadap Dosis TiO<sub>2</sub>, Jarak Lampu dan Waktu Penyinaran**

**Correlations**

		dosis TiO <sub>2</sub>	lama penyinaran	jarak lampu	rerata Cr
dosis TiO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	.000	.000	.937(**)
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	1.000	.000
	N	18	18	18	18
lama penyinaran	Pearson Correlation	.000	1	.000	.198
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	1.000	.431
	N	18	18	18	18
jarak lampu	Pearson Correlation	.000	.000	1	-.259
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	.	.299
	N	18	18	18	18
rerata Cr	Pearson Correlation	.937(**)	.198	-.259	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.431	.299	.
	N	18	18	18	18

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel 4.12 menunjukkan bahwa:

Tingkat hubungan antara variabel yang dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah:

- Besar hubungan variabel Cr dengan dosis TiO<sub>2</sub> adalah 0.937, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang kuat karena memiliki nilai diatas 0,5 (*Yarnest,2004*). Sedangkan tanda positif menyatakan hubungan searah yang berarti semakin tinggi dosis TiO<sub>2</sub> maka akan diikuti dengan tingginya removal Cr. Tingkat signifikan Cr dan dosis TiO<sub>2</sub> yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya kuat (signifikan).
- Besar hubungan variabel Cr dengan waktu lama penyinaran adalah 0.198, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang lemah karena memiliki nilai di bawah 0,5 (*Yarnest,2004*). Sedangkan tanda positif menyatakan hubungan

searah yang berarti semakin tinggi waktu penyinaran maka akan diikuti dengan tingginya removal Cr. Tingkat signifikan Cr dan waktu penyinaran yang ditunjukkan dengan nilai 0,431 jauh lebih besar dari 0,05 maka korelasinya lemah (tidak signifikan).

- Besar hubungan variabel Cr dengan jarak lampu adalah -0.259, hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang lemah karena memiliki nilai di bawah 0,5 (*Yarnest,2004*). Sedangkan tanda negatif menyatakan hubungan tidak searah yang berarti semakin jauh jarak lampu maka akan diikuti dengan rendahnya removal Cr. Tingkat signifikan Cr dan jarak lampu yang ditunjukkan dengan nilai 0,299 jauh lebih besar dari 0,05 maka korelasinya lemah (tidak signifikan).

#### D. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antara variabel maka kita menganalisa data dengan menggunakan analisa regresi. Hasil analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel – tabel berikut:

**Tabel 4.13. Hasil Uji Regresi ANOVA Cr**

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6301.865	3	2100.622	294.782	.000 <sup>a</sup>
	Residual	99.764	14	7.126		
	Total	6401.629	17			

a. Predictors: (Constant), jarak limbah, lama penyinaran, dosis TiO

b. Dependent Variable: rerata Cr

Dari tabel hasil uji ANOVA untuk analisa regresi di atas, dapat dilihat apakah suatu model yang dibuat bisa dipakai untuk memprediksi persentase removal Cr.

Hipotesa unuk kecukupan model yang diberikan adalah:

H<sub>0</sub>: Model regresi yang dibuat tidak bisa dipakai untuk memprediksi removal Cr.

H<sub>1</sub>: Model regresi yang dibuat bisa dipakai untuk memprediksi removal Cr.

Pengambilan keputusan berdasarkan:

Nilai F hitung > F tabel,  $H_0$  ditolak

Nilai F hitung < F tabel,  $H_0$  diterima

Serta, Jika probabilitas  $\geq 0,05$   $H_0$  diterima

Jika probabilitas < 0,05  $H_1$  ditolak

Berdasarkan tabel 4.13 didapat nilai F hitung adalah 294.78. Sedangkan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 3,34. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel, maka kesimpulannya adalah model regresi bisa dipakai untuk memprediksi removal Cr. Sedangkan nilai probabilitas  $0,000 < 0,05$  maka hipotesa awal ( $H_0$ ) ditolak atau model regresi bisa dipakai untuk memprediksi removal Cr.

**Tabel 4.14. Persamaan Regresi Cr**

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	22.252	3.879		5.737	.000
	dosis TiO	.072	.003	.937	28.086	.000
	lama penyinaran	.076	.013	.198	5.928	.000
	jarak limbah	-1.956	.252	-.259	-7.770	.000

a. Dependent Variable: rerata Cr

**Tabel 4.15. Persamaan R square Cr**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.992 <sup>a</sup>	.984	.981	2.66946	.700

a. Predictors: (Constant), jarak limbah, lama penyinaran, dosis TiO

b. Dependent Variable: rerata Cr

Dari tabel 4.14 dan 4.15 di atas dapat kita ketahui:

1. Persamaan regresi

$$Y = 22.252 + 0.072 X_1 + 0.076 X_2 - 1.956 X_3$$

Dimana: Y = % removal Cr

$X_1$  = Dosis TiO<sub>2</sub>

$X_2$  = Lama penyinaran

$X_3$  = Jarak lampu

Berdasarkan hasil analisa statistik, nilai R sebesar 0.981 menunjukkan hubungan yang kuat antar variabel Cr dengan dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran serta jarak lampu karena mendekati 1 (Yarnest, 2004). Sedangkan nilai R square ( $r^2$ ) adjusted sebesar 0.981 bisa disebut koefisien determinasi yang dalam hal ini berarti pengaruh dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran dan jarak lampu terhadap removal Cr dapat dijelaskan oleh model sebesar 98,1 %. Berdasarkan nilai R dan R square adjusted tersebut maka model persamaan regresi di atas dapat diterima. Koefisien regresi untuk dosis TiO<sub>2</sub> sebesar 0.072 menyatakan bahwa setiap penambahan variasi dosis TiO<sub>2</sub> akan meningkatkan removal Cr sebesar 0.072 %. Koefisien regresi untuk variasi lama penyinaran sebesar 0.076 menyatakan bahwa setiap penambahan waktu penyinaran akan meningkatkan removal Cr sebesar 0.076 %. Sedangkan Koefisien regresi untuk variasi jarak lampu sebesar -1.956 menyatakan bahwa setiap penambahan jarak lampu akan menurunkan removal Cr sebesar 1.956 %.

2. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independen.

Hipotesa:

$H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan.

$H_1$  = koefisien regresi signifikan.

