

<b>PERPUSTAKAAN FTSP UII</b>	
<b>HADIAH/BELI</b>	
TGL. TERIMA :	15 September 2005
NO. JUDUL :	001717
NO. INV. :	5120001717001
NO. INDIK. :	

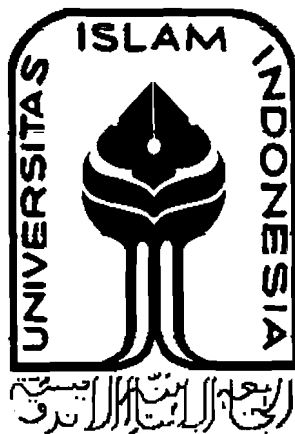
**LAPORAN PENELITIAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENURUNAN KONSENTRASI LIMBAH CAIR INDUSTRI  
TAPIOKA DENGAN REAKTOR *CONSTRUCTED WETLANDS*  
MENGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK  
(*Eichornia crassipes*)**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan

Rs  
628.1622  
Fai  
1  
1



xi, 105. 628.1622, lamp. 28

Disusun Oleh :

Nama : FAISAL  
No. Mhs : 00 513 016

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGJAKARTA  
2005

• Air Ceruh  
• Coagulation  
Eichornia crassipes

## TUGAS AKHIR

### PENURUNAN KONSENTRASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA DENGAN REAKTOR *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)

Nama : FAISAL  
No. Mahasiswa : 00 513 016  
Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui Oleh



Dosen Pembimbing I

Ir. Kasam, MT

Tanggal : 10-5-2005

Dosen Pembimbing II

Eko Siswoyo, ST

Tanggal : 14-5-2005

---

## ABSTRAK

---

Adanya sistem pengolahan limbah cair memberikan pengaruh yang sangat besar untuk menjaga kualitas perairan. *Constructed Wetlands* merupakan sistem pengolahan limbah cair konvensional yang mudah, murah dan memiliki efisiensi pengolahan yang tinggi, sistem ini merupakan salah satu alternatif pengolahan yang sangat tepat untuk dikembangkan dalam mengolah limbah cair industri, salah satunya industri Tapioka. Prinsip dasar sistem ini dengan memanfaatkan peranan dari aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam mengurai bahan-bahan pencemar.

Penelitian ini menggunakan sistem pengolahan *constructed wetlands Type Free Water Surface* dengan metode *batch*. Penelitian ini menggunakan enam buah reaktor dengan dimensi tiap reaktor adalah 1 m x 0,5 m x 0,5 m. Reaktor penelitian ini terdiri dari lima variasi konsentrasi air limbah yaitu konsentrasi air limbah 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dengan tanaman Eceng Gondok sebanyak 30 buah tanaman setiap reaktor dan satu reaktor kontrol dengan konsentrasi air limbah 100% tanpa tanaman Eceng Gondok. Penelitian ini dilakukan dengan waktu detensi pengolahan limbah selama 10 hari dan dilakukan pengambilan air limbah dalam reaktor untuk uji analisa pada waktu hari ke 2, 4, 6, 8, dan 10

Penurunan parameter dari BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, dan Sianida dalam *constructed wetlands* berdasarkan efisiensi pengolahan limbah adalah BOD<sub>5</sub> sebesar 97,94%, COD sebesar 84,35%, TSS sebesar 45,62%, Sianida sebesar 99,87%. Proses penurunan ini dikarenakan adanya aktivitas dari mikroorganisme yang hidup dalam reaktor dan tanaman Eceng Gondok, di dalam menguraikan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air limbah menjadi energi dan nutrisi untuk pertumbuhannya.

**Kata Kunci :** *Constructed Wetlands*, BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Sianida

---

---

---

## *KuPersembahkan*

*A* *Lhamdulillah ya Allah yang maha pengasih dan penyayang yang telah  
mengaruniakan ilmu yang akan membawa manusia kederajad yang lebih  
baik. KuPersembahkan karya ini kepada kedua orang tuaku dan keluargaku yang  
membimbing dan mengajari semua ini, dengan penuh doa dan harapan yang tinggi  
untuk mencapai titik kepahaman dalam menuntut ilmu*

*“Ananda 11, apfil, 2005”*

---

*Tuhan...  
Dengan apa aku melangkah?  
Di atas bumi, tanah berbatu  
Licin, aku tergelincir  
Meskipun mata tak terpejam  
Namun jalanku terasa gelap  
Aku tersesat  
Hilang arah tanpa pengarah.  
Tuhan..... Yang 'Alim  
Curahkan aku setetes ilmu  
Embun penyejuk  
Bagi kepala sebesar tempurung  
Izinkanlah  
Aku berjalan dengannya  
Tegap tanpa tongkat  
Akhirat kurenggut  
Dunia mengikut*

*"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat."  
(QS. Al-Mujadalah: 11)*

*HambaMU*

---

## KATA PENGANTAR

---

*Assalammu'alaikum Wr. Wb*

*A*lhamdulillahi rabbil'alamin. Segala puji dan syukur bagi Allah, Tuhan semesta alam, semoga Allah SWT perjalankan kita dalam kebaikan dan kebenaran. Shalawat dan salam, semoga senantiasa kita haturkan untuk junjungan kita Nabi Muhammad *shallallahu'laihi wa'ala'alihi wasalam. Allahumma amin.*

Ada rasa bangga dan bahagia dengan selesainya rangkaian laporan Tugas Akhir ini, yang merupakan salah satu bagian persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik (S-1) Program Studi Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rangkaian ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya pada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) dengan judul Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Industri Tapioka Dengan Reaktor *Constructed Wetlands* Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). Terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Bapak Ir, Kasam, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
2. Bapak Eko Siswoyo, ST selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.

- 
3. Bapak Andik Yulianto, ST selaku koordinator pelaksanaan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
  4. Bapak Sucipto selaku penasehat proses produksi industri tapioka Banjarnegara, yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian terhadap sampel limbah cair industri tapioka di Banjarnegara.
  5. Bapak Sigit Budianto selaku tenaga ahli Sistem Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri tapioka Banjarnegara, yang telah memberikan izin, pengarahan dan ide-ide dalam proses penelitian oleh penulis.
  6. Bapak Tasiono, AMd, bapak Samsudin dan bapak Sri Widodo AMd selaku pembina laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UH, yang memberikan masukan dan pembinaan bagi penulis dalam analisa laboratorium.
  7. Bapak Bambang, S.Si selaku dosen Bioteknologi Lingkungan AKPRIN yang memberikan masukan dan analisa statistik.
  8. Bapak Hudori, ST dan Bapak Lukman Hakim ST, Msi selaku dosen Teknik Lingkungan UH yang memberikan masukan-masukan bagi penulis di dalam proses penelitian dan penyusunan laporan ini.
  9. Ibu Yanti, AMd selaku analisa laboratorium Balai Laboratorium Kesehatan (BLK) Jogjakarta, yang memberikan masukan bagi penulis.
  10. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan material demi kelancaran penelitian Tugas Akhir ini.

---

11. Ustad Sarwadi, mas Didik, mas Mirja, Irvan, pak Mangkuh yang membantu penulis dalam melakukan penelitian selama di lapangan.

---

12. Semua pihak-pihak, instansi-intansi, universitas yang membantu sarana dan prasarana dalam penyusunan dan penelitian Tugas Akhir ini.

Penulis sepenuhnya menyadari masih banyak kekurangan-kekurangan dalam penulisan penelitian Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mohon maaf dan mengharapkan masukan-masukan, saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi peningkatan dan pengembangan dari penelitian selanjutnya. Dengan hasil penyusunan penelitian Tugas Akhir ini semoga dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan terutama bagi penulis.

*Wassalammu'alaikum Wr. Wb*

Jogjakarta, April 2005

Penulis

---



---

## DAFTAR ISI

---

ABSTRAK.....	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.1.1 <i>Constructed Wetlands</i> .....	6
2.1.2 Mekanisme Sistem Pengolahan <i>Wetlands</i> .....	8
2.1.3 <i>Suspended Solids Dalam Constructed Wetlands</i> .....	18
2.1.4 <i>Biological Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>) Constructed                     Wetlands</i> .....	19
2.1.5 <i>Chemical Oxygen Demand (COD) Constructed                     Wetlands</i> .....	21
2.1.6 Asam Sianida (HCN).....	22
2.2 Tanaman Eceng Gondok ( <i>Eichornia crassipes</i> ).....	24

---

2.2.1	Pertumbuhan Eceng Gondok.....	26
2.2.2	Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok.....	28
2.2.3	Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Industri	
	Tapioka.....	29
2.3	Hipotesa.....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>34</b>
3.1	Tempat Penelitian.....	34
3.2	Waktu Penelitian.....	34
3.3	Parameter Penelitian.....	34
3.4	Desain <i>Constructed Wetlands</i> .....	35
3.5	Metode Pelaksanaan Penelitian.....	36
	3.5.1 Kualitas Air Limbah.....	36
	3.5.2 Tanaman Eceng Gondok .....	38
3.6	Metode Analisa Laboratorium.....	38
3.7	Metode Analisa Data.....	39
3.8	Alat dan Bahan Penelitian.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>41</b>
4.1	Analisa Pertumbuhan Tanaman Dalam Reaktor.....	41
	4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka	
	Terhadap Daya Serap Akar Tanaman.....	54
	4.1.2 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka	
	Terhadap Pertumbuhan Panjang Tanaman.....	55
	4.1.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka	

---

Terhadap Pertumbuhan Luas Daun Tanaman.....	56
4.2 Analisa Kualitas Air Limbah Industri Tapioka.....	57
4.2.1 Penurunan Konsentrasi BOD <sub>5</sub> .....	58
4.2.2 Penurunan Konsentrasi COD.....	65
4.2.3 Penurunan Konsentrasi TSS.....	70
4.2.4 Penurunan Konsentrasi Sianida (CN).....	76
4.3 Uji Statistik Parameter-parameter Pencemar.....	80
4.3.1 Uji Statistik Parameter BOD <sub>5</sub> .....	80
4.3.2 Uji Statistik Parameter COD.....	85
4.3.1 Uji Statistik Parameter TSS.....	90
4.3.1 Uji Statistik Parameter Sianida.....	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....	I
LAMPIRAN	

---

---

## DAFTAR TABEL

---

Tabel 2.1	<i>Treatment Wetlands Average Performance</i> .....	7
Tabel 2.2	Fungsi Komponen-komponen Tanaman dalam <i>Wetlands</i> .....	11
Tabel 2.3	Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka.....	32
Tabel 2.4	Baku Mutu Limbah Cair Industri Tapioka yang Beroperasi.....	32
Tabel 3.1	Parameter-parameter Penelitian.....	35
Tabel 3.2	Perhitungan Dimensi Reaktor Penelitian.....	36
Tabel 3.3	Variasi Konsentrasi Limbah Cair Tapioka.....	37
Tabel 3.4	Parameter Pengamatan Pertumbuhan Tanaman.....	38
Tabel 4.1	Kondisi Air Limbah Reaktor Control.....	42
Tabel 4.2	Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 100%.....	44
Tabel 4.3	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 100%.....	45
Tabel 4.4	Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 80%.....	47
Tabel 4.5	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 80%.....	48
Tabel 4.6	Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 60%.....	49
Tabel 4.7	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 60%.....	50
Tabel 4.8	Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 40%.....	51
Tabel 4.9	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 40%.....	52
Tabel 4.10	Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 20%.....	53
Tabel 4.11	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 20%.....	54
Tabel 4.12	Hasil Analisa Removal BOD <sub>5</sub> .....	58
Tabel 4.13	Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok.....	64
Tabel 4.14	Hasil Analisa Removal COD.....	65

Tabel 4.15	Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok.....	70
Tabel 4.16	Hasil Analisa Removal TSS.....	71
Tabel 4.17	Hasil Analisa Removal Sianida (CN).....	76
Tabel 4.18	Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok.....	79
Tabel 4.19	Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar BOD <sub>5</sub> .....	81
Tabel 4.20	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD <sub>5</sub> .....	82
Tabel 4.21	Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD <sub>5</sub> .....	82
Tabel 4.22	Nilai Homogeneous Subsets Konsentrasi Air Limbah Terhadap BOD <sub>5</sub> .....	83
Tabel 4.23	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar BOD <sub>5</sub> .....	84
Tabel 4.24	Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD <sub>5</sub> .....	84
Tabel 4.25	Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar COD.....	86
Tabel 4.26	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar COD .....	87
Tabel 4.27	Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar COD .....	87

Tabel 4.28	Nilai Homogeneous Subsets Konsentrasi Air Limbah Terhadap COD .....	88
Tabel 4.29	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar COD .....	89
Tabel 4.30	Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar COD .....	89
Tabel 4.31	Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar TSS.....	90
Tabel 4.32	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar TSS .....	91
Tabel 4.33	Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar TSS .....	92
Tabel 4.34	Nilai Homogeneous Subsets Konsentrasi Air Limbah Terhadap TSS .....	93
Tabel 4.35	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar TSS.....	93
<del>Tabel 4.36</del>	<del>Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar COD .....</del>	<del>94</del>
Tabel 4.37	Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar Sianida.....	95
Tabel 4.38	Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar Sianida .....	96

---

<b>Tabel 4.39 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah</b>	
Terhadap Kadar Sianida .....	96
<b>Tabel 4.40 Nilai Homogeneous Subsets Konsentrasi Air Limbah Terhadap Sianida .....</b>	<b>97</b>
<b>Tabel 4.41 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar. Sianida.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabel 4.42 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar Sianida .....</b>	<b>98</b>

---

---

## DAFTAR GAMBAR

---

Gambar 2.1	<i>Constructed Wetlands</i> Type FWS.....	9
Gambar 2.2	<i>Constructed Wetlands</i> Type SSF.....	10
Gambar 2.3	Siklus Pertumbuhan Bakteri <i>Autotrouphs</i> dan <i>Heterotrouphs</i> .....	14
Gambar 2.4	Reaktor Sistem <i>Constructed Wetlands</i> .....	17
Gambar 2.5	Reaktor Sistem <i>Constructed Wetlands</i> Bertingkat.....	17
Gambar 2.6	Diagram Proses Produksi dan Sumber limbah Industri Tapioka...	30
Gambar 2.7	Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 4.1	Hubungan Konsentrasi BOD <sub>5</sub> Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu.....	59
Gambar 4.2	Hubungan Konsentrasi COD Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu.....	65
Gambar 4.3	Hubungan Konsentrasi TSS Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu.....	71
Gambar 4.4	Hubungan Konsentrasi Sianida (CN) Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu.....	77

---



---

## BAB I

---

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada saat ini negara Indonesia telah dituntut secara global untuk melaksanakan program pembangunan yang berwawasan lingkungan di segala bidang, terutama di bidang perindustrian. Salah satu industri yang banyak ditemukan di Indonesia baik yang berskala besar maupun kecil (*home industri*), adalah industri tapioka yaitu industri yang mengolah bahan baku singkong menjadi tepung tapioka.

Industri Tapioka merupakan industri yang keberadaannya dalam skala besar maupun kecil (*home industri*). Di mana keduanya sama-sama menghasilkan limbah cair maupun limbah padat dengan kandungan organik yang sangat tinggi dari proses produksinya. Tapioka merupakan tepung yang berbahan baku dari ketela pohon, yang merupakan salah satu bahan baku utama industri makanan, industri farmasi, industri tekstil, industri perekat, dan lain – lain. Proses produksi industri tapioka akan menghasilkan limbah cair dan padat. Sumber limbah cair industri tapioka dihasilkan dari proses pembuatan, baik dari pencucian bahan baku sampai pada proses pemisahan pati dari airnya atau proses pengendapan. Limbah padat dihasilkan dari proses pengupasan ketela pohon dari kulitnya yaitu berupa kotoran tanah dan kulit ketela, serta pada waktu pemrosesan ketela yang berupa ampas yang sebagian besar berupa serat dan pati. Penanganan yang kurang tepat

---

terhadap hasil buangan padat dan cair ini akan menghasilkan gas yang mencemari udara dan bau.

---

Penanganan limbah industri tapioka selama ini belum ada upaya untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari kegiatan proses produksinya. Hal ini dikarenakan beberapa faktor penghambat yang sampai saat ini belum bisa diselesaikan dengan baik. Faktor pertama adalah bahwa untuk mengolah limbah industri tapioka tersebut diperlukan sebuah sistem pengolahan yang cukup rumit, karena kandungan zat padat tersuspensi (*suspended solid*) dan bahan-bahan organiknya yang sangat tinggi, kandungan racun Sianida, COD dan BOD serta pH yang bersifat asam. Faktor kedua adalah faktor biaya. Biaya pengolahan limbah yang cukup mahal seringkali menjadi kendala bagi pihak industri, sehingga banyak industri yang belum mengolah limbahnya dengan baik. Hal ini mengakibatkan seringnya timbul permasalahan lingkungan, yaitu tercemarnya badan air yang menjadi tempat pembuangan limbah tapioka. Kandungan limbah yang dibuang ke sungai pada umumnya di atas ambang baku mutu yang diberlakukan pemerintah. Sehingga limbah yang dibuang ke sungai sebelum diolah dapat mencemari dan mengubah estetika sungai.

---

Pengaruh dari pembuangan limbah cair industri tapioka secara langsung ke badan air akan berdampak juga bagi masyarakat yang menggunakan air sungai tersebut antara lain terserangnya penyakit gatal – gatal, keracunan yang akan menyebabkan kematian pada ikan apabila limbah tersebut masuk kedalam kawasan tambak ikan. Dampak yang sangat dirasakan oleh masyarakat yang

---

bertempat tinggal dekat dengan industri tapioka adalah bau yang sangat menyengat.

---

Untuk menghasilkan produk limbah cair yang dapat memenuhi standar baku mutu limbah cair yang telah ditentukan, maka sebelum limbah cair tersebut dibuang ke badan air, terlebih dahulu dilakukan pengolahan. Bentuk atau teknik pengolahan tersebut tergantung pada sumber dan karakteristik air limbah serta parameter yang akan diturunkan konsentrasinya. Secara umum sistem pengolahan limbah cair di kategorikan kedalam tiga sistem pengolahan yaitu secara fisik, kimia, biologi.