Keputusan:

Dasar pengambilan keputusan:

- a. Dengan membandingkan statistik hitung dengan statistik tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak dan begitu sebaliknya. Statistik t hitung dari tabel 4.14 diatas untuk

variasi dosis TiO<sub>2</sub> terlihat bahwa t hitung adalah 28.086 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110. Dan untuk variasi waktu lama penyinaran terlihat bahwa t hitung adalah 5.928 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110, Sedangkan untuk variasi jarak lampu terlihat bahwa t hitung adalah 7.770 dan statistik tabel yang didapat adalah 2,110. Karena statistik t hitung > t tabel maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima atau koefisien regresi signifikan atau variasi dosis TiO<sub>2</sub>, waktu lama penyinaran dan variasi jarak lampu benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap removal Cr .

b. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas > 0.05 maka H<sub>0</sub> diterima dan H<sub>1</sub> ditolak
- Jika probabilitas < 0.05 maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima

Keputusan:

Terlihat bahwa pada kolom signifikan (*significance*) untuk variasi dosis TiO<sub>2</sub> adalah 0.000. Untuk variasi waktu lama penyinaran adalah 0.000 dan untuk variasi jarak lampu adalah 0.000 atau probabilitas lebih kecil dari 0.05. Sehingga H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima artinya koefisien regresi signifikan atau variasi dosis TiO<sub>2</sub>, variasi waktu lama penyinaran dan variasi jarak lampu benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap removal Cr.

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Penurunan Konsentrasi COD

Karakteristik limbah cair penyamakan kulit dengan kandungan COD sangat tinggi belum layak dibuang ke badan air karena belum memenuhi standart baku mutu. Diperlukan suatu metode dan proses pengolahan yang tepat agar effluent memenuhi standart baku mutu limbah cair. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Alaerts dan Sri Santika, 1987). Penurunan oksigen terlarut dalam air berakibat terbentuknya proses anaerobik pada perairan. Proses dekomposisi selanjutnya akan dilanjutkan oleh bakteri anaerob yang menghasilkan gas-gas beracun. Dengan demikian perlu pengolahan sebelum zat organik dibuang ke dalam perairan.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokimia  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  mempunyai kemampuan untuk menurunkan konsentrasi COD dengan memvariasikan dosis  $\text{TiO}_2$ , waktu penyinaran, dan jarak lampu sehingga didapat hasil penurunan konsentrasi COD yang optimal. Penurunan konsentrasi COD berkisar antara 15,89 % – 40,43 % dari konsentrasi awal sebesar 195,26 mg/l. Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa kemampuan penurunan kandungan COD terbesar adalah 40,43 % pada perlakuan dengan dosis  $\text{TiO}_2$  900 mg, lama penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm. Sedangkan kemampuan terkecil adalah sebesar 15,89 % pada perlakuan dengan dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg, lama penyinaran 60 menit, dan jarak lampu 15 cm.

Proses fotokimia dengan kombinasi antara UV dan katalis  $\text{TiO}_2$  menunjukkan kombinasi yang dapat menghasilkan hidroksil radikal. Beberapa senyawa yang bisa mengganggu jalannya reaksi, yaitu:

- Adanya ion karbonat dan bikarbonat seperti  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  diindikasikan dapat mengkonsumsi atau bereaksi dengan hidroksil radikal membentuk karbonat radikal. Karbonat radikal akan mengurangi konsentrasi hidroksil radikal sehingga mengurangi laju penguraian zat organik.

- Zat organik alami

Proses degradasi polutan organik bisa terjadi dengan fotolisis langsung. Namun kehadiran beberapa pengabsorpsi UV memungkinkan adanya efek signifikan pada laju fotolisis substrat karena penyerapan foton terhalangi oleh kehadiran zat organik alami.

- Dosis katalis berlebih

Semakin besar dosis TiO<sub>2</sub>, maka semakin banyak pula hidroksil radikal yang terbentuk. Tetapi jika dosis TiO<sub>2</sub> terlalu besar, bisa menghalangi penyerapan foton..

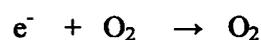
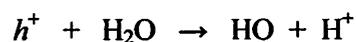
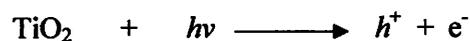
Peletakan sumber radiasi sangat berperan dalam laju penguraian polutan organik. Peletakan sumber radiasi tersebut berhubungan dengan jumlah kepadatan daya (*fluks density*) yang diserap oleh polutan per satuan luas reaktor. Semakin dekat jarak peletakan sinar UV, maka akan semakin besar jumlah *fluks density* yang akan diterima oleh air limbah sehingga persentase removal polutan juga semakin besar. *Fluks density* berperan sebagai pengaktif dalam proses pembentukan hidroksil radikal yang nantinya akan mengurai zat organik (COD). Jarak berpengaruh terhadap removal COD karena data hasil penelitian menunjukkan pengaruh tersebut dari hasil analisa statistik yaitu analisa faktorial, korelasi, dan regresi.

Ada beberapa kemungkinan mekanisme reaksi yang terjadi pada penguraian senyawa organik, antara lain :

- Foton dapat langsung mengoksidasi molekul dari kontaminan organik sehingga terjadi penguraian (fotolisis) secara langsung.

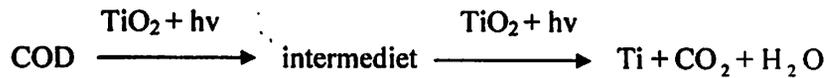


- Foton diserap langsung oleh katalis (TiO<sub>2</sub>) sehingga dapat mempercepat laju reaksi.



(sumber: Yulianto & Handayani, 1995)

Reaksi fotokimia COD mengikuti mekanisme reaksi berikut:



Berdasarkan kandungan energi kimianya, radiasi UV mempunyai kemampuan untuk menimbulkan kerusakan langsung pada molekul penting senyawa yang menyerapnya dan menguraikan polutan di dalam air. Reaksi fotokimia merupakan reaksi kimia yang menggunakan cahaya untuk mendekomposisi polutan organik di dalam air dengan cara menyerap cahaya untuk memutuskan ikatan dari senyawa-senyawa kimia. Penguraian molekul diawali dengan penyerapan foton (Larson et al. dalam Yulianto, 1995). Saat foton mendekati sebuah molekul, terjadi interaksi antar medan elektromagnetik yang menyertai molekul. Terjadinya perubahan secara fotokimia disebabkan karena energi yang diabsorpsi mengubah molekul organik menjadi kondisi tereksitasi yang tidak stabil. Senyawa-senyawa baru hasil transformasi dapat mengalami pemutusan ikatan (Larson and Weber, dalam Yulianto, 1995). Fotokimia membuktikan bahwa proses tersebut dapat digunakan untuk memecah atau menghancurkan polutan organik yang dalam hal ini terkandung dalam COD limbah cair penyamakan kulit.

Dari mekanisme reaksi fotokimia (gambar 4.9) dapat diketahui bahwa reaksi yang terjadi pada penguraian zat organik menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> menggunakan UV/ TiO<sub>2</sub> adalah reaksi fotooksidasi. Pada penyinaran permukaan TiO<sub>2</sub> oleh UV akan menghasilkan pasangan *elektron-hole*. Di permukaan hole bereaksi dengan H<sub>2</sub>O atau OH<sup>-</sup> membentuk OH radikal. Hidroksil radikal ini kemudian mendegradasi senyawa organik. Pemecahan senyawa organik oleh hidroksil radikal terjadi dengan memutuskan ikatan rantai karbon yang merupakan penyusun senyawa organik.

Hidroksil radikal merupakan oksidator kuat dan salah satu spesimen kimia yang paling reaktif. Hidroksil radikal merupakan bentuk spesimen yang dibangkitkan karena kehilangan satu elektronnya sehingga sangat tidak stabil. Ketidakstabilan spesimen ini akan langsung bereaksi dengan senyawa kimia yang kontak dengan hidroksil radikal dan mengoksidasi dengan sempurna senyawa organik yang terlarut (Kito, 1998 dalam Pujilestari, 2006). Hidroksil radikal

tersebut dapat mengubah senyawa organik menjadi produk yang tidak berbahaya seperti air, karbondioksida dan senyawa anorganik lainnya melalui 3 mekanisme, yaitu: pemisahan hidrogen, transfer elektron dan hidroksilasi (Huang et al., 1993 dalam Lestari, 2004).

Penelitian fotokimia sebelumnya menggunakan UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mereduksi warna limbah tekstil Meria (2004). Variasi jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dan ketinggian air limbah 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dalam reaktor kaca. Hasil percobaan menunjukkan prosentase reduksi tertinggi sebesar 99,20 % terjadi pada jarak lampu 10 cm selama 180 menit penyinaran dan ketinggian air limbah 2 cm. Menurut hasil penelitian fotokimia UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mereduksi warna limbah tekstil oleh Fifiani (2004). Dengan variasi jarak lampu UV 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dalam reaktor kaca. Hasil percobaan menunjukkan prosentase reduksi tertinggi sebesar 99,20 % terjadi pada jarak lampu 10 cm selama 180 menit.

Hasil analisa korelasi (tabel 4.5) antara konsentrasi COD dengan dosis TiO<sub>2</sub> menunjukkan semakin besar dosis TiO<sub>2</sub> maka akan semakin menurun konsentrasi COD. Tingkat signifikansi COD dan dosis TiO<sub>2</sub> ditunjukkan dengan nilai 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya sangat nyata (signifikan). Pengaruh lama penyinaran menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka semakin menurun pula konsentrasi COD. Tingkat signifikansi COD dan waktu penyinaran ditunjukkan dengan nilai 0,010 lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata. Hal ini diikuti pula bila jarak lampu yang semakin kecil, maka konsentrasi COD makin menurun. Tingkat signifikansi COD dan jarak lampu ditunjukkan dengan nilai 0,051 lebih besar dari 0,05 maka korelasinya tidak nyata. Konsentrasi COD dengan dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg/l, lama penyinaran 60 menit, dan jarak 15 cm sebesar 131.53 mg/l. Sedangkan Konsentrasi COD pada dosis yang lebih besar yaitu 900 mg/l dan lama penyinaran, serta pada jarak lebih kecil yaitu 10 cm adalah sebesar 116.31 mg/l.

Analisa regresi digunakan untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antar variabel dalam hal ini adalah konsentrasi COD, dosis TiO<sub>2</sub>, lama penyinaran, dan jarak lampu. Hasil analisa menunjukkan bahwa 89,2 % nilai variabel konsentrasi akhir COD dipengaruhi oleh dosis TiO<sub>2</sub>, waktu penyinaran, dan jarak lampu. Interpretasi koefisien regresi menunjukkan koefisien regresi variabel dosis TiO<sub>2</sub> menyatakan bahwa setiap penambahan dosis TiO<sub>2</sub> akan meningkatkan penyisihan konsentrasi COD sebesar 0.023 %. Keberadaan TiO<sub>2</sub> dalam dosis yang cukup memungkinkan dihasilkan hidroksil radikal yang merupakan oksidator kuat yang sangat reaktif. Komponen hidroksil radikal yang terlarut dapat mengoksidasi senyawa organik (COD). Variabel waktu penyinaran 0.048 menyatakan bahwa setiap penambahan waktu penyinaran akan menyebabkan meningkatnya penyisihan konsentrasi COD sebesar 0.048 %. Diperlukan waktu kontak sinar UV dengan larutan agar proses fotokimia dapat berlangsung sempurna. Koefisien regresi untuk variasi jarak lampu menyatakan bahwa setiap pengurangan jarak lampu akan menyebabkan meningkatnya penyisihan konsentrasi COD sebesar 0.75 %. Semakin kecil radius antara sinar UV dan air limbah, maka akan semakin besar *fluks density* yang diterima larutan. *Fluks density* berperan sebagai pengaktif dalam proses pembentukan hidroksil radikal yang nantinya akan mengurai bahan organik dalam limbah.