Dengan adanya permasalahan tersebut, maka timbul alternatif-alternatif pengolahan limbah cair yang dapat diterapkan dalam sistem pengolahan limbah cair industri tapioka. Salah satu sistem pengolahan limbah cair konvensional yang mudah, murah dan mempunyai efisiensi pengolahan yang tinggi dan dapat mengatasi faktor-faktor keterbatasan dari industri kecil adalah dengan menggunakan konsep *natural treatment* yang memanfaatkan keanekaragaman hayati atau *constructed wetlands*. Konsep pengolahan ini dengan memanfaatkan aktivitas tanaman dan mikroorganisme yang hidup di dalam vegetasi air di area tersebut, yang dapat menguraikan konsentrasi-konsentrasi limbah cair sebagai bahan nutriennya. Tanaman yang biasa digunakan adalah Cattail, rumput gajah, Eceng Gondok dan lain-lain yang semuanya cukup banyak tersedia dan mudah didapatkan di mana saja. Proses-proses yang terjadi dalam sistem pengolahan ini adalah sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi, sedangkan untuk pengolahan biologis dan kimia terjadi proses dari aktivitas mikroorganisme sebagai *microbial*

---

*degradation of contaminants* dalam reaktor dan aktivitas tanaman seperti proses fotosintesis<sup>1</sup>.

---

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dari industri tapioka tersebut, maka dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah guna untuk mempermudah kerangka berpikir yang sistematis. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

- a. Apakah *constructed wetlands* dapat menurunkan konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, TSS dan CN yang terdapat dalam limbah cair industri tapioka dan seberapa besar efisiensi penurunannya ?
- b. Sejauh mana kemampuan tanaman Eceng Gondok dapat mengadsorpsi konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, TSS dan CN yang terdapat dalam limbah cair industri tapioka ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

---

~~Tujuan dari penelitian pengolahan limbah cair industri tapioka dengan~~  
*constructed wetlands* ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui tingkat penurunan dari konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, TSS dan CN serta tingkat efisiensi pengolahan limbah cair industri tapioka dengan *constructed wetlands*.

---

<sup>1</sup> Metcalf & Eddy, 1993

- 
- b. Untuk mengetahui peranan dari tanaman Eceng Gondok terhadap penurunan konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, TSS dan CN pada limbah cair industri tapioka.
- 

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Memberikan salah satu alternatif pengolahan terhadap limbah cair industri tapioka.
- b. Meminimalisasi terjadinya pencemaran di badan air, akibat limbah tapioka yang dibuang ke sungai secara langsung.
- c. Dapat digunakan sebagai bahan kajian lebih lanjut, apakah hasil *treatment* ini dapat digunakan secara langsung untuk pengaliran tanaman dan industri lain.

#### 1.5 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang ditentukan dan agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan keinginan sehingga tidak terjadi penyimpangan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. ~~Jenis reaktor *wetlands* yang digunakan adalah *Free Water Surface* (FWS).~~
- b. Tanaman yang digunakan berupa tanaman Eceng Gondok.
- c. Bahan baku limbah berasal dari industri tapioka.
- d. Konsentrasi atau parameter limbah berupa BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, dan CN.

---

## BAB II

---

### TINJAUAN PUSTAKA

---

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 *Constructed Wetlands*

*Constructed wetlands* secara umum didefinisikan suatu perencanaan ekosistem lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang dapat ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme atau komunitas hewan<sup>2</sup>, yang kondisinya dibuat sesuai dengan bentuk *wetlands* alaminya, dengan tujuan untuk meminimalisasikan kandungan konsentrasi air limbah yang berpotensi menyebabkan pencemaran air<sup>3</sup>. Daya tarik *wetlands* dalam pengolahan limbah sangat menarik perhatian khusus, karena kelebihan dan kesederhanaannya tetapi memiliki kemampuan proses minimalisasi limbah yang tinggi, ada tiga fungsi dasar dari *wetlands* yang menjadikan sistem pengolahan limbah cair ini sangat potensial<sup>4</sup> yaitu :

- a. Secara fisik mampu menahan atau menangkap kandungan-kandungan ~~*pollutants* yang terdapat di permukaan tanah dan senyawa-senyawa organik~~ dalam limbah.
- b. Memanfaatkan (*Utilization*) dan sebagai *transformation* dari berbagai macam aktifitas jenis mikroorganisme.
- c. Memerlukan energi dan syarat pemeliharaan yang rendah dan mudah untuk menghasilkan pengolahan yang baik.

---

<sup>2</sup> Cowardin dkk, 1979

<sup>3</sup> NRCS, 2001

<sup>4</sup> Chan, E., T.A. Bursztynsky, 1981

Berikut tabel 2.1 hasil efisiensi removal terhadap beberapa parameter pencemar yang dilakukan pengolahan dengan sistem *constructed wetlands*

Tabel 2.1 *Treatment Wetlands Average Performance*

Pollutant	Concentration (mg/L)		Removal Efficiency
	In	Out	(%)
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	110	7	94
Chemical Oxygen Demand (COD)	3,000	50	98
Total Suspended Solids	46	13	72
Total Ammonia Nitrogen	5	2.4	52
Nitrate + Nitrite Nitrogen	5.5	2.1	62
Total Phosphorus	3.8	1.7	56
Volatile Organic Compounds	16	0.8	95
Phenols	38	8.6	74
Benzene	0.5	0	100
Xylenes	10	0	100
Trichloroethane	4.4	0	100

Sources : North American Treatment Database-NADB (1993), API (1998), and Komex (2000)

Definisi umum *wetlands* lainnya berupa tanah transisi antara bagian daratan dan perairan di mana sebagian besar komposisinya berupa air. *Natural treatment wetlands* ini efektif untuk mengolah air limbah di mana prinsip pengolahan limbah cair dengan *constructed wetlands* ini memanfaatkan peranan aktivitas mikroorganisme atau bakteri sebagai *mikrobal degradation of contaminants*<sup>5</sup> yang terdapat di dalam limbah dan di permukaan air atau yang hidup di akar, batang tanaman dan peranan tanaman (*vegetation*) air di area tersebut. Proses pengolahan yang terjadi di dalam *wetlands* tersebut berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada *constructed*

<sup>5</sup> Luckeydoo et al, 2002

---

*wetlands* terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas dari tanaman, yaitu berupa proses fotosintesis<sup>6</sup>

---

Variabel - variabel perencanaan pada *constructed wetlands* meliputi : kapasitas debit air limbah yang dialirkan, beban organik limbah yang tertentu, kedalaman media tanah maupun air, serta adanya pemeliharaan tanaman yang digunakan selama proses pengolahan.

### 2.1.2 Mekanisme Sistem Pengolahan *Wetlands*

Berdasarkan definisi dari *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *Water Pollution Control Federation* sistem pengolahan pada *constructed wetlands* dikategorikan menjadi dua tipe yaitu :

a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini berbentuk kolam atau saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* alami atau lapisan tanah, yang mana kandungan air pada sistem ini dangkal. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah atau keluarnya air limbah dari kolam atau saluran tersebut. Komposisi utama pada sistem *Free Water Surface* (FWS) adalah tanah sebagai substrat untuk tempat hidupnya tanaman air. Pada sistem FWS ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail*, *reed*, *seadge* dan *rush*. Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem FWS ini adalah :

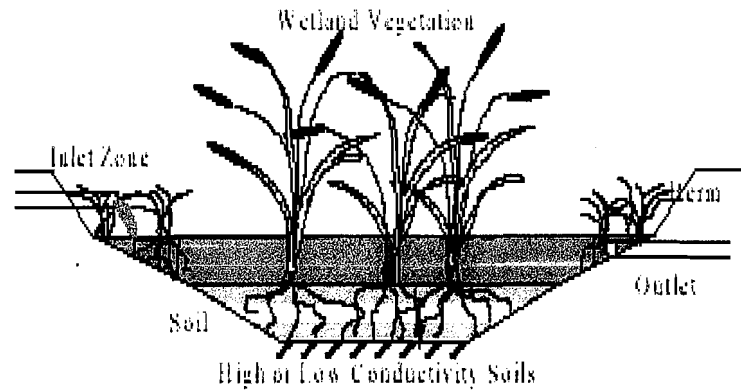
- Kedalaman air relatif dangkal
- *Velocity* atau kecepatan air rendah (*low*)

---

<sup>6</sup> Metcalf & Eddy, 1993



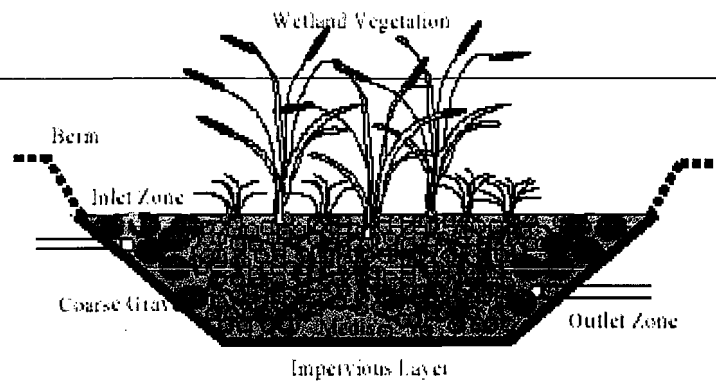
- 
- Keberadaan batang dan sisa-sisa tanaman yang mempengaruhi aliran air
  - Lebih efisien digunakan pada saluran atau area yang panjang
- 



Gambar 2.1 *Constructed Wetlands Type FWS*

b. Sistem *Sub Surface Flows (SSF)*

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan sistem *free water surface* hanya pada jumlah air pada sistem ini hampir seluruh tanaman air hidup menggantung pada permukaan air. Pada SSF media yang digunakan berupa media berpori antara lain : kerikil dan pasir kasar. Proses yang terjadi pada sistem SSF ini berupa filtrasi, adsorpsi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan adsorpsi terhadap tanah dan bahan organik akibat adanya aktivitas dari akar tanaman.



Gambar 2.2 *Constructed Wetlands* Type SSF

Pada sistem pengolahan *constructed wetlands* ini terdapat dua jenis pengaliran air limbah yaitu secara horizontal (*sub surface flow wetlands*) dan jenis pengaliran secara vertikal (*vertical flow wetlands*). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pengolahan *wetlands* antara lain :

a. Tanaman

Dalam sistem pengolahan *constructed wetlands*, jenis tanaman yang digunakan tergolong dalam jenis tanaman yang memerlukan kadar air yang tinggi, tanaman ini merupakan komponen terpenting dari *constructed wetlands* yang mampu mentransformasikan nutrisi melalui proses fisik, kimia, dan mikrobiologi (biologis). Tanaman sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan proses pengendapan dari partikel *suspended*. Jenis tanaman yang sering digunakan dalam *constructed wetlands* yaitu : tanaman *duckweed*, *reeds*, *cattail*, *water hyacinth*, dan *bulrush*, untuk tanaman *cattail* dan *reeds* akan lebih praktis jika digunakan dalam sistem pengolahan ini karena dapat

dibersihkan dalam jangka waktu yang lama <sup>7</sup>. Jenis tanaman tersebut merupakan jenis yang mudah untuk ditemukan dan biasa digolongkan sebagai tanaman gulma yang hidup di perairan bebas. Berikut tabel dari fungsi setiap bagian atau komponen pada tanaman air yang digunakan dalam pengolahan *natural wetlands* <sup>8</sup> ini :

Tabel 2.2 Fungsi Komponen-komponen Tanaman Dalam *Wetlands*

No	Komponen Tanaman	Fungsi
1	Akar dan batang dalam air	sebagai tempat pertumbuhan bakteri
		sebagai media untuk proses filtrasi dan <i>adsorption solids</i>
2	Batang dan daun yang berada di permukaan air	Mengurangi masuknya sinar matahari
		Mampu mencegah pertumbuhan alga
		Mampu mengurangi efek dari kecepatan angin di permukaan air
		Dapat mentransfer gas-gas diantara atmosphere dan air
		Sangat penting untuk mentransfer gas dari dalam permukaan air yang dihasilkan tanaman

b. Media reaktor

Media yang digunakan pada pengolahan *constructed wetlands* terdiri dari: tanah, pasir, dan kerikil. Adapun fungsi dari media tanah pada sistem ini adalah :

- Sebagai tempat hidup dan tumbuhnya tanaman
- Sebagai tempat berkembangbiaknya mikroorganisme
- Sebagai tempat terjadinya proses fisik yaitu proses sedimentasi dalam penurunan konsentrasi *solid* air limbah.

<sup>7</sup> Vymazal, 1998

<sup>8</sup> Reed, S., R. Bastian, dkk, 1979

---

Sistem pengolahan *wetlands* ini dipengaruhi oleh waktu detensi, di mana waktu detensi akan mempengaruhi kontak antara mikroorganisme dengan air limbah, waktu detensi juga mempengaruhi oksigen yang akan dikeluarkan akar tanaman. Permeabilitas tanah dan konduktivitas hidrolis sangat mempengaruhi waktu detensi air limbah <sup>9</sup>.

c. Mikroorganisme

Karakteristik dan peranan utama dari sistem pengolahan *wetlands* merupakan fungsi pengatur yang besar dari aktifitas mikroorganisme dan proses metabolisme mikroba <sup>10</sup>. Komunitas mikroba dalam *constructed wetlands* digunakan sebagai indikator pengukuran secara langsung dalam proses pengolahan air limbah, yaitu jenis mikroorganisme dari bakteri, virus, ragi, microscopis fungi, protozoa, alga. Proses hubungan antara komunitas mikroba ini dalam *wetlands* merupakan faktor utama dalam merecycling kandungan pencemar dalam air limbah yaitu terjadinya proses dekomposisi dan denitrifikasi <sup>11</sup>.

Proses transformasi yang terjadi di dalam *wetlands* sebagian besar dipengaruhi oleh adanya hubungan metabolisme mikroorganisme dalam memanfaatkan air limbah dalam pertumbuhannya. Nitrogen dan carbon merupakan sumber energi bagi mikroba, di mana carbon digunakan untuk membentuk biomassa dari mikroba ( $C_5H_7O_2N$ ) <sup>12</sup> sebagai nutrien, proses fotosintesis yang dilakukan oleh protozoa juga memberikan respons yang cepat

---

<sup>9</sup> Wood, 1993

<sup>10</sup> Wetzel, 1993

<sup>11</sup> Baath, 1989

<sup>12</sup> Parnas, 1975

untuk meningkatkan jumlah nutrisi dalam air limbah<sup>13</sup>. Adanya proses transformasi dan dekomposisi oleh mikroba secara langsung mempengaruhi jumlah komunitas mikroba (*microbial population densities*), dan penambahan jenis bakteri anaerobik seperti *streptococci*, *Enterobacteriaceae*, dan *aerobic spore* (*Bacillus spp*, *Pseudomonas alcaligenes*, dan *Aeromonas spp*) yang berperan dalam mengurai bahan pencemar menjadi nutrisi.

Aktivitas dari mikroorganisme pada sistem pengolahan *wetlands* mempengaruhi kinerja proses kimia dan biologis. Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembangbiak dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobik*, karena pengolahan dengan mikroorganisme tersebut dapat berjalan lebih cepat dibanding jenis mikroorganisme anaerobik<sup>14</sup>. Mikroorganisme ini selain mengurai air limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman pada reaktor, pengkondisian lingkungan reaktor yaitu temperatur, pH, ruang yang cukup dan lain-lain<sup>15</sup>.

~~Proses nitrifikasi (oksidasi amonium menjadi nitrat dan nitrit secara biologis) dan denitrifikasi (oksidasi nitrit menjadi nitrat) dalam *wetlands* juga dapat terjadi secara siklus alami, yang disebabkan adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam mengurai bahan makanannya, yaitu komunitas bakteri *heterotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon organik sebagai energi) dan *autotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon dioksida sebagai~~

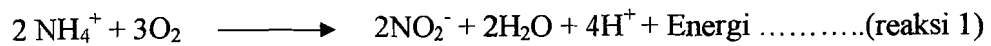
<sup>13</sup> Praat and Cairns, 1985

<sup>14</sup> Vymazal, 1998

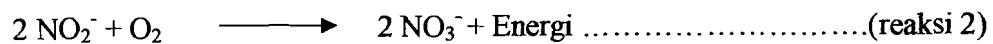
<sup>15</sup> Grads and Lim, 1990, Reddy and Patrick, 1983

energi) yang terdiri dari bakteri *Nitrosomonas sp*, *Nitrobacter sp*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *alcaligenes*, *spirillum*. Berikut reaksi proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang menyebabkan terjadinya proses pembusukan pada *wetlands* dan siklus pertumbuhan bakteri *autotroph* dan *heterotroph*:

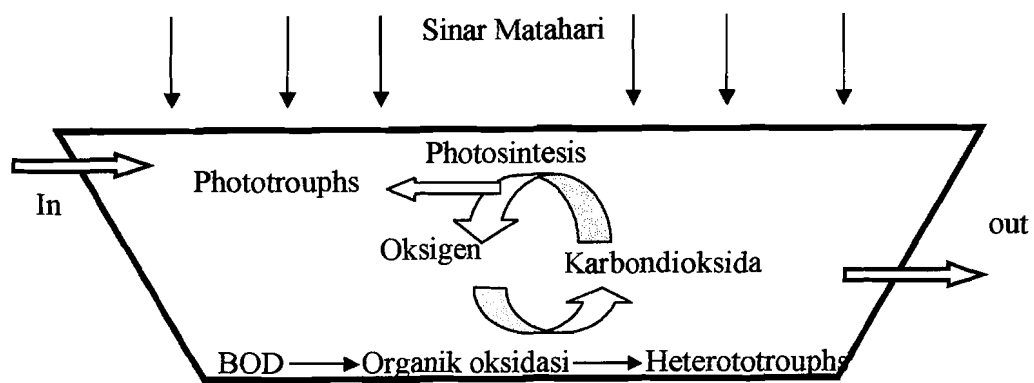
- Oksidasi ammonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas sp*



- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter sp*

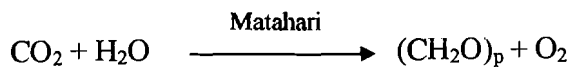


- Pertumbuhan bakteri *autotroph* dan *heterotroph* dalam *wetlands*

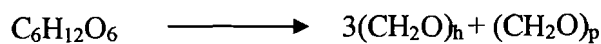
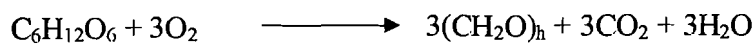


Gambar 2.3 Siklus Pertumbuhan Bakteri *Autotrouphs* dan *Heterotrouphs*

Reaksi pertumbuhan bakteri *Phototrouphs* adalah :



Reaksi pertumbuhan bakteri *Heterotrouphs* adalah :



Karbohidrat

---

Semua jenis mikroorganismenya yang ada dalam *wetlands* secara umum beraktivitas untuk mengasimilasi nutrisi untuk pertumbuhannya, seperti amonium dapat bergabung membentuk asam amino oleh bakteri *autotroph* dan *heterotroph*<sup>16</sup>, asam amino ditransformasikan ke dalam protein, purin, dan pirimidin yang digunakan sebagai sumber energi.

Berikut ini aktivitas dari mikroorganismenya dalam sistem pengolahan air limbah dengan *constructed wetlands* :

- Mentransformasikan bahan-bahan organik dan inorganik dalam jumlah yang besar menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya (*innocuous*) atau mudah terurai.
- Media untuk melakukan proses reduksi dan oksidasi (redok) dalam merubah kandungan substrat dan berpengaruh terhadap kemampuan *wetlands*.
- Media pengurai (*recycling*) pencemar menjadi nutrisi.

Proses mentransformasikan limbah dalam *wetlands* dilakukan mikroorganismenya dengan cara aerobik maupun anaerobik. Jenis bakteri terbesar dalam sistem ini berupa bakteri fakultatif anaerob di mana jenis bakteri ini mampu beraktivitas dalam kondisi lingkungan yang aerobik maupun anaerobik. Pertumbuhan mikroorganismenya dalam *wetlands* dapat berkembangbiak dengan cepat jika persediaan energi sesuai dengan kebutuhan mikroba dan sebaliknya mikroorganismenya akan lambat berkembangbiak apabila kondisi lingkungan tidak sesuai dengan kebutuhan mikroba<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> Kadlec and Knight, 1996

<sup>17</sup> Hilton, 1993

---

#### d. Temperatur

Temperatur dari air limbah mempengaruhi kualitas effluen air limbah karena berpengaruh pada waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam mengolah air limbah.

Sistem *constructed wetlands* mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sistem pengolahan konvensional lain seperti sistem pengolahan ponds atau lagoon. Kendala-kendala yang sering ditemui pada sistem ponds atau lagoon antara lain sebagai berikut:

- Timbulnya bau dan aroma yang tidak enak.
- Tempat berkembangbiaknya lalat dan *insecta* lain.
- Tingkat *removal* pengolahan yang kurang optimal.

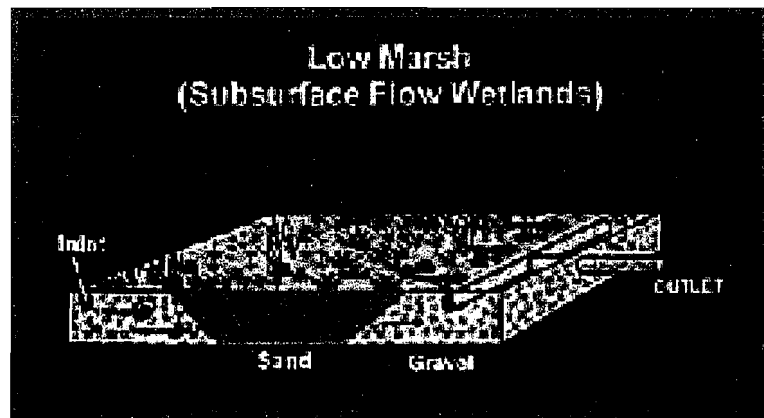
Di samping dua sistem di atas pada umumnya pengolahan limbah juga dilakukan dengan sistem *activated sludge* atau *oxidation ditch* di mana kedua sistem tersebut memerlukan perawatan khusus dan biaya yang cukup tinggi. Kendala-kendala di atas dapat di atasi dengan menggunakan sistem pengolahan *constructed wetlands (Natural treatment)* karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

- Sistem pengolahan dilakukan di dalam tanah, sehingga genangan air akan dapat diminimalkan dan timbulnya bau dapat dihindari.
- Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
- Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
- Sistem pengolahannya mudah dan murah.

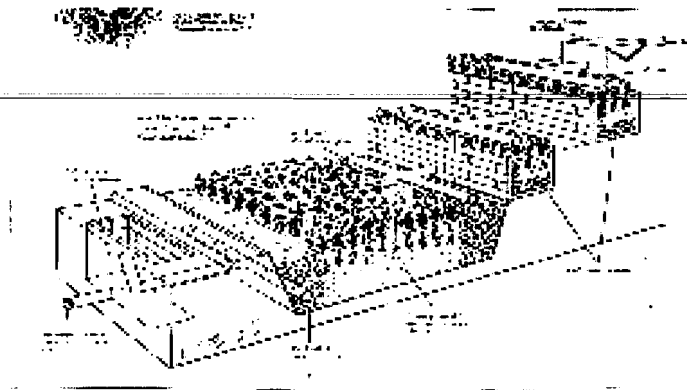


---

Keuntungan pengolahan dengan sistem *constructed wetlands* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, mampu mengolah air limbah domestik dan industri di mana kualitas effluen yang dihasilkan terbukti baik dan sistem manajemen dan control yang mudah<sup>18</sup>. Sistem *constructed wetlands* dirancang sedemikian rupa dan di isi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhnya tanaman seperti : cattail, *reeds* dan lain-lain. Berikut gambar dari sistem pengolahan *constructed wetlands*



Gambar 2.4 Reaktor Sistem *Constructed wetlands*



Gambar 2.5 Reaktor Sistem *Constructed wetlands* Bertingkat

---

<sup>16</sup> Gambrell, 1994

---

### 2.1.3 *Suspended Solid Dalam Constructed Wetlands*

---

Kandungan padatan *tersuspended* dalam air limbah dapat dihilangkan dan di produksi secara alami dalam *wetlands*. Proses utama untuk *meremoval* padatan *tersuspensi* adalah dengan proses flokulasi atau sedimentasi dan proses filtrasi atau intersepsi. Padatan *tersuspensi* di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari inveterbrata, batang tanaman yang jatuh, produksi dari plankton dan mikroba di dalam kolam air atau yang menempel pada permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang terpresipitasi seperti besi sulfid<sup>19</sup>. Partikel yang besar dan berat akan segera mengendap setelah terbawa oleh air dan melewati vegetasi yang terdapat di dalam *wetlands*<sup>20</sup>. Tanaman pada *wetlands* dapat meningkatkan proses sedimentasi dengan mengurangi *mixing* pada kolom air dan resuspensi dari partikel pada permukaan sedimen. Selain proses sedimentasi proses agregasi juga terdapat di dalam *wetlands* yaitu proses bersatunya partikel secara alami yang membentuk jonjot atau flok-flok<sup>21</sup>. Distribusi dari *inflow*, aliran yang seragam, keseragaman tanaman, angin yang bertiup kedaratan menuju *wetlands* secara umum mempengaruhi aliran turbulan kolom air dan terjadi *mixing* serta berpengaruh terhadap proses agregasi, sedimentasi, resuspensi dan proses adesi dari partikel yang halus atau kecil.

Hubungan yang terjadi di lapangan dibuatkan grafik untuk menunjukkan kecocokkan antara data terukur dengan level prediksi dengan menggunakan

---

<sup>19</sup> USEPA, 1988

<sup>20</sup> Merz, 2000

<sup>21</sup> Merz, 2000

---

pendekatan-pendekatan. Untuk *removal suspended solid* pada *constructed wetlands* secara umum dapat menggunakan persamaan<sup>22</sup>

---

$$SS_{\text{effluent}} = SS_{\text{influent}} \times (A \times B \times HLR) \dots\dots\dots(3.1)$$

Di mana :     A   = 0,1139

              B   = 0,00213

              SS   = padatan *tersuspensi*, mg / L

              HLR = *hydraulic loading rate*, cm / hr

#### 2.1.4 *Biochemical Oxygen Demand (BODs) Constructed Wetlands*

Kebutuhan Oksigen Biologis atau BOD didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh micro-organisme untuk menguraikan bahan-bahan organik (*carboneous demand*) dan senyawa nitrogen (*nitrogenous demand*). Banyaknya oksigen yang dibutuhkan tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis bahan organik, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu dan suhu inkubasi. Sebagai standar inkubasi BOD ditetapkan yang paling efektif adalah suhu 20 °C dengan waktu inkubasi 5 hari karena pada waktu ini proses terurainya bahan organik terjadi. ~~Bahan organik yang dapat diurai oleh BOD tergolong dalam senyawa organik yang mudah terurai umumnya berasal dari limbah domestik.~~

Air buangan sebagian besar mengandung karbon organik yang dapat didegradasikan dengan konsentrasi BODs tinggi serta bahan yang membutuhkan oksigen untuk oksidasi. Siklus karbon di dominasi oleh tanaman, dimulai pada proses pertumbuhan dan penyerapan nutrisi, proses kematian, dan pada proses

---

<sup>22</sup> Reed, 1995

---

degradasi, yang mana proses ini akan melepaskan nutrien, selanjutnya kembali menjadi tanah.

---

Dekomposisi karbon dalam *wetlands* didasarkan pada kesetimbangan antara karbon yang masuk dengan suplai oksigen yang ada dalam *wetlands*. Suplai oksigen yang cukup untuk proses oksidasi bahan organik karbon akan mempengaruhi proses degradasi secara aerobik sebaliknya jika suplai oksigen sedikit maka proses dekomposisi atau degradasi berlangsung secara anaerobik. Suplai oksigen tersebut berasal dari adanya difusi langsung dari atmosfer ke permukaan air dan proses fotosintetis.

Pada sistem FWS kehilangan konsentrasi BOD<sub>5</sub> terlarut tergantung dari pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada akar, batang, dan daun tanaman yang sudah mati. Perencanaan kedalaman di dalam *constructed wetlands* air seharusnya antara 10 mm-600 mm (24 in) atau kurang untuk menjamin cukupnya distribusi oksigen. Kehilangan konsentrasi BOD di dalam *wetlands* telah dideskripsikan dengan menggunakan persamaan model reaksi orde pertama, sebagai berikut :

---

$$C_e / C_o = \exp(-K_T t) \quad (3.2)$$

---

Di mana :  $C_e$  = effluent BOD<sub>5</sub>, mg / l

$C_o$  = influent BOD<sub>5</sub>, mg / l

$K_T$  = temperatur, bergantung pada laju reaksi orde pertama, hr<sup>-1</sup>

$t$  = waktu detensi, hr

*hydraulic residence time* (waktu detensi) dapat representasi dengan menggunakan persamaan :

---

$$t = LWnd / Q \dots\dots\dots(3.3)$$

---

Di mana : L = panjang, m

W = lebar, m

d = kedalaman air, m

n = porositas

Q = debit rata – rata (Flow in + Flow out) / 2, m<sup>3</sup> / hr

Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan hubungan BOD effluent dapat juga menggunakan persamaan (Reed, 1995)

$$\text{BOD effluent} = A \times \text{BOD influent} + B \times \text{HLR} \dots\dots\dots (3.4)$$

Di mana : A = 0,192

B = 0,097

BOD = *biochemical oxygen demand*, mg / l

HLR = *hydraulic loading rate*, cm / hr

### 2.1.5 *Chemical Oxygen Demand (COD) Costructed Wetlands*

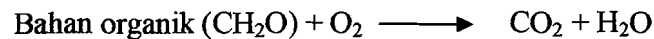
Kebutuhan oksigen kimiawi atau COD merupakan jumlah oksigen untuk mengoksidasi zat organik dalam air limbah. Besar kecilnya COD akan mempengaruhi jumlah pencemar oleh zat organik, yang mana hal ini dapat dioksidasi oleh aktivitas mikrobiologi dan akan berpengaruh pada jumlah oksigen terlarut dalam air. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem

---

*Constructed wetlands* untuk mengeluarkan oksigen <sup>23</sup>. Mekanisme pengolahan

---

dan penguraian bahan organik dari air limbah yang terjadi adalah :



*Chemical Oxygen Demand* (COD) juga merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan bahan-bahan organik yang ada di dalam air limbah baik yang mudah diurai maupun yang sukar di urai oleh mikroba.

### 2.1.6 Asam Sianida (HCN)

*Glikosida sianogenik* merupakan senyawa yang terdapat dalam bahan makanan nabati seperti singkong yang potensial beracun karena dapat terurai dan mengeluarkan hidrogen Sianida. Hidrogen Sianida dalam singkong dapat keluar apabila bahan tersebut dihancurkan, mengalami pengisian atau rusak. Bila dicerna hidrogen Sianida sangat cepat diresap oleh alat pencernaan dan masuk kedalam darah. Hidrogen Sianida dapat menyebabkan sakit dan sampai menyebabkan kematian tergantung dari dosisnya (dosis yang mematikan berkisar antara 0,5 – 3,5 mg/L HCN/kg berat badan)

---

~~Kandungan Sianida dalam singkong sangat bervariasi, kadar Sianida~~ dalam singkong manis rata-rata di bawah 50 mg/kg berat asal, sedangkan singkong pahit kandungan racun Sianida di atas 50 mg/kg berat asal. Ada beberapa perlakuan secara tradisional untuk dapat mengurangi kadar Sianida dalam singkong yaitu dengan mengelupas kulitnya sebelum diolah, dikeringkan dan direndam sebelum di masak dan di proses pembusukan selama beberapa hari,

---

<sup>23</sup> Gopal, 1999

---

dengan perlakuan tersebut Sianida dapat diturunkan menjadi 10 – 40 mg/kg berat

asal<sup>24</sup>

a. Sifat-sifat Sianida

Asam Sianida tidak berwarna dalam bentuk gas maupun cair. Berat gas HCN lebih ringan dari berat udara dan mudah menguap, oleh karena itu Sianida mudah menyebar. *Specific gravity* pada suhu 20,5 °C adalah 0,697 mg/m<sup>3</sup>, berat jenis gasnya yaitu 0,93 mg/m<sup>3</sup> dan titik didihnya 26,5 °C. secara garis besar Sianida dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat fisik kimianya yaitu Sianida bebas, Sianida sederhana, Sianida kompleks dan Sianida organik.<sup>25</sup>

Sianida bebas adalah *Hidrocyanic acid* (HCN) pada suhu normal dalam keadaan gas, sedangkan dalam air HCN akan membentuk suatu garam-garam mineral. Sianida sederhana misalnya : *Sodium cyanides*, *Potassium cyanides*, *Calcium cyanides* dan *Ammonium cyanides*. Sianida jenis ini tidak stabil sehingga mudah berubah menjadi HCN atau akan membentuk ikatan Sianida yang kompleks. Sianida kompleks merupakan Sianida yang berikatan dengan metal seperti : *Cobalt*, *ferrum*, *Nickel*, *Cadmium*, dan *Mangan*. Sianida ini sangat stabil sehingga sangat sulit terurai dalam keadaan normal. Sianida organik misalnya *Acetonecyanohydrin*, *Acetonitrile*, dan *Adiponitrile*. Sianida organik bersifat stabil. Semua bentuk Sianida tersebut di atas memiliki sifat racun yang tinggi untuk Sianida kompleks dan organik sangat berbahaya karena bersifat stabil. Pengaruh Sianida di dalam lingkungan dapat mengganggu biota hewan air, di mana keberadaan Sianida akan mematikan

---

<sup>24</sup> Winarno, F.G. 1991

<sup>25</sup> Kalada, L.H. and Lordi. 1958

---

tanaman ataupun organisme di dalam air tersebut. Pada konsentrasi 1,8 mg/L Sianida dapat melumpuhkan 50 % organisme yang ada di air dalam waktu 48 jam.<sup>26</sup>

## 2.2 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Eceng Gondok dapat hidup mengapung bebas di atas permukaan air dan berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Kemampuan tanaman inilah yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Eceng Gondok dapat menurunkan kadar BOD, partikel suspensi secara biokimiawi (berlangsung agak lambat) dan mampu menyerap logam-logam berat seperti Pb, Hg, Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, dengan baik, kemampuan menyerap logam persatuan berat kering Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua<sup>27</sup>.

Adapun bagian-bagian tanaman yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

### a) Akar

Bagian akar Eceng Gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tanaman. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari

---

<sup>26</sup> Eckenfelder, W.W. 1978

<sup>27</sup> Widiyanto dan Suselo, 1977

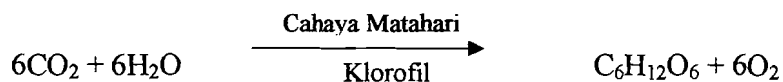


kantung akar ini akan berwarna merah, susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel tanah yang terlarut dalam air<sup>28</sup>

b) Daun

Daun Eceng Gondok tergolong dalam makrofit yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) Eceng Gondok terdapat dalam sel epidemis. Di permukaan tas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampung juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O<sub>2</sub> dari proses fotosintesis.

Reaksi fotosintesis :



oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan CO<sub>2</sub> yang akan terlepas ke dalam air<sup>29</sup>

c) Tangkai

Tangkai Eceng Gondok berbentuk bulat menggelembung yang di dalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiolar adalah lapisan epidermis, kemudian dibagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian di dalam jaringan ini terdapat jaringan

<sup>28</sup> Ardiwinata, 1950

<sup>29</sup> Pandey, 1980

---

pengangkut (*xylem dan Floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih<sup>30</sup>

---

d) Bunga

Eceng Gondok berbunga bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda. Berbunga majemuk dengan jumlah 6 – 35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal

Eceng Gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi sebagai berikut Eceng Gondok merupakan tumbuhan perennial yang hidup dalam perairan terbuka, yang mengapung hila air dalam dan berakar didasar bila air dangkal. Perkembangbiakan Eceng Gondok terjadi secara vegetatif maupun secara generatif, perkembangan secara vegetatif terjadi bila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru.

Setiap 10 tanaman Eceng Gondok mampu berkembangbiak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan<sup>31</sup> hal inilah membuat Eceng Gondok banyak dimanfaatkan guna untuk pengolahan air limbah. Eceng Gondok dapat mencapai ketinggian antara 40 – 80 cm dengan daun yang licin dan panjangnya 7 – 25 cm

---

### 2.2.1 Pertumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Pertumbuhan Eceng Gondok yang sangat cepat di area perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor tersebut antara lain :

---

<sup>30</sup> pandey, 1980

<sup>31</sup> Widiyanto, 1981

a. Cahaya matahari, PH, dan Suhu

Pertumbuhan Eceng Gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, dengan suhu optimum antara 25 °C – 30 °C. hal ini dapat dipenuhi dengan baik di daerah beriklim tropis. Di samping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, Eceng Gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 – 7,5, jika pH lebih atau kurang maka pertumbuhannya akan terlambat <sup>32</sup>.

b. Ketersediaan Nutrien

Pada umumnya jenis tanaman gulma air tahan terhadap kandungan unsur hara yang tinggi. Sedangkan unsur N dan P sering kali merupakan faktor pembatas. Kandungan N dan P kebanyakan terdapat dalam air buangan domestik dan rumah tangga. Jika pada perairan kelebihan nutrien ini maka akan terjadi proses eutrofikasi.