#### **4.2.2. Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Penurunan Cr**

Industri yang menggunakan proses krom tanning menghasilkan limbah cair yang mengandung krom. Limbah cair maupun lumpur yang mengandung krom ini pada kondisi basa dapat menjadi limbah B3 yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokimia TiO<sub>2</sub>/UV mempunyai kemampuan untuk menurunkan konsentrasi Cr dengan memvariasikan dosis TiO<sub>2</sub>, waktu penyinaran, dan jarak lampu sehingga didapat hasil penurunan konsentrasi Cr yang optimal. Penurunan konsentrasi Cr berkisar antara 21,17 % sampai 83,45 %. Kemampuan terbesar adalah sebesar 83,45 % pada perlakuan dengan dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg, lama penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm, sedangkan

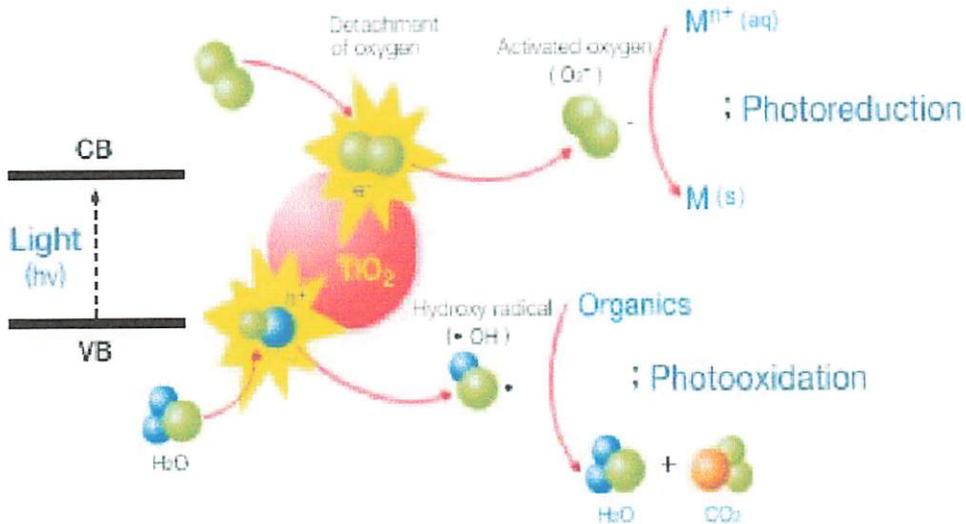
kemampuan terkecil adalah sebesar 21,17 % pada perlakuan dengan dosis TiO<sub>2</sub> 300 mg, lama penyinaran 60 menit, dan jarak lampu 15 cm.

Dosis TiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap efisiensi reduksi logam berat (Cr). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yuliani (1993) diperoleh hasil bahwa dosis TiO<sub>2</sub> yang paling optimum untuk mereduksi logam berat Cr adalah sebesar 400 mg/l diperoleh persentase removal 53 %. Bila dosis terlalu sedikit maka katalis tidak dapat bereaksi sempurna dengan semua partikel yang ada dalam larutan. Sedangkan bila dosis terlalu banyak maka katalis akan bertindak sebagai racun terhadap dirinya sendiri sehingga proses absorpsi foton tidak berjalan dengan baik.

Lama penyinaran untuk reduksi suatu logam berbeda dengan logam lain. Untuk logam Cu membutuhkan waktu kurang lebih tiga jam untuk reduksi sebesar 60 % - 70 % (Rachimoellah, 1991), sedangkan Cr membutuhkan waktu tiga hingga 5 jam untuk reduksi sebesar 50 % - 60 % (Yuliani, 1993). Hal ini dipengaruhi oleh potensial reduksi standart, sehingga logam yang mempunyai potensial reduksi standart cukup besar akan lebih mudah tereduksi (Rio & Masamori, 1982 dalam Mediawati 2005).

Jarak lampu UV berkaitan dengan intensitas penyinaran. Semakin besar intensitas penyinaran maka persen reduksi juga semakin besar. Intensitas sinar mengindikasikan banyaknya *fluk* sinar yang masuk ke dalam reaktor. Semakin banyak sinar yang masuk maka energi yang dibawa akan semakin besar secara kumulatif. Jumlah elektron yang tereksitasi berbanding lurus dengan sinar yang masuk. Hasil percobaan yang menunjukkan bahwa pada sistem intensitas sinar kuat harga persen reduksi tertinggi yang dicapai oleh Cr adalah sebesar 87,99 % (Putty dan Ria, 2004). Jarak berpengaruh terhadap removal COD karena data hasil penelitian menunjukkan pengaruh tersebut melalui analisa statistik yaitu analisa faktorial, korelasi, dan regresi.

Reaksi fotokimia pada larutan yang terkontaminasi polutan mengikuti mekanisme berikut:



Gambar 4.9. Mekanisme reaksi fotokimia  
(sumber: Yulianto & Handayani, 1995)

Ketika semikonduktor tersuspensi (TiO<sub>2</sub>) dalam suatu larutan disinari oleh sinar UV, maka pada permukaan semikonduktor tersebut akan terbentuk pasangan elektron (e<sup>-</sup> dan h<sup>+</sup>). Pada pasangan elektron yang terbentuk di permukaan semikonduktor, muatan positif h<sup>+</sup> akan berpindah menuju area anoda dari semikonduktor yang berkemampuan untuk mengoksidasi HO<sup>-</sup> membentuk HO\* radikal. Sedangkan elektron akan berpindah menuju area katoda dari TiO<sub>2</sub> dan melakukan setengah reaksi reduksi terhadap oksigen dalam limbah cair membentuk H<sub>2</sub>O, apabila kondisi air limbah tidak mengandung oksigen yang memadai karena keberadaan nitrogen dan air limbah mengandung banyak ion logam, maka dalam hal ini elektron diharapkan dapat mereduksi ion logam tersebut (Larson et al. dalam Yulianto & Handayani, 1995):

Hidroksil radikal merupakan oksidator kuat yang sangat reaktif. Komponen hidroksil radikal yang terlarut dapat mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik seperti logam berat Cr. Hidroksil radikal bebas merupakan bentuk spesimen yang dibangkitkan karena kehilangan satu elektronnya sehingga sangat tidak stabil. Ketidakstabilan spesimen ini akan langsung bereaksi dengan senyawa kimia yang kontak dengannya dan akan mengoksidasi dengan sempurna senyawa anorganik Cr (Kito, 1998 dalam Fifiani, 2004). Kemudian polutan dalam limbah cair (dalam hal ini Cr) didegradasi oleh HO\* radikal tersebut membentuk

zat tidak berbahaya seperti asam mineral berupa ion-ion hidrogen dan dikromat (Vogel, 1979). Dari mekanisme reaksi fotokimia (gambar 4.9) dapat diketahui bahwa reaksi yang terjadi pada penguraian ion logam menjadi zat-zat yang tidak berbahaya menggunakan UV/ TiO<sub>2</sub> adalah reaksi fotoreduksi

Beberapa penelitian fotokimia telah dilakukan, diantaranya oleh Tseng dan Huang (dalam Yulianto, 2005) yang memanfaatkan semikonduktor dalam upaya pengolahan limbah organik berbahaya yaitu fenol dengan proses oksidasi fotokatalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan semikonduktor (TiO<sub>2</sub>) pada konsentrasi tertentu (1.0 g/l) berpengaruh pada proses dekomposisi fenol. Penelitian untuk reduksi Cr yang dilakukan Chen dan Ray (2001) membandingkan dosis katalis TiO<sub>2</sub> 1200 mg/l dan 2000 mg/l menunjukkan hasil reduksi Cr masing-masing sebesar 91,7 % dan 94,3 %, sedangkan penelitian fotoreduksi kromium limbah buatan dengan UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oleh Yuliani (2003) menunjukkan bahwa terjadi penurunan sebanyak 60 % dalam 300 menit proses fotokatalisis. Penggunaan fotokimia TiO<sub>2</sub> dan sinar matahari dalam penyisihan Cu limbah buatan menghasilkan efisiensi sebesar 81,44 %, dosis TiO<sub>2</sub> 1000 mg/l, penyinaran 60 menit, dan kedalaman limbah 4 cm (Mediawati, 2005). Pengolahan limbah penyamakan kulit dengan menguji efektifitas serbuk gergaji kayu jati untuk reduksi Cr (Indah, 2005). Pengolahan dilakukan dalam sebuah pipa yang diisi dengan serbuk gergaji teraktivasi HCl 0,4 N. Variasi diameter 16 dan 30 mesh sebagai media adsorpsi. Prosentase penurunan Cr yang terjadi sebesar 46,60 % dengan debit limbah 60 ml/menit, diameter optimum 30 mesh, dan ketinggian media adsorpsi 70 cm.

Hasil analisa korelasi (tabel 4.12) antara konsentrasi Cr dengan dosis TiO<sub>2</sub> menunjukkan semakin besar dosis TiO<sub>2</sub> maka akan semakin menurun konsentrasi Cr. Tingkat signifikansi Cr dan dosis TiO<sub>2</sub> ditunjukkan dengan nilai 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya sangat nyata. Pengaruh lama penyinaran menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka semakin menurun pula konsentrasi Cr. Tingkat signifikansi Cr dan waktu penyinaran ditunjukkan dengan nilai 0,000 lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata. Hal ini diikuti pula bila jarak lampu yang semakin kecil, maka konsentrasi Cr makin menurun. Tingkat signifikansi Cr dan jarak lampu ditunjukkan dengan nilai 0,000 lebih kecil

dari 0,05 maka korelasinya nyata. Konsentrasi Cr dengan dosis  $\text{TiO}_2$  300 mg/l, lama penyinaran 60 menit, dan jarak 15 cm sebesar 3.022 mg/l. Sedangkan Konsentrasi Cr pada dosis yang lebih besar yaitu 900 mg/l dan lama penyinaran, serta pada jarak lebih kecil yaitu 10 cm adalah sebesar 0.79 mg/l.

Analisa regresi digunakan untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antar variabel dalam hal ini adalah konsentrasi Cr, dosis  $\text{TiO}_2$ , waktu penyinaran, dan jarak lampu. Hasil analisa menunjukkan bahwa 98,1 % nilai variabel konsentrasi akhir Cr dipengaruhi oleh dosis  $\text{TiO}_2$ , waktu penyinaran, dan jarak lampu. Interpretasi koefisien regresi menunjukkan koefisien regresi variabel dosis  $\text{TiO}_2$  menyatakan bahwa setiap penambahan dosis  $\text{TiO}_2$  akan meningkatkan penyisihan konsentrasi Cr sebesar 0.072 %. Keberadaan  $\text{TiO}_2$  dalam dosis yang cukup memungkinkan dihasilkan hidroksil radikal yang merupakan oksidator kuat yang sangat reaktif. Komponen hidroksil radikal yang terlarut dapat mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik seperti logam berat Cr. Variabel waktu penyinaran menyatakan bahwa setiap penambahan waktu penyinaran akan menyebabkan meningkatnya penyisihan konsentrasi Cr sebesar 0.076 %. Diperlukan waktu kontak sinar UV dengan larutan agar katalis dapat bereaksi sempurna mulai dari penyerapan foton, interaksi antar medan elektromagnetik, hingga pemecahan senyawa oleh hidroksil radikal. (Larson et al. dalam Yulianto, 2005). Koefisien regresi untuk variasi jarak lampu sebesar menyatakan bahwa setiap pengurangan jarak lampu akan menyebabkan meningkatnya penyisihan konsentrasi Cr sebesar 1.956 %. Semakin kecil radius antara sinar UV dan air limbah, maka akan semakin besar *fluks density* yang diterima larutan. *Fluks density* berperan sebagai pengaktif dalam proses pembentukan hidroksil radikal yang nantinya akan mengurai polutan (Cr).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kandungan COD dan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit dapat diturunkan melalui proses fotokimia UV/TiO<sub>2</sub>.
2. Semakin besar dosis dan waktu penyinaran UV maka semakin besar juga penurunan konsentrasi COD dan Cr. Semakin kecil jarak lampu maka semakin besar penurunan konsentrasi COD dan Cr. Persentase penurunan COD terbesar 40,43 % (dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg/l, waktu penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm). Persentase penurunan Cr terbesar 83,45 % (dosis TiO<sub>2</sub> 900 mg/l, waktu penyinaran 180 menit, dan jarak lampu 10 cm).