Pengaruh adanya kandungan logam pada air juga akan mempengaruhi pertumbuhan Eceng Gondok seperti Fe yang mampu merangsang pertumbuhan yang optimum pada konsentrasi 2 ppm, dan pada 5 ppm ion Fe akan menghambat pertumbuhan Eceng Gondok, ion Cu dapat memberikan rangsangan pertumbuhan jika kadarnya tidak melebihi dari 3 ppm, Hg yang merupakan ion toksit akan tidak mempengaruhi jika berada pada kadar 1 ppm, ion Mn 5 ppm merangsang pertumbuhan daun Eceng Gondok. Diperairan material organik akan diuraikan dengan cepat melalui proses biodegradasi oleh mikroorganisme hal ini menjadi permasalahan tersendiri karena proses ini akan meningkatkan nutrien dalam air dengan cepat, sehingga sangat mendukung terjadinya proses eutrofikasi.

---

<sup>32</sup> Dhahiyat, 1974

## 2.2.2 Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok

Eceng Gondok memiliki daya adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal yang ada disekelilingnya dan dapat berkembangbiak dengan cepat. Eceng Gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup oleh air yang banyak mengandung makanan. Selain itu daya tahan Eceng Gondok juga dapat hidup ditanah asam dan tanah yang basah<sup>33</sup>. Kemampuan Eceng Gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

### a. Transpirasi

Jumlah air yang digunakan dalam proses pertumbuhan hanyalah memerlukan sebagian kecil jumlah air yang diabsorpsi atau sebagian besar dari air yang masuk kedalam tumbuhan dan keluar meninggalkan daun dan batang sebagai uap air. Proses tersebut dinamakan proses transpirasi, sebagian menyerap melalui batang tetapi kehilangan air umumnya berlangsung melalui daun. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi oleh kwantitas sinar matahari dan musim penanaman. Laju transpirasi akan ditentukan oleh struktur daun Eceng Gondok yang terbuka lebar yang memiliki stomata yang banyak sehingga proses transpirasi akan besar dan beberapa faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, udara, cahaya, dan angin.<sup>34</sup>

### b. Fotosintesis

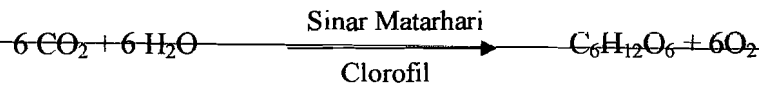
Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil, menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan.

---

<sup>33</sup> Anonim, 1996

<sup>34</sup> Anonim, 1996

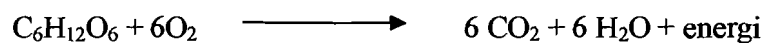
Reaksi fotosintesis :



Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi matahari. <sup>35</sup>

### c. Respirasi

Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membran plasma dan dinding sel. Energi tersebut dihasilkan melalui pembakaran senyawa-senyawa. Dalam respirasi molekul gula atau glukosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) diubah menjadi zat-zat yang sederhana yang disertai dengan pelepasan energi <sup>36</sup>, reaksi kimia adalah :



## 2.2.2 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

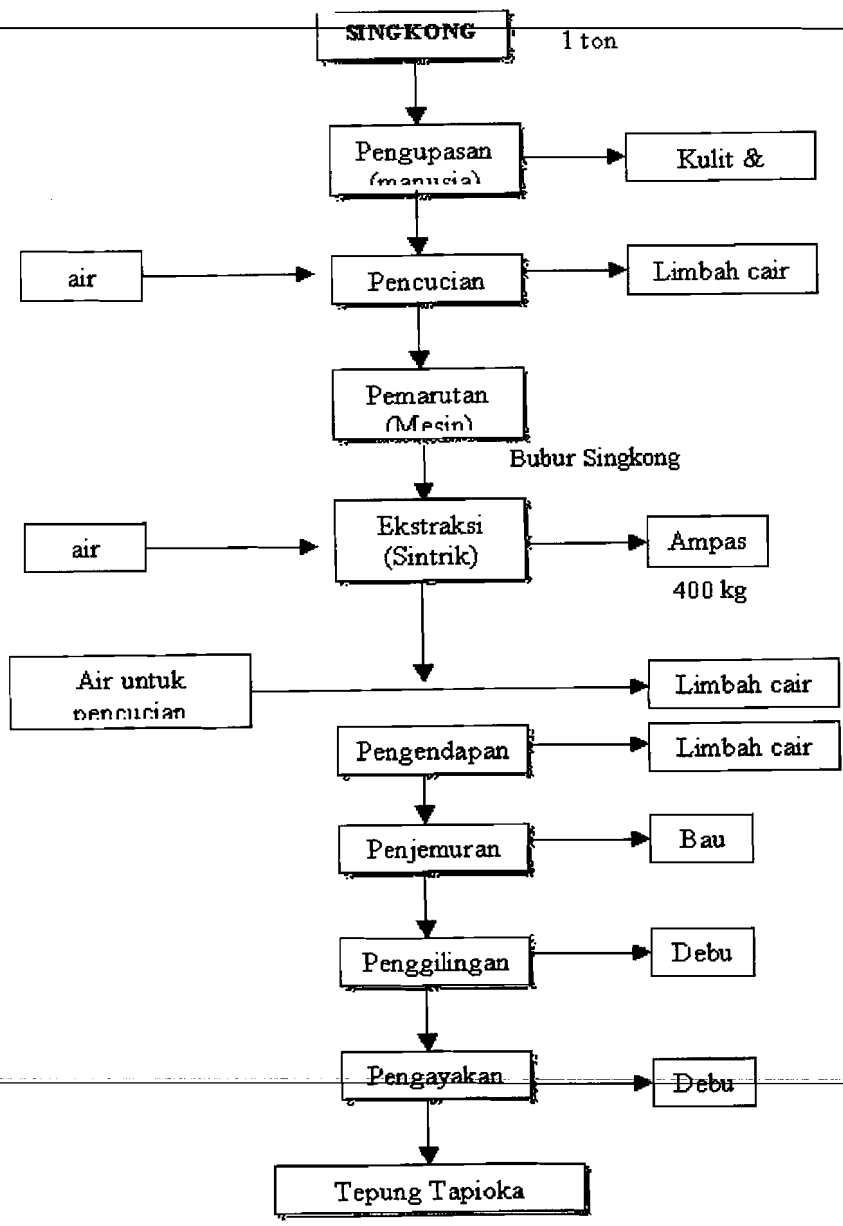
Limbah cair industri tapioka digolongkan kedalam limbah domestik yang pada umumnya mempunyai karakteristik kandungan bahan senyawa organik yang cukup tinggi hal ini ditandai dengan besarnya nilai  $\text{BOD}_5$ , kadar Sianida (CN) dan COD juga tinggi, serta pH yang rendah. Di samping itu juga merupakan limbah yang mempunyai sifat koloid sempurna, sehingga partikel-partikel solid sangat sulit untuk mengendap. Sumber limbah cair industri tapioka berasal dari proses

<sup>35</sup> Sastroutomo, 1991

<sup>36</sup> Tjitrosomo, 1983

---

pembuatan tapioka, baik dari pencucian bahan baku sampai proses pemisahan pati dari airnya atau proses pengendapan, limbah padat berasal dari proses pengupasan ketela pohon dari kulitnya yaitu berupa kotoran serta kulit ketelanya dan pada waktu pemrosesan yang berupa ampas yang sebagian besar berupa serat dan pati. Penanganan yang kurang tepat terhadap hasil buangan padat dan cair dari proses produksi industri ini selain mencemari badan penerima air juga akan menghasilkan gas yang dapat mencemari udara. Berikut diagram alir dari proses produksi dan sumber air limbah industri tapioka :



Sumber : Bappedal (1996)

Gambar 2.6 Diagram Proses Produksi dan Sumber Air Limbah Industri Tapioka

Untuk karakteristik limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai industri

tapioka (rata-rata) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

Karakteristik	Satuan	Industri		
		Kecil	Menengah	Besar
Bahan baku	Ton/hari	5.00	20.00	200 – 600
Debit	M <sup>3</sup> /hari	22.00	80.00	1200.00
BOD <sub>5</sub>	ppm	5055.82	5439.45	3075.84
COD	ppm	16202.30	25123.33	5158.78
MPT	ppm	3415.45	3422.00	1342.00
PH	--	5.50	4.50	500
Sianida (CN)	ppm	0.1265	0.117	0.200

Sumber : BPPI Semarang (1997)

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Industri Tapioka yang sudah Beroperasi

Parameter	Kadar Maximum	Beban Pencemaran Max (kg/ton produk)
BOD <sub>5</sub>	200.0 mg/L	12.0
COD	400.0 mg/L	24.0
MPT	150.0 mg/L	9.0
Sianida (CN)	0.500 mg/L	0.003
PH	6 – 9	--

Sumber : Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup Keputusan Menteri

Negara LH No.Kep 51/MENLH/10/1995



---

### 2.3 HIPOTESA

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut:

- a. *Constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah cair industri tapioka.
- b. *Constructed wetlands* dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD, TSS dan Sianida (CN).

---

## BAB III

---

### METODE PENELITIAN

---

#### 3.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Jalan Kaliurang Km 10, Ngaglik Sleman Yogyakarta dengan menggunakan reaktor *constructed wetlands* berukuran 1 m x 0,5 m yang ditanami Eceng Gondok, sedangkan untuk analisis parameter kualitas air limbah dilakukan di laboratorium Kualitas Air. Limbah cair industri tapioka yang dianalisa berasal dari industri tapioka di kota Banjarnegara.

#### 3.2. Waktu penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 6 bulan yang terdiri dari tahap persiapan penelitian, desilasi tanaman Eceng Gondok, pembuatan reaktor, penanaman Eceng Gondok dalam reaktor, pengambilan sampel air limbah pada tiap-tiap reaktor, pemeriksaan di laboratorium, analisa data dan penyusunan laporan.

#### 3.3. Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan analisa pengukuran dan pengujian parameter limbah cair tapioka berdasarkan tingkat konsentrasi dan variasi waktu penelitian yang meliputi :

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

No	Parameter (mg/L)	Konsentrasi Limbah (%)	Baku Mutu Limbah Industri Tapioka Kep Men LH no 51 1995	Hari ke						Metode Analisa
				0	2	4	6	8	10	
1	BOD <sub>5</sub>	20 s/d100	200							Winkler
2	COD	20 s/d100	400							Gravimetri
3	TSS	20 s/d100	150							Spektrofotometri
4	Sianida	20 s/d100	0.5							Spektrofotometri

### 3.4 Desain *Constructed Wetlands*

Perencanaan pembuatan reaktor yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Tanaman dalam reaktor

Penelitian ini menggunakan tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) yaitu tanaman yang hidup mengapung pada air. Akar tanaman ini berambut dan menggantung pada pangkal batang. Panjang akar rata-rata 30-60 cm sebanyak 30 tanaman setiap reaktor.

b. Dimensi reaktor

Reaktor yang direncanakan dengan menggunakan bahan kayu dan plastik sebagai lapisan kedap air. dalam penelitian ini menggunakan 6 reaktor. Tiap reaktor akan diberi perlakuan konsentrasi limbah yang berbeda. Reaktor di atas terbagi atas reaktor kontrol, di mana reaktor ini diberi limbah namun tidak ditanami tanaman Eceng Gondok dan reaktor uji yang mana reaktor ini diberi

limbah dan ditanami Eceng Gondok. Adapun perhitungan perencanaan dimensi

reaktor adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Perhitungan Dimensi Reaktor

Dimensi	Simbol	Hasil perhitungan	Satuan	Persamaan yang digunakan	Keterangan
Waktu detensi	Td	10	Hari		Kriteria Disain
Kemiringan	S	0,001	m/m		Kriteria Disain
Tinggi Air	d	0,15	M		Kriteria Disain
Tebal Subtrat	h	0,1	M		Kriteria Disain
Debit	Q	0,01	m <sup>3</sup> /hari		Ditetapkan
Volume basa	Vb	0,075	m <sup>3</sup>	$V = A \times d$	
Luas Area	A	0,5	m <sup>2</sup>	$A = L \times W$	
Panjang	L	1	M		Ditetapkan
Lebar	W	0.5	M		Ditetapkan
Volume Reaktor	Vr	0,216	m <sup>3</sup>	$A \times (d \times h \times fr)$	

### 3.5 Metode Pelaksanaan Penelitian

#### 3.5.1 Kualitas Air Limbah

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengaliran *batch*, dengan variasi konsentrasi limbah cair industri tapioka, yang akan dijadikan objek penelitian dan analisa adalah 100% tanpa tanaman, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% dari volume

basa reaktor. Variasi konsentrasi limbah dilakukan dengan pengenceran yang menggunakan larutan air kran PDAM. Adapun variasi limbah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Variasi Konsentrasi Limbah Cair

No	Reaktor	Konsentrasi limbah (%)	Volume limbah (Liter)	Volume pengencer (Liter)
1	1	100	75	0
2	2	80	60	15
3	3	60	45	30
4	4	40	30	45
5	5	20	15	60
6	6	100 (control) tanpa tanaman	75	0

Konsentrasi limbah 100% tanpa tanaman sebagai control analisa, di mana reaktor ini tidak ditanami Eceng Gondok, sedangkan variasi konsentrasi air limbah dilakukan dalam reaktor yang ditanami Eceng Gondok. Pengaliran limbah cair pada reaktor dilakukan selama 10 hari, kemudian dilakukan analisa laboratorium kualitas air pada variasi waktu ke 2, 4, 6, 8,10 hari cuplikan limbah diambil dari outlet reaktor.

### 3.5.2 Tanaman Eceng Gondok

Tanaman Eceng Gondok dalam penelitian ini diperoleh dari rawa-rawa, yang kemudian dicuci dan ditanam dengan menggunakan air sumur sebelum diuji pada reaktor (desilasi). Setiap reaktor memanfaatkan tanaman Eceng Gondok sebanyak 30 buah tanaman dengan jarak tanam adalah 10 cm jarak horizontal 10 cm jarak vertikal dengan tingkat kepadatan tanaman dalam reaktor adalah :

- Luas daun Eceng Gondok rata-rata =  $6 \times 5 \text{ cm}$
- Banyaknya daun Eceng Gondok = 5 helai
- Jumlah Eceng Gondok = 30 buah
- Luas permukaan reaktor =  $0.5 \text{ m}^2$
- Kepadatan tanaman adalah  $= ((6 \times 5) \times 5 \text{ helai}) \times 30 \text{ buah} = 4500 \text{ cm}$
- Luas daerah kontak udara =  $0,5 \text{ m}^2 - 0,45 \text{ m}^2$   
 $= 0,05 \text{ m}^2$

untuk ketentuan jarak tanaman dan tingkat kepadatan tanaman Eceng Gondok sebenarnya tidak memiliki ketentuan jarak, yang terpenting permukaan air dalam reaktor tidak tertutup seluruhnya dengan tanaman Eceng Gondok sehingga terdapat ruang kontak antara air dengan udara atmosfer. Adapun parameter tanaman yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari :

Tabel 3.4. Parameter Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

No	Parameter Pertumbuhan	Frekuensi Pengambilan Sampel (Hari)
1	Akar	0, 2, 4, 6, 8, 10
2	Panjang Batang	0, 2, 4, 6, 8, 10
3	Luas Daun	0, 2, 4, 6, 8, 10

---

### 3.5 Metode Analisa Laboratorium

---

Pada penelitian ini diperlukan beberapa tahap analisa kualitas air limbah di laboratorium dengan pengukuran parameter-parameter yang diuji. Tahap-tahap dalam analisa laboratorium, yaitu :

- a. Analisa awal, dilakukan pada saat pengambilan limbah industri tapioka, sebagai data awal konsentrasi limbah (data skunder).
- b. Analisa terhadap variasi waktu, dilakukan sebanyak 5 kali pengambilan sample yaitu pada hari ke 2, 4, 6, 8, 10 hari yang diambil dari outlet reaktor *constructed wetlands* dan setiap sample dilakukan dua kali pengujian laboratorium (duplo).

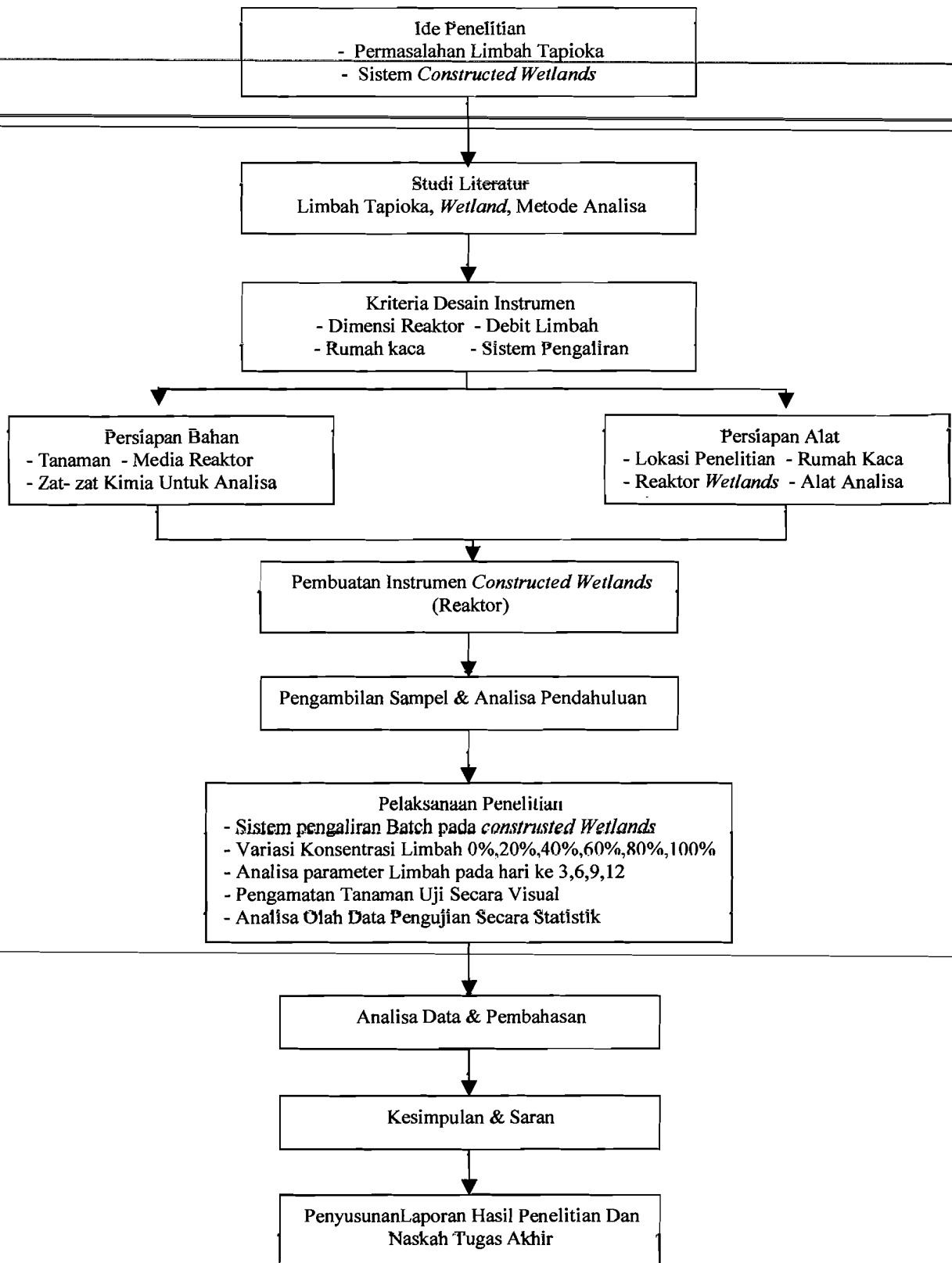
### 3.6 Metode Analisa Data

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reaktor yang sedang diteliti, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil analisa parameter uji dan pengamatan penelitian, baik data utama (tingkat *removal*) maupun data pendukung (kondisi tanaman uji). Sedangkan untuk memudahkan dalam pengolahan data, maka dipergunakan software statistik, misalnya analisa varians (ANOVA).

### 3.7 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu :

- a. Alat dan bahan pembuatan reaktor *Constructed wetlands* dan tanaman (lampiran alat dan bahan).
- b. Alat dan bahan analisa laboratorium (Lampiran alat dan bahan)



Gambar 2.7 Diagram Alir Penelitian



---

## BAB IV

---

### HASIL DAN PEMBAHASAN

---

#### 4.1 Analisa Pertumbuhan Tanaman Dalam Reaktor

Proses pengolahan limbah industri tapioka dengan sistem *Constructed Wetlands* yang menggunakan tanaman Eceng Gondok sebagai media utama di dalam meremoval kandungan pencemar air limbah ditentukan dengan terjadinya penurunan konsentrasi dari parameter-parameter BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Sianida (CN). Dengan variasi dan kondisi tanaman dalam reaktor sebagai berikut :

- a. Reaktor limbah tanpa Eceng Gondok sebagai control, proses yang terjadi pada reaktor ini adalah proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Proses removal pencemar mengalami penurunan akibat terjadinya proses pembusukan yang cukup tinggi dan cepat dalam reaktor, hal ini mempengaruhi tingkat penurunan parameter COD dan BOD pada limbah karena kondisi oksigen yang semakin menipis akibat timbulnya bakteri-bakteri yang tidak diinginkan dalam proses penelitian ini. Timbulnya proses pembusukan pada reaktor menimbulkan bau yang menyengat, hal ini dikarenakan faktor oksigen dan sinar matahari yang sangat sedikit masuk kedalam air limbah. Secara fisik terlihat lapisan putih kental di permukaan limbah, kondisi air limbah pada hari ke-2 sampai hari ke-6 masih terlihat putih sedangkan pada hari ke-8 dan 10 warna air secara fisik menjadi agak keruh dengan tingkat proses pembusukan agak berkurang, parameter yang dianalisa dalam reaktor control ini mengalami penurunan dengan rata-

rata sebesar BOD 75,90%, COD 63,21%, TSS 45,62% dan Sianida 99,87%.

berikut tabel 4.1 kondisi air limbah dalam reaktor control

Tabel 4.1 Kondisi Air Limbah Reaktor Control

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh	5 - 5,8
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh	5,8 - 6

- b. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 100%, dalam reaktor ini diharapkan terjadinya proses meremoval kandungan limbah oleh tanaman dan media dalam reaktor. Proses-proses yang terjadi adalah penguraian limbah menjadi nutrien bagi tanaman yaitu bahan organik yang terkandung dalam air

---

limbah berupa karbohidrat dengan adanya oksigen akan menghasilkan

karbondioksida dan air (Bahan organik  $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).

---

kemudian terjadinya proses filtrasi limbah oleh media tanam. Penguraian limbah dengan mikroorganisme yang tumbuh di dalam limbah yang diharapkan berupa mikroorganisme aeraob karena mikroorganisme ini selain mengurai limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok pada reaktor ini pada hari ke-0 sampai ke-4 masih cukup baik sehingga pada kondisi ini proses penguraian limbah cukup efektif hal ini dipengaruhi oleh daya serap akar tanaman terhadap limbah masih cukup baik, sedangkan pada hari ke-6 dan seterusnya terjadi penurunan tingkat meremoval air limbah oleh tanaman diakibatkan karena tanaman Eceng Gondok mengalami penurunan daya tahan hidupnya hal ini terlihat dengan semakin layunya tanaman dan mengalami fase kematian akibat tingginya konsentrasi air limbah dan adanya senyawa Sianida yang bersifat asam, selain itu pengaruh pH pada air limbah yang berkisar antara 4 – 5,5 atau bersifat asam juga mempengaruhi daya tahan Eceng Gondok. Berikut tabel 4.2 gambaran kondisi pertumbuhan tanaman Eceng Gondok dengan konsentrasi air limbah 100%.

Tabel 4.2 Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Hari Pada Reaktor limbah 100%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	agak layu, hijau, panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	layu, coklat kekuningan, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 5 batang	sebagian kuning sebagian hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, layu, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 4-5 batang	kecoklatan, kuning hijau, luas daun 4 x 5,7 cm, jumlah 3-4 helai	12	18
Hari ke- 8	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	kecoklatan layu, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 3-4 batang	kecoklatan, layu, kering, sedikit hijau, luas daun 3 x 5 cm, jumlah 3-4 helai	22	8
Hari ke- 10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, mati, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 3-4 batang	coklat, kering, mati luas daun 3 x 4 cm, jumlah 3-4 helai	30	0



Tabel 4.3 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 100 %

Hari pada Reaktor 100%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 100%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	tidak berbau	Putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	5,5 - 6
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6,5 - 6.8

- c. Reaktor dengan Eceng Gondok konsentrasi limbah 80% proses yang terjadi dalam reaktor ini juga seperti pada reaktor pertama yaitu proses penguraian bahan organik dengan mikroorganisme aerobik dan proses filtrasi oleh media tanah. Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok pada hari ke 0 sampai 4 masih relatif baik sehingga penguraian konsentrasi limbah terjadi puncaknya pada hari ke 2, hal ini dikarenakan media tanaman belum terpengaruh oleh adanya racun Sianida dan kandungan oksigen dalam air limbah relatif masih normal. Sedangkan pada hari ke 6 sampai ke 10 pertumbuhan tanaman Eceng Gondok semakin menurun karena telah terjadinya proses pembusukan pada permukaan air yaitu terbentuknya lapisan kental yang menutupi permukaan air sehingga akan menurunkan kandungan oksigen yang ada di dalam air serta pengaruh

---

Sianida yang terserap tanaman. Proses removal konsentrasi air limbah terjadi penurunan yang kecil hal ini juga disebabkan efisiensi daya serap tanaman berkurang akibat pengaruh dari kadar  $O_2$  yang menurun, pengaruh Sianida, tidak maksimalnya sinar matahari yang masuk kedalam air, kondisi pertumbuhan akar Eceng Gondok yang menurun. Perkembangan pada reaktor ini hanya terlihat pada peningkatan pH pada hari ke 8 – 10 yaitu berkisar antara 5,8 – 6. Berikut tabel gambaran kondisi tanaman Eceng Gondok dalam reaktor konsentrasi 80%.

Tabel 4.4 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 80 %

Hari Pada Reaktor Limbah 80%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	Segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	agak layu, hijau, panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-4	layu kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	layu, panjang rata-rata 15,6 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-6	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, layu, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 5 batang	coklat, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	4	26
Hari ke-8	coklat pucat, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	kecoklatan layu, kering, panjang rata-rata 13 cm, jumlah 4-5 batang	kecoklatan, layu, kering, hijau, luas daun 4 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	12	18
Hari ke-10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 4-5 batang	coklat, kering, mati, luas daun 4 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	27	3

Tabel 4.5 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 80%

Hari pada Reaktor 80 %	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 80 %			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	5,5 - 6
Hari ke- 8	terjadi pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6
Hari ke- 10	terjadi pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6,5 – 6,8

d. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 60%, proses-proses removal limbah pada reaktor ini lebih meningkat dari reaktor-reaktor sebelumnya. Pertumbuhan media Eceng Gondok pada hari ke 0 – 4 cukup baik sedangkan pada hari ke-6 kondisi Eceng Gondok layu hal ini terlihat pada bagian batang Eceng Gondok agak berwarna coklat kehijauan sedangkan daunnya sebagian berwarna kuning dan sebagian lagi berwarna hijau, sedangkan pada hari ke 8 – 10 kondisi tanaman sudah kurang efisien lagi hampir seluruh komponen tanaman terlihat coklat. Terbentuknya proses pembusukan pada reaktor ini terjadi pada hari ke 4 sehingga mulai pada hari inilah proses removal pencemar sudah mengalami penurunan. Perubahan warna air limbah menjadi agak hitam dan bau terjadi pada reaktor ini pada hari ke 8 hal ini terjadi dikarenakan penyerapan limbah oleh Eceng Gondok untuk parameter Sianida telah mengalami kejenuhan dan pada pangkal akar Eceng



Gondok seperti mengeluarkan cairan berwarna hitam kebiruan. Kondisi pH

terjadi peningkatan pada hari ke 6 yaitu berkisar 5,7 – 6.

Tabel 4.6 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 60%

Hari Pada Reaktor limbah 60%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, hitam kebiruan, panjang 10 cm serabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	agak kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	layu, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	bercak kuning, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	0	30
Hari ke- 8	coklat, panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	kuning coklat, layu, panjang rata-rata 15,6 cm, jumlah 5 batang	kuning kecoklatan, layu, hijau, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	6	24
Hari ke- 10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 4-5 batang	coklat, kering, mati, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	18	12

Tabel 4.7 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 60%

Hari pada Reaktor 60%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 60%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	Normal	Berbau	putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi pembusukan	Berbau	putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi pembusukan	Berbau	putih agak keruh, agak bening, kehitaman	5,7 - 6
Hari ke- 8	terjadi pembusukan	Berbau	berwarna hitam	6
Hari ke- 10	terjadi pembusukan	Berbau	berwarna hitam, agak bening	6,5 - 6,8

- e. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 40%, proses meremoval limbah pada reaktor ini berjalan baik dari hari ke 0 sampai ke 10. hal ini dikarenakan pertumbuhan Eceng Gondok relatif baik. Kondisi Eceng Gondok pada hari ke 2 – 6 relatif normal sedangkan pada hari ke 8 – 10 sebagian kecil tanaman mengalami kematian. Hal ini disebabkan adanya pengaruh terjadinya proses pembusukan yang mempengaruhi kadar oksigen dan asamnya racun Sianida serta sifat air limbah yang asam. Terbentuknya proses pembusukan pada permukaan air dalam reaktor ini terjadi pada hari ke 4. Perubahan warna air menjadi hitam pada reaktor ini terjadi pada hari ke 4 – 6 karena Eceng Gondok mengalami kejenuhan setelah menyerap Sianida pada limbah tapioka sehingga racun Sianida pada air limbah yang terserap dilepas kembali dalam bentuk cairan berwarna hitam kebiruan. Kondisi limbah pada reaktor setelah mengalami fase ini menjadi bening, warna putih keruh pada

awal limbah dimasukkan dan warna hitam akibat pengaruh Sianida sudah

hilang, hal ini disebabkan reaksi penetralisiran limbah berlangsung normal

kembali. pH pada reaktor ini berkisar antara 5,7 – 6,5 yaitu mulai terjadi

peningkatan pada hari ke 4 sampai ke 10.

Tabel 4.8 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 40%

Hari Pada Reaktor limbah 40%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 17,8 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 17,9 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 17,9 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	agak layu, panjang rata-rata 17,8 cm, jumlah 5 batang	bercak kuning, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	0	30
Hari ke- 8	hitam kecoklatan, panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	kuning, layu, panjang rata-rata 17,6 cm, jumlah 5 batang	kuning kecoklatan, layu, hijau, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	6	24
Hari ke- 10	agak coklat, panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, layu, panjang rata-rata 17,4 cm, jumlah 5 batang	coklat, kering, layu, mati, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	12	18

Tabel 4.9 Kondisi Air Limbah Dengan Konsentrasi 40%

Hari pada Reaktor 40%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 40%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	Normal	berbau	putih,agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	putih kehitaman, agak bening	5,7 - 6
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	agak bening, kehitaman	6,5
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	bening agak hitam	6,5
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,8

- f. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 20%, proses removal pada reaktor ini sangat baik dari hari ke-0 sampai ke-10, dengan kondisi pertumbuhan tanaman Eceng Gondok relatif baik, hal ini terlihat pada hari ke 2 air limbah yang awalnya putih mengalami perubahan warna menjadi agak bening. Fase perubahan warna air limbah menjadi hitam terjadi pada hari ke 4 sampai ke 6. Proses pembusukan pada reaktor ini terjadi pada hari ke 6 tetapi timbulnya filamen di permukaan air limbah tidak banyak dan tipis sehingga tidak begitu mempengaruhi masuknya sinar matahari ke dalam air, sehingga kandungan oksigen relatif baik. pH air mulai mengalami normal sejak pada hari ke-4 yaitu berkisar antara 5.7- 6.5.

Tabel 4.10 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 20%

Hari Pada Reaktor limbah 20%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,6 cm	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 8	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,7 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	1	29
Hari ke- 10	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,7 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	1	29

Tabel 4.11 Kondisi Air Limbah Dengan Konsentrasi 20%

Hari pada Reaktor 20%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 20%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke - 0	Normal	tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke - 2	Normal	tidak berbau	putih , agak bening	4,8 - 5
Hari ke - 4	sedikit adanya proses pembusukan	berbau	putih kehitaman, agak bening	5,7 - 6,5
Hari ke - 6	proses pembusukan	berbau	agak bening, kehitaman	6,5
Hari ke - 8	proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,5
Hari ke -10	sedikit adanya proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,8

#### 4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Daya Serap Akar Tanaman

Pengaruh kadar konsentrasi air limbah terhadap pertumbuhan dan daya serap akar secara umum memberikan dampak negatif, dibandingkan dengan pertumbuhan akar tanaman yang tidak diberikan air limbah. Hal ini terjadi dikarenakan kandungan Sianida pada air limbah relatif tinggi yaitu berkisar 3,332 mg/L yang mana pengaruh keberadaan Sianida akan mematikan tanaman ataupun organisme air, pada konsentrasi 1,8 mg/L Sianida ini akan mampu melumpuhkan 50% tanaman yang ada dalam air dalam waktu 48 jam.<sup>37</sup> Selain faktor Sianida

<sup>37</sup> Eckenfelder, W.W, 1978

---

pengaruh kadar O<sub>2</sub> dalam air limbah, transformasi gas-gas yang dihasilkan dalam air limbah yang terhalang juga mempengaruhi daya serap akar

---

Efisiensi daya serap akar tanaman terhadap air limbah tapioka ini sangat tergantung dari tingkat konsentrasi air limbah yang digunakan, di mana semakin kecil konsentrasi limbah tapioka yang digunakan maka semakin besar daya serap akar terhadap kandungan zat organik pada limbah, hal ini terlihat pada konsentrasi limbah 20% dan 40% dari analisa laboratorium tingkat efisiensi removal dalam reaktor dengan tanaman Eceng Gondok berkisar antara 51 % - 98 % untuk BOD<sub>5</sub>, 83,4% untuk COD, 45,65% untuk TSS, dan 53,8% - 99,8% untuk Sianida.

Pengaruh konsentrasi air limbah pada akar terlihat dari perubahan warna dan kesegaran akar tanaman. Akar tanaman Eceng Gondok yang normal berwarna hitam kebiruan, sedangkan pada penelitian ini akar tanaman untuk konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% berwarna kecoklatan (mati).

#### **4.1.2 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Pertumbuhan Panjang Tanaman**

Adanya air limbah industri tapioka dalam reaktor memberikan dampak pengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan dari batang tanaman Eceng Gondok. Hal ini terlihat selama proses penanaman Eceng Gondok yaitu selama 10 hari proses penelitian, pertumbuhan batang Eceng Gondok dari setiap variasi waktu yang diteliti tidak mengalami penambahan pertumbuhan bahkan mengalami penyusutan, layu kemudian mati. Pengaruh konsentrasi air limbah pada Eceng Gondok sangat tinggi, yaitu untuk konsentrasi limbah 60%, 80%, dan

---

100% pertumbuhan Eceng Gondok sangat terhambat sedangkan untuk konsentrasi air limbah 20%, dan 40% hanya sedikit mempengaruhi pertumbuhan dari Eceng Gondok. Bentuk fisik perubahan dari batang Eceng Gondok dapat dilihat pada bab 4.1 analisa pertumbuhan Eceng Gondok dalam reaktor.

Terhambatnya pertumbuhan Eceng Gondok ini dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut, tingginya kandungan racun Sianida air limbah tapioka yang menghambat pertumbuhan dari akar Eceng Gondok sehingga berpengaruh pada pertumbuhan batangnya, tingginya partikel solid air limbah sehingga mempengaruhi sinar matahari untuk masuk kedalam air dan menghalangi proses *absorben* nutrien oleh akar, serta bahan organik limbah yang tinggi sehingga menimbulkan proses pembusukan yang mengurangi dan menghambat proses terbentuknya oksigen, dan berakibat terhalangnya pelepasan gas-gas yang dihasilkan oleh akar tanaman ke permukaan air karena adanya lapisan lendir (biofilm) di permukaan air dari hasil proses pembusukan, dan timbulnya jenis mikroorganisme anaerob yang membuat air bau.