#### **5.2. Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan dosis yang lebih besar, dan waktu penyinaran UV lebih lama untuk mengoptimalkan penurunan COD dan Cr.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan melakukan penambahan variasi kedalaman limbah dan sumber sinar yang berbeda seperti sinar matahari yang lebih ramah lingkungan

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts G., Sumestri Sri Santika.; 1987; *Metode Penelitian Air*; Usaha Nasional; Surabaya.
- Fifiani Meria; 2004; *Studi Penurunan Warna Reaktif pada Air Limbah Tekstil dengan Fotokimia UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; Surabaya.
- Gunlazuardi Jarnuzi; *Fotokatalisis pada Permukaan TiO<sub>2</sub> Revolusi Swabersih Berkat Cahaya*; <http://www.chem.ui.ac.id/profil/staff/jnz/jnz2.htm>
- Irwan Lalu; 2005; *Uji Efektifitas Kayu Api terhadap Penurunan BOD dan Krom Limbah Penyamakan Kulit*; Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN; Malang.
- Lestari Indah Tri; 2005; *Uji Efektifitas Serbuk Gergaji Kayu Jati terhadap Penurunan Warna dan Krom Limbah Industri Penyamakan Kulit*; Skripsi Teknik Lingkungan FTSP ITN; Malang.
- Mardina Gebi Dwi; *Reduksi Sianida (Cn) dengan Metode Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; 2003; Surabaya.
- Mediawati Trias Yuniar; 2005; *Studi Penurunan Konsentrasi Tembaga (Cu) pada Sampel Limbah Buatan dengan Metode Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; Surabaya.
- Pujilestari Eva Triyuni; 2006; *Uji Penurunan Surfaktan DBS (Dodecyl Benzene Sulphonat) dengan Oksidasi Fenton (F<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dan UV*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN; Malang.
- Putty D. W. & Ria M. S.; 2004; *Penggunaan Metode Reduksi Fotokatalitik Sistem Heterogen pada Ion Logam Limbah Industri*; Teknik Kimia FTI ITS; Surabaya.
- Setyo; *Studi Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dengan Proses Oksidasi UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; 2004; Surabaya.
- Soleh, Achmad Zanbar; 2005; *Ilmu Statika: Pendekatan Teoritis dan Aplikatif Disertai Contoh Penggunaan SPSS*; Rekayasa Sains; Bandung.
- Sopyan Iis; *Fotokatalisis Film TiO<sub>2</sub> Untuk Aplikasi Lingkungan*; <http://www.iptek.net.id/ind/?ch=jsti&id=178>
- Suhari; 2000; *Studi Penggunaan Fenton (F<sub>2</sub><sup>+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) untuk Penurunan Warna Air Limbah Tekstil pada Proses Koagulasi Flokulasi*; Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; Surabaya.
- Supiani Laila, Patmasari; 1985; *Fotokatalis pada Permukaan TiO<sub>2</sub>*; <http://www.chem.ui.ac.id/riset/TiO2background.ht>
- Vogel; 1985; *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*; Kalman Media Pusaka; Jakarta
- Widiasari Gina; 2006; *Studi Penurunan Zat Warna pada Limbah Pencelupan*

*Benang secara Fotokatalisis UV+(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+FeSO<sub>4</sub>); Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS; Surabaya.*

Yuliani; 1993; *Fotoreduksi Kromium*; Skripsi Teknik Kimia FTI ITS; Surabaya.

Yulianto Mohamad Endy, Handayani Dwi.; 2005; *Kajian Pengolahan Limbah Industri Fatty Alcohol dengan Teknologi Photokatalitik Menggunakan Energi Surya*; Gema Teknologi Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP; Semarang.

L  
A  
M  
P  
I  
R  
A  
N

## Pemeriksaan COD

### 1. Metode

Titrimetri refluks tertutup

### 2. Prinsip

Senyawa organik dalam air dioksidasi oleh larutan kalium dikromat dalam suasana asam sulfat pada temperature 150 C selama 2 jam. Kelebihan kalium dikromat (yang tidak tereduksi) dititrasi dengan larutan fero ammonium sulfat (FAS) memakai indikator feroin. Materi organik yang teroksidasi akan dikalkulasi dengan bentuk ekivalensi oksigen.

### 3. Preaksi

#### 3.1. Larutan standart kalium dikromat 0,0167 M

Tambahkan 4,193 gram  $K_2Cr_2O_7$  yang sebelumnya telah dikeringkan pada suhu 103 C selama 2 jam pada 500 ml air destilasi. Lalu tambahkan 167 ml  $H_2SO_4$  pekat dan 3,33 gram  $HgSO_4$ . Larutkan dan dinginkan sampai suhu kamar kemudian encerkan volumenya menjadi 1000 ml.

#### 3.2. Preaksi asam sulfat

Tambahkan  $Ag_2SO_4$  (bentuk kristal atau bubuk) pada  $H_2SO_4$  pekat dengan perbandingan 5,5 gram  $Ag_2SO_4$  per kg  $H_2SO_4$ . Biarkan selama 1 atau 2 hari hingga seluruh  $Ag_2SO_4$  larut.

#### 1.3. Larutan indikator feroin

1.4. Larutkan 1,485 gram 1,10-Phenantrolin monohidrat dan 695 mg  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dalam air destilasi dan encerkan hingga volumenya 100 ml, lalu larutan indikator feroin diencerkan dengan perbandingan 1: 4 (1 ml larutan indicator feroin dan 4 ml air destilasi) sebelum digunakan.

#### 1.5. Larutan feroin ammonium sulfat (FAS)

Larutkan 39,2 gram  $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$  dalam air destilasi. Lalu tambahkan 20 ml  $H_2SO_4$  pekat dan encerkan hinga volume 1000 ml. Larutan ini harus distandarisasi dengan cara sebagai berikut:

Masukkan 2,5 ml air destilasi, 1,5 ml kalium dikromat dan 3,5 ml pereaksi asam sulfat ke dalam tabung COD. Dinginkan pada temperature kamar, kemudian tambahkan 1 sampai 2 tetes indikator feroin. Titrasi dengan FAS sampai berwarna awal merah kecoklatan. Molaritas FAS yang dipakai dengan rumus:

$$\text{Molaritas FAS} = (\text{ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,1) / \text{ml FAS}$$

#### 4. Cara kerja

- a. Cuci tabung COD dan rendam dalam 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk penggunaan pertama kali.
- b. Masukkan 2,5 ml sampel; 1,5 ml kalium dikromat dan 3,5 ml pereaksi asam sulfat ke dalam tabung COD. Tutup tabung rapat-rapat dan kocok agar tercampur sempurna.
- c. Masukkan pada pemanas COD mikro lalu panaskan pada suhu 150 C selama 2 jam.
- d. Dinginkan pada suhu kamar. Kemudian tuangkan isinya ke dalam wadah yang lebih besar. Tambahkan 1 sampai 2 tetes indikator feroin. Titrasi dengan FAS. Titik akhir titrasi adalah terjadi perubahan warna dari biru kehijauan sampai berwarna kecoklatan. Catat ml FAS yang dipakai untuk titrasi.
- e. Buat blangko dengan air destilasi sebagai pengganti sampel, lalu tyang dipakai untuk titrasi blangko tersebut.