---

#### **4.1.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Pertumbuhan Luas Daun Tanaman**

Pengaruh pemberian konsentrasi air limbah tapioka dalam reaktor juga memberikan dampak yang negatif terhadap pertumbuhan daun dari Eceng Gondok, hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan daun Eceng Gondok pada konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% dan berdasarkan variasi waktu yang diamati mengalami penurunan yang drastis dan bahkan mati. Sedangkan untuk



---

konsentrasi 20%, dan 40% pertumbuhan daun Eceng Gondok lebih baik. Bentuk fisik perubahan daun Eceng Gondok dapat dilihat pada Bab 4.1 Gambaran dan kondisi pertumbuhan Eceng Gondok.

Keadaan dari air limbah tapioka yang umumnya memiliki konsentrasi pencemar limbah yang tinggi seperti konsentrasi racun Sianida yang menyebabkan kematian jika berada pada kadar  $>1,8$  mg/L, partikel koloid yang tinggi serta kandungan senyawa-senyawa organik yang tinggi inilah yang membuat pertumbuhan tanaman Eceng Gondok mengalami penghambatan dalam pertumbuhannya.

#### **4.2 Analisa Kualitas Air Limbah Industri Tapioka**

Proses pengolahan air limbah industri tapioka dengan menggunakan sistem *Constructed wetlands* ini menunjukkan proses penurunan kandungan air limbah yang bervariasi, sesuai dengan tingkat konsentrasi dari air limbah dalam reaktor. Secara umum didapat bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi air limbah tapioka yang digunakan maka akan semakin rendah kemampuan removal yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sifat dan karakteristik air limbah tapioka yang sangat bervariasi di mana kandungan racun Sianida, partikel *solids* dan BOD<sub>5</sub>, COD yang sangat tinggi.

Variasi pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini berupa variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu dari pengolahan. Dari variasi ini akan dianalisa secara laboratorium tingkat removal yang dihasilkan. Proses pengolahan

---

air limbah dan hasil dari analisa yang didapat dapat dilihat dalam pembahasan selanjutnya.

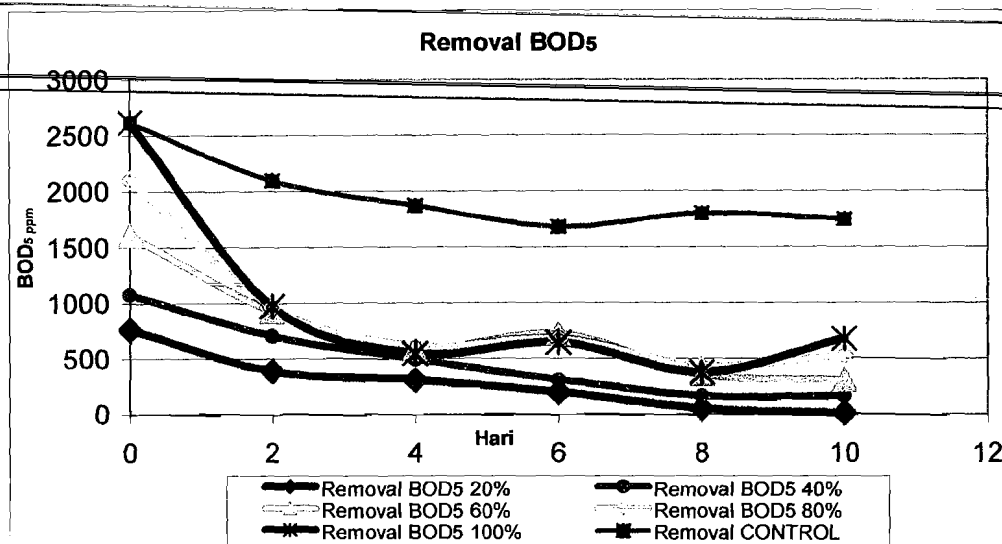
---

#### 4.2.1 Penurunan Konsentrasi BOD<sub>5</sub>

Hasil penelitian dari sistem pengolahan air limbah tapioka dengan sistem *wetlands* ini menunjukkan penurunan konsentrasi BOD<sub>5</sub> air limbah tapioka dengan menggunakan lima variasi perlakuan konsentrasi air limbah terhadap waktu tinggal air limbah di dalam reaktor. Berikut hasil analisa removal BOD<sub>5</sub> dan Grafik removal BOD<sub>5</sub>

Tabel 4.12 Hasil Analisa Removal BOD<sub>5</sub>

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	762,5	387,94	309,4	196,16	53,43	15,71
40	Mg/L	1077	705,05	497,32	310,03	164,91	166,72
60	Mg/L	1609	926,53	591,28	720,60	361,78	307,66
80	Mg/L	2103	967,76	618,39	677,03	437,47	529,13
100	Mg/L	2618	972,58	549,97	643,25	378,78	680,14
Tanpa Tanaman	Mg/L	2618	2096	1873	1682,00	1802,00	1749,00



Grafik 4.1 Hubungan Konsentrasi BOD<sub>5</sub> Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan dari tabel 4.4 analisa kualitas air limbah di atas setelah dilakukan pengolahan dengan sistem *Wetlands* menunjukkan penurunan BOD<sub>5</sub> mengalami perbedaan variasi removal berdasarkan tingkat konsentrasi air limbah tapioka yang digunakan, yaitu konsentrasi air limbah 100% sebesar 74,02% dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) 2618 mg/L teremoval menjadi 680,14 mg/L, konsentrasi 80% sebesar 74,84% dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) 2103 mg/L teremoval menjadi 529,13 mg/L, konsentrasi 60% sebesar 80,88% dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) 1609 mg/L teremoval menjadi 307,66 mg/L, konsentrasi 40% sebesar 84,45% dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) 1077 mg/L teremoval menjadi 166,72 mg/L, konsentrasi 20% sebesar 97,93% dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) 762,5 mg/L teremoval menjadi 15,71 mg/L.

Proses penurunan konsentrasi air limbah tapioka ini dilakukan oleh adanya peranan dari media tanaman *Eceng Gondok* dan mikroorganismenya yang mengurai bahan pencemar dalam air limbah menjadi nutrisi untuk pertumbuhannya, selain

---

itu juga disebabkan adanya peranan media tanam dari reaktor yang menyerap (filtrasi) konsentrasi pencemar air limbah serta proses sedimentasi. Proses penurunan konsentrasi BOD<sub>5</sub> dalam reaktor juga karena adanya penyuplaian oksigen melalui proses fotosintesis oleh tanaman, dan mikroorganisme (biofilm) baik di permukaan air maupun di dalam air limbah dan tanaman, proses difusi media langsung ke tanah dalam reaktor serta proses reaerasi dari permukaan tanaman, proses translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer dan proses difusi langsung dari atmosfer yang berada di permukaan air limbah, hal ini juga dikemukakan dari hasil penelitian oleh Reed et, al. (1987) dan Merz, (2000) tentang penguraian dan suplai oksigen di dalam sistem pengolahan *wetlands*.

Peranan Eceng Gondok dalam menguraikan kandungan pencemar dalam air limbah salah satunya melalui proses transpirasi oleh tanaman. Transpirasi terbesar oleh tanaman dilakukan oleh daun Eceng Gondok karena daun berkontak langsung dengan penyinaran matahari. Kontak langsung ini mengakibatkan kehilangan air lebih besar terjadi pada daun tanaman dibandingkan bagian-bagian tanaman lainnya. Kegiatan transpirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran daun, bulu permukaan daun, jumlah stomata, suhu, radiasi, kelembaban, dan kondisi perairan.<sup>38</sup>

Hasil dari proses-proses removal oleh tanaman Eceng Gondok dan mikroorganisme dalam reaktor akan menghasilkan oksigen. Oksigen tersebut akan dibutuhkan oleh tanaman dan mikroorganisme kembali untuk mendekomposisi atau menguraikan secara aerobik bahan organik karbon yang terdapat dalam air

---

<sup>38</sup> dwidjoseputro, 1992

---

limbah tapioka. Sedangkan untuk reaktor control (tidak terdapat tanaman) hanya terjadi proses difusi dan reaerasi pada permukaan air.

---

Dalam penelitian ini proses aerobik terbesar terjadi pada variasi waktu ke-2, 4, dan 6 hari karena pada hari tersebut belum terjadinya proses pembusukan pada air limbah, proses aerobik ini merupakan proses peremovalan bahan organik pada air limbah yang berlangsung cepat dan terjadi proses mineralisasi bahan organik secara sempurna yaitu terbentuknya senyawa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Proses respirasi mikroorganisme memanfaatkan bahan organik dan karbondioksida ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) yang menghasilkan karbondioksida, air dan energi. Hasil respirasi mikroorganisme ini akan dimanfaatkan oleh tanaman dan mikroba untuk melakukan proses fotosintesis dengan bantuan sinar matahari sebagai energi dan sebaliknya.

Proses removal kandungan pencemar air limbah tapioka mengalami penurunan pada variasi waktu ke 6, 8 dan 10 hal ini disebabkan karena terjadinya proses pembusukan pada permukaan air limbah. Proses ini mengakibatkan tumbuhnya mikroorganisme anaerobik pada reaktor, sehingga menurunkan kadar oksigen dalam air. Efek dari adanya mikroorganisme anaerobik ini berpengaruh pada pertumbuhan tanaman Eceng Gondok terutama bagian akar tanaman akibat suplai oksigen yang berkurang karena proses transformasi gas-gas dari dalam air limbah tidak beresikulasi dengan baik, selain itu proses pembusukan terbentuk akibat dari pengaruh adanya kandungan Sianida pada air limbah yang tinggi yang mengakibatkan kematian pada Eceng Gondok terutama pada akar tanaman dan mikroorganisme sehingga terjadi pembusukan pada air dan tanaman yang secara

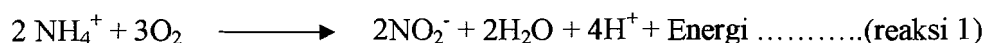
---

alami akan membentuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi dengan reaksi proses

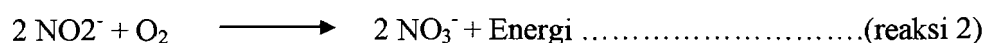
---

pembusukannya sebagai berikut :

- Oksidasi ammonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas* sp



- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter* sp



Analisa laboratorium juga menunjukkan terjadi peningkatan BOD<sub>5</sub> dalam air limbah yaitu konsentarsi limbah 60% terjadi peningkatan sebesar 21,87% pada hari ke 6, konsentrasi 80% terjadi peningkatan sebesar 9,48% dan 20,95% pada hari ke 6 dan ke 10, konsentrasi 100% terjadi peningkatan sebesar 16,96% dan 79,56% pada hari ke 6 dan ke 10, reaktor control terjadi peningkatan BOD<sub>5</sub> sebesar 7,13% pada hari ke 8. Selain efek dari adanya proses pembusukan dan pengaruh Sianida yang mengakibatkan matinya tanaman *Eceng Gondok* peningkatan BOD<sub>5</sub> juga disebabkan adanya pengaruh dari tumbuhnya alga dan mikroorganisme lain dalam reaktor<sup>39</sup>. Alga dan mikroorganisme *cyanobacteria* terdapat dalam air tawar dan asin secara alami yang dikarenakan adanya nutrisi dan sinar matahari yang berada dalam air limbah sehingga terjadi asimilasi alga<sup>40</sup>.

Peningkatan BOD<sub>5</sub> juga terjadi disebabkan adanya kontribusi dari siklus hidup dan matinya alga, bangkai daun tanaman dan akar yang jatuh pada reaktor. Matinya alga dan bakteri di dalam air akan meningkatkan jumlah karbon organik dalam reaktor. Apabila proses reaksi-reaksi penguraian dimulai lagi dalam reaktor maka akan dibutuhkan kadar oksigen yang tinggi untuk menguraikan bahan

---

<sup>39</sup> Scott, 2004

<sup>40</sup> Reed. Et., 1987

---

karbon organik tersebut dalam reaktor hal inilah yang menyebabkan peningkatan kadar BOD<sub>5</sub> karena menurunnya suplai kadar oksigen. Kondisi ini akan kembali normal dalam meremoval kadar BOD<sub>5</sub> apabila proses reaksi penguraian bahan organik kembali normal yaitu setelah beberapa hari dari terjadinya proses di atas di mana jumlah bahan organik dalam *wetlands* telah mencapai keseimbangan dengan jumlah kadar persediaan oksigen dalam reaktor<sup>41</sup>.

Matinya tanaman Eceng Gondok dalam reaktor mengakibatkan proses penguraian bahan organik dan anorganik dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme. Fenomena ini terlihat pada hari ke 6 sampai hari ke 10 dalam reaktor 60%, 80%, dan 100% di mana Eceng Gondok mengalami kematian tetapi proses penguraian konsentrasi BOD<sub>5</sub> berlangsung kembali. Kematian Eceng Gondok membawa dampak positif bagi pertumbuhan mikroba karena setiap komponen-komponen dari Eceng Gondok yang mati sebagai tempat untuk berkembangbiaknya mikroba (filamen) pengurai baru yang akan berperan penting dalam menurunkan kadar pencemar setelah tanaman Eceng Gondok mengalami fase kematian. Kondisi pertumbuhan mikroorganisme ini juga didukung dengan berkurangnya kadar Sianida yang terdapat dalam air limbah, akibat terlepasnya Sianida keudara sehingga pertumbuhan mikroba pada reaktor 60%, 80%, dan 100% mencapai puncaknya pada hari ke 6 dan selanjutnya proses penguraian bahan organik dan anorganik dalam air limbah tapioka dilakukan oleh mikroorganisme.

---

<sup>41</sup> EPA, 2000

Proses penurunan konsentrasi BOD pada reaktor control tanpa tanaman lebih disebabkan oleh adanya peranan dari media tanam yang secara fisik mampu menurunkan pencemar BOD melalui proses filtrasi, sedimentasi dan aktivitas dari mikroorganismenya dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrisi dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 pencemar BOD mengalami proses penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi BOD, hal ini disebabkan karena adanya siklus kematian oleh mikroorganismenya.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam mengurai kandungan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar BOD pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.13 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	62,85	78,99	75,43	85,53	74,02
100% Tanpa Tanaman	%	19,94	28,46	35,75	31,17	33,19
Efisiensi Tanaman	%	42,91	50,53	39,68	54,36	40,83

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan BOD<sub>5</sub> selain disebabkan adanya aktivitas mikroorganismenya juga



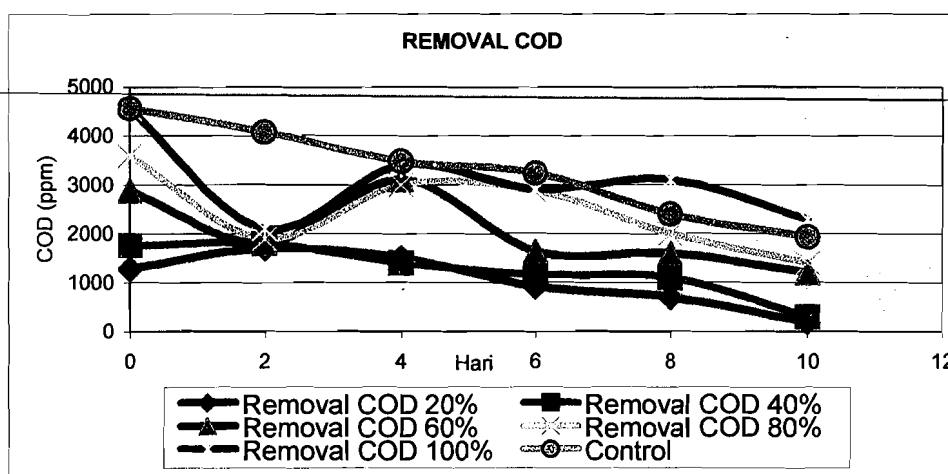
disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter pencemar BOD<sub>5</sub> berkisar antara 40% - 54%.

#### 4.2.2 Penurunan Konsentrasi COD

Proses penurunan kandungan pencemar COD dalam air limbah industri tapioka dengan menggunakan sistem pengolahan *constructed wetlands* yang menggunakan variasi waktu dan konsentrasi air limbah menunjukkan hasil analisa yang naik turun atau variatif. Berikut tabel dan grafik hasil analisa laboratorium terhadap penurunan kandungan pencemar COD air limbah industri tapioka.

Tabel 4.14 Hasil Analisa Removal COD

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		2	4	6	8	10	
20	mg/L	1280	1700	1500	920	700	200
40	mg/L	1760	1800	1400	1160	1100	300
60	mg/L	2880	1800	3100	1640	1600	1200
80	mg/L	3600	1900	3000	2880	2000	1400
100	mg/L	4560	2100	3400	2920	3100	2300
Tanpa Tanaman	mg/L	4560	4080	3480	3000	3360	3057,5



Grafik 4.2 Hubungan Konsentrasi COD Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

---

Berdasarkan tabel 4.14 Hasil analisa laboratorium menunjukkan variasi penurunan COD berdasarkan tingkat konsentrasi air limbah dalam reaktor berbeda beda, yaitu penurunan COD untuk konsentrasi air limbah 20% berdasarkan waktu detensi, dari hari ke 0 sampai ke 10 sebesar 84,38% dengan konsentrasi awal (Co) 1280 mg/L menjadi 200 mg/L, konsentrasi air limbah 40% teremoval sebesar 82,95% dengan konsentrasi awal (Co) 1760 mg/L menjadi 300 mg/L, konsentrasi air limbah 60% teremoval sebesar 58,33% dengan konsentrasi awal (Co) 2880 mg/L menjadi 1200 mg/L, konsentrasi air limbah 80% teremoval sebesar 61,11% dengan konsentrasi awal (Co) 3600 mg/L menjadi 1400 mg/L, konsentrasi air limbah 100% teremoval sebesar 49,56% dengan konsentrasi awal (Co) 4560 mg/L menjadi 2300 mg/L, reaktor control tanpa tanaman teremoval sebesar 32,95% dengan konsentrasi awal (Co) 4560 mg/L menjadi 3057,5 mg/L.

Proses teremovalnya COD dalam pengolahan *constructed wetlands* ini juga berdasarkan jumlah kandungan oksigen yang terdapat dalam air limbah yang digunakan untuk mengurai bahan-bahan anorganik dan organik, dan kemampuan media tanaman dalam mengurai bahan-bahan organik air limbah serta mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Suplai oksigen dalam *wetlands* terjadi melalui adanya proses fotosintesis tanaman, alga, dan mikroorganisme (biofilm) yang terdapat di permukaan air maupun di dalam air limbah dan tanaman, proses difusi media langsung ke tanah dalam reaktor serta proses reaerasi dari permukaan tanaman, proses translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer dan proses difusi langsung dari atmosfer yang berada di permukaan air limbah, hal ini juga dikemukakan dari hasil penelitian oleh Reed et, al. (1987) dan

---

Merz, (2000) tentang penguraian dan suplai oksigen di dalam sistem pengolahan *wetlands*.