## **CARA PENGUJIAN KROM TOTAL**

### **Metode: AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry)**

Persiapan contoh uji:

a. Untuk logam terlarut

- kocok contoh uji, saring.
- Asamkan sampel pH dibawah 2 dengan HNO<sub>3</sub> pekat.

b. Untuk logam total

1. Kocok contoh uji, ukur 100 ml dimasukkan ke dalam gelas piala.
2. Tambahkan 5 ml HNO<sub>3</sub> pekat, panaskan perlahan-lahan sampai volumenya ± 10-20 ml.
3. Tambahkan lagi 5 ml HNO<sub>3</sub> pekat dan tutup gelas piala dengan gelas arloji kemudian panaskan lagi.
4. Lanjutkan penambahan asam dan pemanasan sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih. Pada waktu pemanasan jangan sampai contoh uji habis.
5. Tuang dalam labu ukur 100 ml. Bilas gelas erlenmeyer dengan air suling dan masukkan bilasannya ke dalam labu ukur tersebut. Tepatkan sampai tanda.

### **Pelaksanaan**

a. Flame (secara langsung)

1. Buat beberapa seri konsentrasi dari masing-masing standart dalam tabung ukur untuk pembuatan kurva kalibrasi.
2. Masukkan contoh uji air yang telah diperlakukan ke dalam Auto Sampler (ASC) sesuai nomor urutnya.
3. Untuk analisa logam Cr tambahkan 10 ml larutan Palladium Nitrat 10 mg/l. Larutan Palladium Nitrat ditambahkan secara otomatis melalui ASC yang telah deprogram lewat komputer.
4. Masukkan contoh uji air ke dalam ASC sesuaikan nomor urutnya.

5. Hidupkan Graphite Furnace Atomizer (GFA), Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), Auto Sampler (AS), blower dan pengatur suhu.
6. Hidupkan komputer dan masuk ke lunak AA-Wizard.
7. Pilih menu pada perangkat lunak dan masukkan kode contoh uji air dan posisi kode contoh uji air yang sesuai dengan nomor posisi yang ada di AS (sesuaikan urutan kode contoh uji air pada perangkat lunak dengan posisi contoh uji pada alat pengambil contoh uji air otomatis/AS)
8. Buka katup gas argon.
9. Melalui menu parameter di komputer pilih edit parameter untuk menghidupkan lampu yang sesuai dengan logam yang dianalisa. Kemudian lakukan line search untuk penentuan panjang gelombang max dan beam balance untuk pengaturan keseragaman intensitas sinar sehingga sinar tersebut tetap pada panjang gelombang max yang telah dicapai pada waktu line search. Tunggu sampai line search dan beam balance OK.
10. Jika pada waktu line search dan beam balance menunjukkan OK, maka range angka yang menunjukkan lamp current dirubah sampai line search dan beam balance OK.
11. Lakukan pembuatan kurva kalibrasi dengan menggunakan beberapa konsentrasi larutan standart (jika belum ada kurva kalibrasi atau jika cek standart tidak memenuhi toleransi). Untuk analisa Cr tambahkan larutan Palladium Nitrat 10 mg/l sebanyak 10 µl pada tiap-tiap contoh uji.
12. Lakukan pengolahan larutan standart sampai sampel untuk cek standart toleransi kesalahan untuk cek standart mengacu pada Prosedur Metode Analisa, Verifikasi dan Validasi Metode No. Dok QP/LKA/LS. Jika cek standart sudah memenuhi toleransi, lakukan analisa duplo terhadap salah satu uji.
13. Hasil diterima jika cek standart dan duplo memenuhi toleransi.

# COD (Chemical Oxygen Demand)

## a. Analisa Faktorial

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: konstr COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10355.198(a)	19	545.010	8797.787	.000
Intercept	930066.383	1	930066.383	15013521.284	.000
ulangan	.132	2	.066	1.066	.356
dosis_TiO2	7177.300	2	3588.650	57929.489	.000
lama_sinar	1277.076	2	638.538	10307.546	.000
jrk_lampu	639.427	1	639.427	10321.903	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar	824.844	4	206.211	3328.746	.000
dosis_TiO2 * jrk_lampu	221.625	2	110.812	1788.778	.000
lama_sinar * jrk_lampu	98.811	2	49.406	797.527	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar * jrk_lampu	115.983	4	28.996	468.062	.000
Error	2.106	34	.062		
Total	940423.687	54			
Corrected Total	10357.304	53			

a R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

## b. Analisa Korelasi

### Correlations

		dosis TiO	lama penyinaran	jarak lampu	rerata COD
dosis TiO	Pearson Correlation	1	.000	.000	.788(**)
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	1.000	.000
	N	18	18	18	18
lama penyinaran	Pearson Correlation	.000	1	.000	.326
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	1.000	.186
	N	18	18	18	18
jarak lampu	Pearson Correlation	.000	.000	1	-.263
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	.	.292
	N	18	18	18	18
rerata COD	Pearson Correlation	.788(**)	.326	-.263	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.186	.292	.
	N	18	18	18	18

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

### c. Analisa Regresi

**Variables Entered/Removed(b)**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	jarak, lama, dosis(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: prsnCOD\_turun