---

Penurunan COD dalam penelitian ini sangat bergantung dari proses penurunan BOD dalam reaktor yaitu peranan tanaman dan mikroorganisme untuk mengurai bahan-bahan organik air limbah. karena apabila BOD mengalami penurunan akan mempengaruhi proses penurunan COD juga dengan perbandingan antara BOD dan COD sebesar  $1,5 - 2$ <sup>42</sup>. COD merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai bahan-bahan organik maupun anorganik. Dalam proses penguraian secara kimiawi ini suplai oksigen didapat dari adanya proses penguraian bahan-bahan organik, mikroorganisme dan tanaman dalam reaktor.

Penguraian senyawa-senyawa anorganik dalam air limbah tapioka ini banyak dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok, karena Eceng Gondok sangat memerlukan mineral-mineral anorganik yang terkandung dalam air limbah tapioka untuk pertumbuhannya. Unsur-unsur yang tersedia dalam air limbah diserap oleh Eceng Gondok dalam bentuk kation dan anion, yang dilakukan oleh ujung-ujung akarnya. Penyerapan melalui ujung akar dan lapisan meristem Eceng Gondok terhadap air serta garam-garam mineral berlangsung dalam jumlah yang kecil.

Penyerapan terbesar terjadi pada bulu-bulu akar Eceng Gondok yang sangat banyak, sel kulit (kortek), sel epidermis, perikel dan pembuluh angkutnya. Transformasi penyerapan digerakkan oleh energi kinetis yang berasal dari gerakan molekul-molekul yang berada pada air limbah dalam reaktor yang berkonsentrasi lebih pekat atau *hipertonis*. Penyerapan bahan-bahan anorganik

---

oleh bulu-bulu akar Eceng Gondok yang muda lebih berpotensi tinggi dari pada bulu akar yang tua. Proses penyerapan bahan-bahan anorganik ini juga dipengaruhi oleh respirasi yang menghasilkan energi yang kemudian akan mempengaruhi jumlah ion yang terbawa masuk ke tanaman <sup>43</sup>

Peningkatan kembali kadar COD dalam penelitian ini terjadi pada hari ke 2 untuk konsentrasi air limbah 20% dan 40% yaitu sebesar 32,81% dengan konsentrasi awal (Co) 1280 mg/L menjadi 1700 mg/L dan sebesar 2,27% dengan konsentrasi awal (Co) 1760 mg/L menjadi 1800 mg/L, dan pada hari ke 4 untuk konsentrasi air limbah 60% sebesar 72,22% dengan konsentrasi awal (Co) 1800 mg/L menjadi 3100 mg/L, konsentrasi air limbah 80% sebesar 57,89% dengan konsentrasi awal (Co) 1900 mg/L menjadi 3000 mg/L, dan untuk konsentrasi air limbah 100% sebesar 61,90% dengan konsentrasi awal (Co) 2100 mg/L menjadi 3400 mg/L

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya peningkatan kadar COD dalam air limbah dapat disebabkan karena pengaruh asam Sianida dalam air limbah yang menghambat pertumbuhan Eceng Gondok, matinya beberapa tanaman Eceng Gondok sehingga proses-proses penyerapan bahan-bahan anorganik berkurang, semakin tingginya kandungan asam pada air limbah dalam reaktor akibat dampak dari matinya Eceng Gondok yang kemudian melepaskan asam oksalat.

Matinya tanaman Eceng Gondok akibat terserapnya Sianida dan tingginya konsentrasi pencemar air limbah dalam reaktor 60%, 80%, dan 100%

---

<sup>43</sup> Dwidjoseputro, 1992

---

mengakibatkan proses penguraian bahan organik dan anorganik dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme. Fenomena ini terlihat pada hari ke 4 sampai hari ke 10 dalam reaktor 60%, 80%, dan 100% di mana Eceng Gondok mengalami kematian tetapi proses penguraian konsentrasi COD tetap berlangsung kembali. Kematian Eceng Gondok membawa dampak positif bagi pertumbuhan mikroba karena setiap komponen-komponen dari Eceng Gondok yang mati sebagai tempat untuk berkembangbiaknya mikroba (filamen) pengurai baru yang akan berperan penting dalam menurunkan kadar pencemar setelah tanaman Eceng Gondok mengalami fase kematian. Titik puncak pertumbuhan mikroorganisme pada reaktor 60%, 80%, dan 100% terjadi pada hari ke 6 hal ini ditunjukkan bahwa proses penurunan konsentrasi COD terjadi kembali yang sepenuhnya dilakukan oleh aktivitas mikroorganisme yang mengurai kandungan bahan organik maupun anorganik menjadi nutrisi maupun energi bagi pertumbuhannya, sedangkan untuk konsentrasi 20% dan 40% penurunan kadar COD akibat adanya peranan antara mikroorganisme dan Eceng Gondok yang masih hidup dalam reaktor. Bertahannya pertumbuhan Eceng Gondok dalam reaktor 20% dan 40% ini dipengaruhi oleh menurunnya kandungan Sianida dalam air limbah

---

Proses penurunan COD pada reaktor control tanpa tanaman lebih disebabkan oleh adanya peranan dari media tanam yang secara fisik mampu menurunkan pencemar COD melalui proses filtrasi dan aktivitas dari mikroorganisme dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrisi dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 COD

mengalami proses penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi COD, hal ini disebabkan karena adanya siklus matinya mikroba.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam mengurai kandungan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar COD pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.15 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	53,95	61,90*	35,96	32,02	49,56
100% Tanpa Tanaman	%	10,53	14,71	34,21	26,32	32,95
Efisiensi Tanaman	%	43,42	47,19*	1,75	5,7	16,61

Keterangan : \* Terjadi Peningkatan kadar COD

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan COD selain disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme juga disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter pencemar COD sebesar 43,42%.

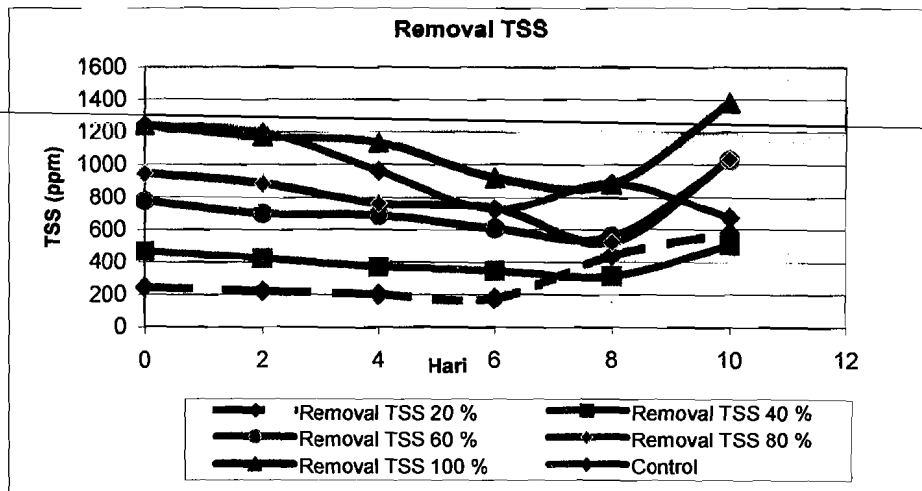
#### 4.2.3 Penurunan Konsentrasi TSS

Proses penurunan kandungan partikel-partikel *solids* dalam air limbah yang diolah dengan menggunakan sistem pengolahan *natural treatment*

*constructed wetlands* ini terjadi dikarenakan adanya proses flokulasi, sedimentasi dan proses filtrasi, intersepsi serta proses *absorbent* dalam reaktor. Hasil analisa laboratorium dalam penelitian ini, di mana dilakukan pengolahan air limbah industri tapioka dengan memanfaatkan tanaman Eceng Gondok dengan melakukan variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu menunjukkan hasil yang baik secara umum proses penurunan selalu terjadi pada tiap-tiap variasi yang dilakukan. Berikut tabel dan grafik hasil analisa laboratorium terhadap variasi waktu dan konsentrasi air limbah.

Tabel 4.16 Hasil Analisa Removal TSS

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Waktu Pengambilan (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	248	224	204	180	444	584
40	Mg/L	466	424	372	348	316	508
60	Mg/L	777	696	688	608	560	1028
80	Mg/L	945	884	760	732	524	1036
100	Mg/L	1243	1172	1136	920	880	1380
Tanpa Tanaman	Mg/L	1243	1196	960	724	884	676



Grafik 4.3 Hubungan Konsentrasi TSS Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

---

Berdasarkan gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa hasil removal oleh sistem pengolahan *wetlands* ini menunjukkan hasil yang *varianf*. Proses penurunan hanya terjadi pada variasi waktu hari ke 2, 4, dan 6 kemudian meningkat kembali pada hari ke 8, dan 10. Tingkat removal TSS dari hari ke 2 sampai dengan hari ke 6 terjadi proses removal yaitu konsentrasi 20% sebesar 27,42%, konsentrasi 40% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 32,19%, konsentrasi 60% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 27,93%, konsentrasi 80% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 44,55%, konsentrasi 100% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 29,20%, konsentrasi limbah control dari hari ke 2 sampai ke 10 sebesar 45,62%.

Proses removal partikel-partikel *solids* (TSS) dalam penelitian ini terjadi akibat adanya peranan media tanaman, media tanah, serta mikroorganisme dalam reaktor *constructed wetlands*. Proses-proses yang terjadi akibat dari adanya media tanah dalam *constructed wetlands* adalah proses-proses fisik antara lain proses sedimentasi, agregasi, filtrasi dan intersepsi, sedangkan peranan media tanaman dalam hal ini Eceng Gondok yaitu sebagai tempat terjadinya proses *absorben* partikel-partikel organik terlarut yang dimanfaatkan untuk proses asimilasi atau proses fotosintesis dan nutrien oleh tanaman, sedangkan peranan mikroorganisme dalam *wetlands* ini yaitu mampu menguraikan partikel-partikel organik dalam air limbah tapioka sebagai bahan nutrien untuk pertumbuhannya<sup>44</sup>.

Penurunan kadar TSS juga dapat disebabkan karena padatan atau partikel-partikel *solids* dalam sistem pengolahan *wetlands* membentuk gumpalan-gumpalan partikel yang lebih besar (flok) atau disebut dengan proses flokulasi

---

<sup>44</sup> Cappuccino Sherman, 2001



---

yang kemudian mengendap di atas permukaan tanah (proses sedimentasi)<sup>45</sup>.

---

proses terbentuknya flok partikel dalam penelitian ini terjadi akibat penumpukan partikel-partikel *solids* dari limbah tapioka di akar tanaman, Eceng Gondok memiliki daya serap yang tinggi sehingga seluruh substansi partikel-partikel yang ada dalam air limbah terserap oleh akar tanaman seperti layaknya spons yang menyerap suatu cairan beserta zat yang terlarut di dalam air limbah tanpa terseleksi. Sisa-sisa partikel yang tidak diserap oleh akar tanaman inilah yang membentuk flok kemudian mengendap di permukaan tanah.

Proses penguraian parameter TSS dalam reaktor mulai mengalami penurunan dikarenakan kondisi pertumbuhan dan daya tahan tanaman Eceng Gondok yang semakin menurun, hal ini ditunjukkan pada reaktor 60%, 80%, dan 100% pada hari ke 4 sampai hari ke 10 Eceng Gondok mengalami fase kematian. Faktor utama yang menyebabkan matinya Eceng Gondok karena disebabkan tingginya Sianida yang terserap oleh tanaman dan tingginya konsentrasi pencemar lainnya. Timbulnya kondisi ini proses penguraian parameter pencemar lebih dilakukan akibat adanya peranan dari mikroorganisme yang mengalami pertumbuhan yang tinggi karena adanya bantuan dari komponen-komponen tanaman yang mati dan membusuk sebagai tempat pertumbuhan bakteri, hal ini ditunjukkan pada reaktor tersebut pada hari ke 4 sampai ke 8 tetap terjadi penurunan kandungan pencemar TSS.

Proses penurunan parameter TSS terlihat stabil terjadi pada reaktor control tanpa tanaman Eceng Gondok karena proses penurunan TSS terjadi secara fisik

---

<sup>45</sup> Merz, 2000

---

dilakukan oleh adanya media tanah dan biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Peningkatan kembali kadar TSS dalam reaktor ini lebih disebabkan karena adanya siklus kematian mikroba hal ini ditunjukkan pada hari ke 10 dengan kondisi air dalam reaktor mengalami proses pembusukan.

Proses removal TSS mengalami penurunan atau peningkatan kembali kadar TSS dalam air limbah disebabkan karena terbentuknya proses pembusukan pada permukaan air dan matinya tanaman dalam reaktor. Hal ini ditunjukkan terjadinya peningkatan kadar TSS pada hari ke 8 dan ke 10 untuk setiap variasi konsentrasi air limbah dalam reaktor. Peningkatan TSS pada konsentrasi 20% sebesar 79,03% dan 135,5%, konsentrasi 40% sebesar 9,03%, konsentrasi 60% sebesar 32,30%, konsentrasi 80% sebesar 9,63%, konsentrasi 100% sebesar 11,02%. Peningkatan kadar TSS ini karena terbentuknya proses pembusukan, yang mana proses ini menimbulkan lapisan filamen di permukaan air limbah sehingga menyebabkan timbulnya mikroorganisme anaerobik dan mikroba lain, dampak adanya mikroorganisme ini adalah menurunnya kadar oksigen sehingga bahan-bahan organik dalam air limbah tidak dapat teruraikan, selain itu berpengaruh juga terhadap pertumbuhan tanaman Eceng Gondok. Faktor lain yang menyebabkan peningkatan kadar TSS adalah matinya tanaman Eceng Gondok yang disebabkan oleh adanya kandungan racun Sianida dan tingginya konsentrasi pencemar pada air limbah hal ini ditunjukkan pada reaktor 60%, 80%, dan 100% yang hampir keseluruhan dari Eceng Gondok mengalami kematian dan pengaruh dari terbentuknya proses pembusukan yang membuat akar tanaman Eceng

---

Gondok mati. Matinya Eceng Gondok ini membuat akar tanaman mengeluarkan kembali bahan-bahan yang diserapnya dan terlepasnya partikel-partikel yang menempel di akar Eceng Gondok sehingga meningkatkan kembali partikel-partikel dalam reaktor, sedangkan untuk reaktor 20% dan 40% pada hari ke 8 dan hari ke 10 mengalami peningkatan konsentrasi TSS lebih disebabkan karena timbulnya alga dan mikroorganisme lain yang mengalami siklus hidup dan mati.

Tumbuhnya alga di dinding-dinding reaktor penelitian dan bahan-bahan organik seperti zooplankton, bakteri, dan pengurai, bahan anorganik seperti *silt*, *clay* dan lain-lain, yang memberikan efek kekeruhan pada air.<sup>46</sup> Pertumbuhan alga dikarenakan adanya sinar matahari yang masuk kedalam air limbah, tersedianya nutrisi dan oksigen, temperatur yang panas dingin, hal ini didukung juga dengan kondisi musim hujan pada saat penelitian ini dilakukan.<sup>47</sup>

Proses penurunan TSS pada reaktor control disebabkan adanya peranan dari tanah melalui proses sedimentasi serta aktivitas dari mikroba dalam mengubah bahan organik dan anorganik menjadi nutrisi dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 TSS mengalami penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi TSS, karena adanya siklus matinya mikroba.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter TSS dalam penelitian ini kurang efektif hal ini dikarenakan tanaman Eceng Gondok mengalami penurunan dalam pertumbuhannya dan mengalami fase

---

<sup>46</sup> Kywater. org

<sup>47</sup> Jack and Lamar, 1999

kematian dari hari ke 4 sampai hari ke 10 sehingga penurunan konsentrasi TSS

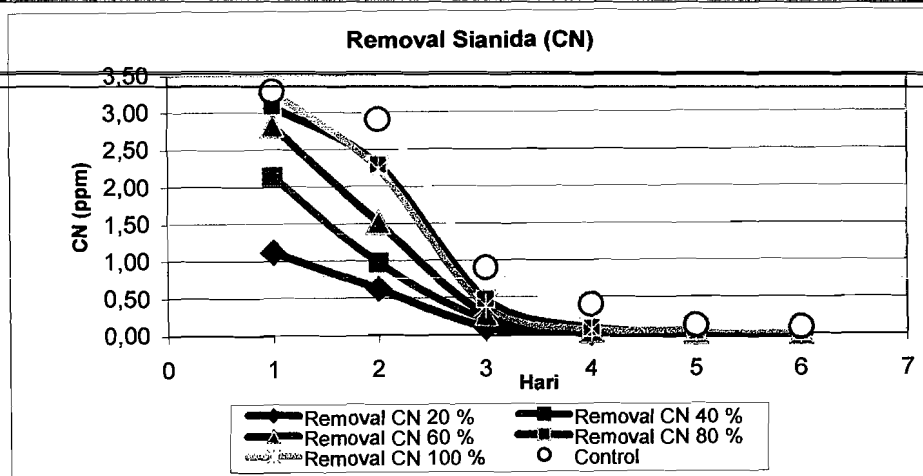
akibat adanya media tanah dan mikroba.

#### 4.2.4 Penurunan Konsentrasi Sianida

Berdasarkan hasil uji laboratorium menunjukkan hasil removal Sianida dalam sistem pengolahan *constructed wetlands* terjadi sangat efektif dengan rata-rata penurunan sebesar 98,99%. Berikut tabel dan grafik hasil uji laboratorium berdasarkan variasi konsentrasi dan waktu tinggal air limbah dalam reaktor.