**Model Summary(b)**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.892(a)	.796	.752	3.65357	1.157

a Predictors: (Constant), jarak, lama, dosis

b Dependent Variable: prsnCOD\_turun

**ANOVA(b)**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	729.804	3	243.268	18.224	.000(a)
	Residual	186.880	14	13.349		
	Total	916.685	17			

a Predictors: (Constant), jarak, lama, dosis

b Dependent Variable: prsnCOD\_turun

**Coefficients(a)**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	22.797	5.309		4.294	.001
	dosis	.023	.004	.788	6.529	.000
	lama	.048	.018	.326	2.704	.017
	jarak	-.750	.344	-.263	-2.177	.047

a Dependent Variable: prsnCOD\_turun

# Cr (Krom)

## a. Analisa Faktorial

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: konstr\_Cr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43.832(a)	19	2.307	2420306.038	.000
Intercept	305.487	1	305.487	320499928.398	.000
ulangan	.000	2	.000	2.584	.090
dosis_TiO2	38.724	2	19.362	20313734.947	.000
lama_sinar	1.712	2	.856	898174.717	.000
jr_k_lampu	2.942	1	2.942	3086438.711	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar	.114	4	.029	29970.213	.000
dosis_TiO2 * jr_k_lampu	.176	2	.088	92078.392	.000
lama_sinar * jr_k_lampu	.137	2	.069	71956.648	.000
dosis_TiO2 * lama_sinar * jr_k_lampu	.026	4	.007	6900.145	.000
Error	.000	34	.000		
Total	349.319	54			
Corrected Total	43.832	53			

a R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

## b. Analisa Korelasi

### Correlations

		dosis TiO2	lama penyinaran	jarak lampu	rerata Cr
dosis TiO2	Pearson Correlation	1	.000	.000	.937(**)
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	1.000	.000
	N	18	18	18	18
lama penyinaran	Pearson Correlation	.000	1	.000	.198
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	1.000	.431
	N	18	18	18	18
jarak lampu	Pearson Correlation	.000	.000	1	-.259
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	.	.299
	N	18	18	18	18
rerata Cr	Pearson Correlation	.937(**)	.198	-.259	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.431	.299	.
	N	18	18	18	18

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

### c. Analisa Regresi

#### Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	jarak, lama, dosis(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: prsnCr\_turun

#### Model Summary(b)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.992(a)	.984	.981	2.66946	.700

a Predictors: (Constant), jarak, lama, dosis

b Dependent Variable: prsnCr\_turun

#### ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6301.865	3	2100.622	294.782	.000(a)
	Residual	99.764	14	7.126		
	Total	6401.629	17			

a Predictors: (Constant), jarak, lama, dosis

b Dependent Variable: prsnCr\_turun

#### Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	22.252	3.879		5.737	.000
	dosis	.072	.003	.937	28.086	.000
	lama	.076	.013	.198	5.928	.000
	jarak	-1.956	.252	-.259	-7.770	.000

a Dependent Variable: prsnCr\_turun

# Hasil Uji Duncan COD

## Konsentrasi Akhir COD

konstr\_COD

dosiaamax/jk	N	Subset																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Duncan <sup>a,b</sup>	18	3	118.31000																	
	17	3		118.18333																
	15	3			119.44000															
	16	3				120.61667														
	12	3					121.33000													
	14	3						122.46667												
	11	3							123.56667											
	13	3								124.67333										
	9	3									125.26000									
	10	3										127.56000								
	8	3											129.21333							
	7	3												130.63000						
	6	3													131.53333					
	5	3														133.04333				
	3	3															141.12333			
	2	3																155.07667		
	4	3																	158.03000	
	1	3																		164.23000
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .062.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

# Hasil Uji Duncan Cr

## Konsentrasi Akhir Cr

		konstr_Cr																		
		Subset																		
dosia	lamax	rk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Duncan <sup>a</sup>	18	3	.79287																	
	17	3		.98800																
	16	3			1.18967															
	15	3				1.23333														
	14	3					1.64233													
	13	3						1.84433												
	12	3							2.15967											
	11	3								2.27233										
	9	3									2.32667									
	10	3										2.46933								
	8	3											2.64467							
	7	3												2.95033						
	6	3													3.02267					
	5	3														3.15500				
	4	3															3.25633			
	3	3																3.42400		
	2	3																	3.57533	
	1	3																		3.76600
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

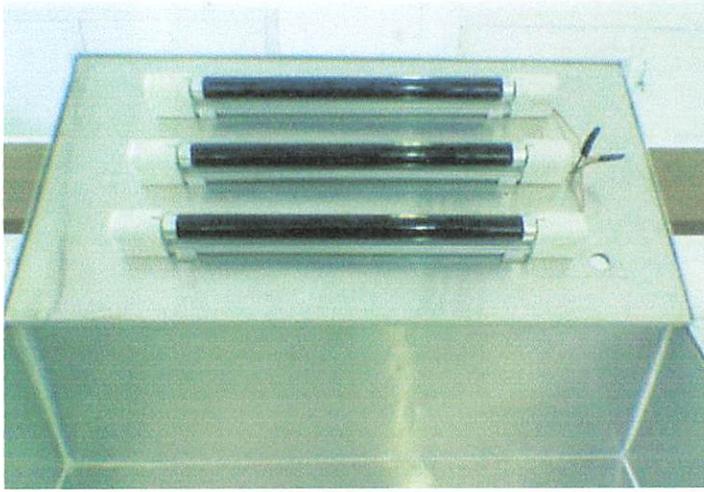
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

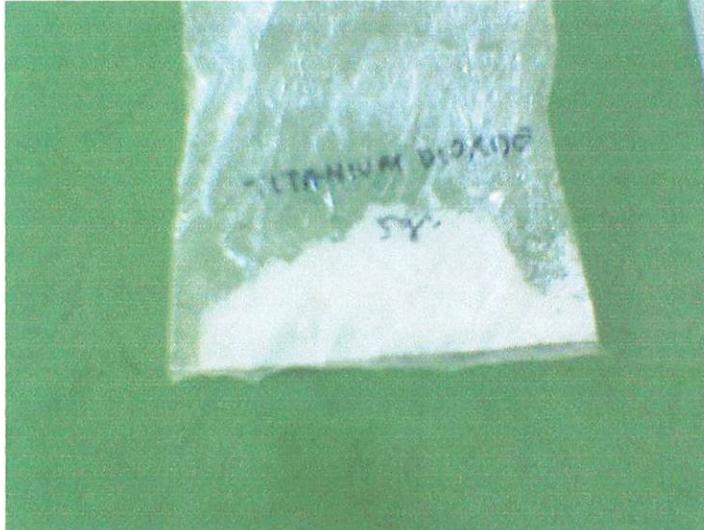
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.



**Reaktor**



**Titanium Dioksida**



**Sampel limbah sebelum diolah**



**Sampel limbah setelah diolah**