Tabel 4.17 Hasil Analisa Removal Sianida (CN)

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	1,12	0,63	0,10	0,02	0,002	0,002
40	mg/L	2,14	0,98	0,21	0,03	0,007	0,004
60	mg/L	2,83	1,52	0,28	0,05	0,024	0,006
80	mg/L	3,09	2,30	0,49	0,09	0,033	0,021
100	mg/L	3,29	2,24	0,39	0,07	0,052	0,030
Tanpa Tanaman	mg/L	3,29	2,91	0,90	0,41	0,122	0,095



Grafik 4.4 Hubungan Konsentrasi Sianida Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

*Constructed wetlands* sangat efektif untuk dapat menurunkan konsentrasi Sianida (CN) dalam air limbah tapioka, karena proses evaporasi sangat efektif terjadi dengan konstrukstur desain reaktor terbuka. Berdasarkan tabel dan grafik removal Sianida di atas setiap reaktor air limbah tapioka mengalami penurunan yang baik, reaktor konsentrasi limbah 20% dengan variasi waktu detensi dari hari ke-2 sampai ke-10 meremoval Sianida sebesar 99,87% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 1,12 mg/L menjadi 0,002 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 40% mampu meremoval Sianida sebesar 99,84% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 2,14 mg/L menjadi 0,004 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 60% mampu meremoval Sianida sebesar 99,81% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 2,83 mg/L menjadi 0,006 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 80% mampu meremoval Sianida sebesar 99,34% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 3,09 mg/L menjadi 0,021 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 100% mampu meremoval Sianida sebesar 99,09% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 3,29 mg/L menjadi 0,03 mg/L, reaktor control tanpa tanaman

---

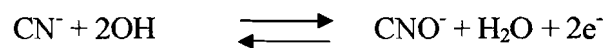
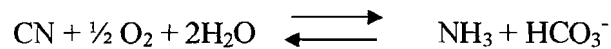
mampu meremoval Sianida sebesar 97,13% dengan konsentrasi Sianida awal (Co)

---

3,29 mg/L menjadi 0,095 mg/L.

---

Proses penurunan Sianida lebih besar terjadi secara alami karena didasarkan sifat Sianida yang mudah menguap dengan bantuan sinar matahari akan semakin mudah senyawa Sianida ini untuk berubah menjadi gas. Proses degradasi dengan oksidasi juga menurunkan kadar Sianida dalam kondisi alkali yang mana proses degradasi oksidasi ini terjadi dengan adanya oksigen dalam air limbah kemudian terurai menjadi gas yang akan lepas ke atmosfer berikut reaksi oksidasi yang terjadi dalam reaktor air limbah :



( e = elektron (g) = gas )

Proses removal Sianida dalam reaktor ini, juga dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok dan mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah yaitu memanfaatkan kandungan Sianida bebas dalam air limbah yang berupa garam-garam mineral seperti *Sodium cyanides*, *Potassium cyanides*, *Calcium cyanides* dan *Ammonium Cyanides* untuk pertumbuhannya. Berdasarkan hasil pengamatan untuk reaktor dengan tingkat konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% selama variasi waktu yang ditentukan pertumbuhan Eceng Gondok mengalami kematian yang diakibatkan pengaruh tingginya konsentrasi pencemar dan Sianida yang terserap oleh akar, sedangkan hasil analisa menunjukkan removal Sianida terus

berlangsung hal ini menunjukkan bahwa proses removal Sianida dalam *constructed wetlands* terjadi akibat adanya pengaruh sinar matahari yang dapat menguapkan (evaporasi) Sianida dalam air limbah.

Kondisi reaktor 20% dan 40% tanaman Eceng Gondok relatif tumbuh dengan baik dari hari ke 4 sampai hari ke 10 hal ini dikarenakan kandungan Sianida dalam reaktor ini sudah mengalami penurunan sehingga proses penurunan kandungan pencemar pada reaktor ini dilakukan oleh peranan mikroorganisme dan tanaman Eceng Gondok. Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter Sianida adalah: 20,4% pada hari ke 2, 15,52% untuk hari ke 4, 10,19% untuk hari ke 6, 2,13% untuk hari ke 8 dan 1,96% untuk hari ke 10

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter pencemar Sianida pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.18 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	32,08	88,04	97,87	98,44	99,09
100% Tanpa Tanaman	%	11,68	72,52	87,68	96,31	97,13
Efisiensi Tanaman	%	20,40	0,36	10,19	2,13	1,96

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan Sianida selain disebabkan adanya proses penguapan dan aktivitas mikroorganisme juga disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter pencemar Sianida sebesar 20,40%

### 4.3 Uji Statistik Parameter – parameter Pencemar

Uji statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui atau menguji berlaku atau tidaknya asumsi uji statistik ANOVA terhadap sampel dari parameter-parameter penelitian yang berasal dari nilai varian yang sama berdasarkan tingkat probabilitas diterima  $< 0,05 >$  ditolak<sup>48</sup>. Tujuan dilakukannya uji statistik terhadap kadar parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk memperkuat ketepatan hasil perhitungan analisa laboratorium yang di dapat. Berikut hasil uji statistik ANOVA terhadap parameter penelitian :

#### 4.3.1 Uji Statistik Parameter BOD<sub>5</sub>

Hasil analisa BOD<sub>5</sub> terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	762,5	387,94	309,4	196,16	53,43	15,71
40	Mg/L	1077	705,05	497,32	310,03	164,91	166,72
60	Mg/L	1609	926,53	591,28	720,60	361,78	307,66
80	Mg/L	2103	967,76	618,39	677,03	437,47	529,13
100	Mg/L	2618	972,58	549,97	643,25	378,78	680,14
Tanpa Tanaman	Mg/L	2618	2096	1873	1682,00	1802,00	1749,00

<sup>48</sup> Santoso, 2003



Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter BOD<sub>5</sub> maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut

Tabel 4.15 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar BOD<sub>5</sub>

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: BOD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8237236.094 <sup>a</sup>	9	915248.455	14.832	.000
Intercept	13788513,2	1	13788513,19	223.455	.000
WAKTU	6278019.665	5	1255603.933	20.348	.000
KONST	1959216.429	4	489804.107	7.938	.001
Error	1234119.833	20	61705.992		
Total	23259869,1	30			
Corrected Total	9471355.927	29			

a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .811)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 7,938 dengan probabilitas  $0,001 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar BOD<sub>5</sub> diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 20,348 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar BOD<sub>5</sub> diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar removal BOD<sub>5</sub> maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni yaitu sebagai berikut :

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.16 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD<sub>5</sub>

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	Ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	ns	s
60%	s	Ns	-	ns	ns
80%	s	Ns	ns	-	ns
100%	s	S	ns	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.17 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD<sub>5</sub>

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	ns	s
60%	s	ns	-	ns	ns
80%	s	ns	ns	-	ns
100%	s	s	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.18 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap BOD<sub>5</sub>

		BOD			
KONST	N	Subset			
		1	2	3	
Tukey HSD <sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	287.5233			
konst limbah 40%	6	486.8383	486.8383		
konst limbah 60%	6		752.8083	752.8083	
konst limbah 80%	6		888.7967	888.7967	
konst limbah 100%	6			973.7867	
Sig.		.641	.073	.550	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 61705.992.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 40%, 60%, 80% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna. Sedangkan pada subset ke 3 untuk konsentrasi air limbah 60%, 80%, 100% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna.

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.19 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar BOD<sub>5</sub>

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	ns	ns	s	ns
4	s	ns	-	ns	ns	ns
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

Tabel 4.20 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar BOD<sub>5</sub>

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	s	ns	-	ns	ns	ns
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 2

terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 4, 6, 8 dan 10 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

#### 4.3.2 Uji Statistik Parameter COD

Hasil analisa COD terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		2	4	6	8	10	
20	mg/L	1280	1700	1500	920	700	200
40	mg/L	1760	1800	1400	1160	1100	300
60	mg/L	2880	1800	3100	1640	1600	1200
80	mg/L	3600	1900	3000	2880	2000	1400
100	mg/L	4560	2100	3400	2920	3100	2300
Tanpa Tanaman	mg/L	4560	4080	3480	3000	3360	3057,5

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter COD maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut

Tabel 4.21 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu

Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar COD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26104960.0 <sup>a</sup>	9	2900551.111	14.430	.000
Intercept	116821333	1	116821333.3	581.185	.000
WAKTU	286026.667	5	1857205.333	9.240	.000
KONST	16818933.3	4	4204733.333	20.919	.000
Error	202106.667	20	201005.333		
Total	146946400	30			
Corrected Total	30125066.7	29			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .807)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 20,919 dengan probalitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar COD diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 9,240 dengan probalitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar COD diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar COD maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.22 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar

COD

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	ns
100%	s	s	s	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.23 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap

Kadar BOD<sub>5</sub>

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	s	s
60%	s	ns	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	ns
100%	s	s	s	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.24 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap COD

		COD			
KONST	N	Subset			
		1	2	3	
Tukey HSD <sup>a, c</sup> konst limbah 20%	6	1050.0000			
konst limbah 40%	6	1253.3333			
konst limbah 60%	6		2036.6667		
konst limbah 80%	6		2463.3333	2463.3333	
konst limbah 100%	6			3063.3333	
Sig.		.932	.486	.180	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 201005.333.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 60% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 80%, subset 3 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 80% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 100%.



b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.25 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar COD

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	ns	s	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	s	ns	ns	-

Tabel 4.26 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar COD

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	ns	ns	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	s	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 4 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

### 4.3.3 Uji Statistik Parameter TSS

Hasil analisa TSS terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Waktu Pengambilan (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	248	224	204	180	444	584
40	mg/L	466	424	372	348	316	508
60	mg/L	777	696	688	608	560	1028
80	mg/L	945	884	760	732	524	1036
100	mg/L	1243	1172	1136	920	880	1380
Tanpa Tanaman	mg/L	1243	1196	960	724	884	676

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter TSS maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.27 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar TSS

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSS

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2996950.633 <sup>a</sup>	9	332994.515	34.298	.000
Intercept	13718745.6	1	13718745.63	1413.031	.000
WAKTU	451065.767	5	90213.153	9.292	.000
KONST	2545884.867	4	636471.217	65.557	.000
Error	194174.733	20	9708.737		
Total	16909871.0	30			
Corrected Total	3191125.367	29			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .912)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 65,557 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar TSS diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 9,292 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar TSS diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar TSS maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

- a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.28 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	s
100%	s	s	s	s	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.29 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap

Kadar TSS

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	s
100%	s	s	s	s	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.30 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap TSS

		TSS			
KONST		N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	konst limbah 20%	6	314.0000		
	konst limbah 40%	6	405.6667		
	konst limbah 60%	6		726.1667	
	konst limbah 80%	6		813.5000	
	konst limbah 100%	6			1121.8333
	Sig.		.508	.553	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 9708.737.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 60% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 80%, subset 3 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 100% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna.

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.31 Hasil Uji Tukey Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	ns	ns	ns	ns	ns
2	ns	-	ns	ns	ns	s
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	s
8	ns	ns	ns	ns	-	s
10	ns	s	s	s	s	-

Tabel 4.32 Hasil Uji Bonferroni Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	ns	ns	ns	ns	ns
2	ns	-	ns	ns	ns	s
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	s
8	ns	ns	ns	ns	-	s
10	ns	S	s	s	s	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 2 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

#### 4.3.4 Uji Statistik Parameter Sianida (CN)

Hasil analisa Sianida terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	1,12	0,63	0,10	0,02	0,002	0,002
40	mg/L	2,14	0,98	0,21	0,03	0,007	0,004
60	mg/L	2,83	1,52	0,28	0,05	0,024	0,006
80	mg/L	3,09	2,30	0,49	0,09	0,033	0,021
100	mg/L	3,29	2,24	0,39	0,07	0,052	0,030
Tanpa Tanaman	mg/L	3,29	2,91	0,90	0,41	0,122	0,095

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter TSS maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.33 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar Sianida

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: SIANIDA

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.268 <sup>a</sup>	9	3.252	19.944	.000
Intercept	16.208	1	16.208	99.402	.000
WAKTU	27.107	5	5.421	33.249	.000
KONST	2.161	4	.540	3.314	.031
Error	3.261	20	.163		
Total	48.738	30			
Corrected Total	32.529	29			

a. R Squared = .900 (Adjusted R Squared = .855)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 3,314 dengan probabilitas  $0,031 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Sianida diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 33,249 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Sianida diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar Sianida maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.34 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	ns	ns	s
40%	ns	-	ns	ns	ns
60%	ns	ns	-	ns	ns
80%	ns	ns	ns	-	ns
100%	s	ns	ns	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.35 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	ns	ns	ns
40%	ns	-	ns	ns	ns
60%	ns	ns	-	ns	ns
80%	ns	ns	ns	-	ns
100%	ns	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan



Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap konsentrasi air limbah 40%, 60%, 80%, dan sedangkan pada konsentrasi air limbah 20% terhadap konsentrasi air limbah 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.36 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap Sianida

SIANIDA				
KONST	N	Subset		
		1	2	
Tukey HSD <sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	.31233		
konst limbah 40%	6	.56183	.56183	
konst limbah 60%	6	.78500	.78500	
konst limbah 80%	6	1.00400	1.00400	
konst limbah 100%	6		1.01200	
Sig.		.053	.334	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .163.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, 60%, dan 80% subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 40% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100%

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.37 Hasil Uji Tukey Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	s	s	s	s
4	s	s	-	ns	ns	ns
6	s	s	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

Tabel 4.38 Hasil Uji Bonferroni Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	s	s	s	s
4	s	s	-	ns	ns	ns
6	s	s	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 4 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 6, 8, 10 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

---

## BAB V

---

### KESIMPULAN DAN SARAN

---

#### 5.1 Kesimpulan

- a. Penurunan parameter BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, CN dalam *constructed wetlands* terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dan Eceng Gondok yang mengolah bahan-bahan organik dan anorganik yang terdapat di dalam limbah cair industri tapioka sebagai energi dan nutrisi dalam bentuk karbon dan nitrogen dengan tingkat Efisiensi pengolahan limbah cair selama waktu detensi 10 hari adalah BOD 97,94 %, COD 84,35 %, TSS 45,62 %, Sianida (CN) 99,87 %.
- b. Peranan tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) di dalam sistem pengolahan *constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan-bahan organik air limbah industri tapioka menjadi nutrisi bagi pertumbuhannya dan sebagai tempat tumbuhnya berbagai mikroorganisme pengurai air limbah.

---

#### 5.2 Saran-saran

- a. Untuk lebih meningkatkan proses removal limbah cair industri tapioka dalam sistem *constructed wetlands* diperlukan sistem pengolahan pendahuluan terhadap tingkat racun sianida dan asam yang tinggi.

- 
- b. Modifikasi sistem pengolahan *wetlands* dengan sistem pengolahan aerasi atau sistem yang saling mendukung lainnya, guna untuk menanggulangi terjadinya proses pembusukan yang berlebihan.
- c. Diperlukan penelitian yang lebih spesifik terhadap pengaruh tanaman yang digunakan dalam sistem pengolahan *constructed wetlands*
-

---

## DAFTAR PUSTAKA

---

1. Ardiwinata.R.O., 1985, *Musuh Dalam Selimut di Rawa Pening*, Kementrian Pertanian, Vorking, Bandung.
2. Anonim, 1996, *Penurunan Kadar Cu Pada Limbah Pencucuan Perak Dengan Eceng Gondok*, Skripsi STTL YLH, Yogyakarta
3. Brooks, R.P. 1984. *Optimal designs for restored wetlands. IN Treatment of Mine Drainage by Wetlands*. Contribution #264. Dept. of Biology, Pennsylvania State University. pp. 19-29. University Park, PA.
4. Clitton Potter, M Soeparwadi, Aulia Gani, 1994, *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*, EMDI, Dalhousie University Canada.
5. Chan, E., T.A. Bursztynsky, N.N. and Y.J. Litwin. 1981. *The Use of Wetlands for Water Pollition Control*. U.S. EPA
6. Dhahiyat, 1974, *Aspek Ekologi Gulma Air Dalam Analisa Dampak Lingkungan* Kursus Dasar-dasar Analisa Lingkungan, Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Bandung.
7. Dwidjoseputro, 1992, *Fisiologi Tumbuhan*, PT Gramedia, Jakarta
8. Faizah Hamzah, 2001, *Teknik Bioflokulasi Alcaligenus Latus Pada Industri Tepung Ubu Kayu Untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan*, Makalah Falsafat Sains (PPs 702), Program Pasca Sarjana/S3 IPB, Bogor.

- 
9. Gambrell, R.P. and W.H. Patrick Jr, 1978, *Chemical and Microbiological Properties of Anaerobic Soils and Sediments*, MS Thesis In Biological System Engineering, Blacksburg.
  10. Gopal.P., 1987, *Water And Wastewater Technology*, S1-Vertion John Willey And Sens Inc, New York
  11. Hilton, B. L. 1993. Performance evaluation of a closed ecological life support system (CELSS) employing constructed wetlands. pp 117-125 in *Constructed Wetlands for Water Quality Improve-ment*, G. A. Moshiri (ed.). CRC Press, Boca Raton, FL.
  12. Jenssen, P.D., et al. (1993). Potential use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments. *Water Science Techniques* 28.10: 149-157
  13. Jack M. Whetstone, and D.Lamar. R, 1999, *Algae Problems in Water Gardens*, Clemson University, In [www. Hgic.clemson.edu](http://www.Hgic.clemson.edu).
  14. Kywater.org, Total Suspended Solid and Water Quality, [Kywater.org/ww](http://Kywater.org/ww). TSS
  15. Kadlec, R.H. and R.L. Knight, 1996, *Treatmend Wetlands*, MS Thesis In Biological System Engineering, Blacksburg.
  16. Luqman Hakim, ST, Msi, dkk, 2005, *Modul Praktikum Laboratorium Lingkungan I dan II*, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, UII, Jogjakarta.
  17. Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1986. *Wetlands*. 537 pp. Van Nostrand Reinhold, NY.
  18. Marianto, Lukito Adi, SP. 2003, *Tanaman Air*, Agro Media Pustaka.

- 
19. Moenandir, Jody dan Murgito, 2001, *Kemampuan Eceng Gondok, Kimbang, dan Tawas dalam Penjernihan Bahan Baku Air Minum*, Pasca Sarjana Unibraw, Malang.
20. Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater Engineerring 3<sup>rd</sup> ed*, McGraw-hill International Engineering, Singapore.
21. Merz, S.K, 2000, *Guidelines For: Using Free Water Surface Constructed Wetlands To Treat Municipal Sewage*, Departement Of Natural Resources, Brisbane
22. NRCS, EPA Regional III, 2001, *A Handbook of Constructed wetlands*, Volume 1 General Consideration.
23. Pandey.B.P., 1980, *Plant Anatomi*, S Chard dan Co, Ltdramnage, New Delhi.
24. Reed, S.C, and R.K. Bastian, 1985, *Wetlands for Wastewater Treatment: An Engeenering Perspective. In Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewater*. Van Nostrand Reinhold, NY.
25. Ritmann, Bruce. E. and Mc Carty, Perry. L. , 2001, *Environmental Biotechnology Principles and Applications*, Internasional Edition, California.
- 
26. Reddy, K.R and W.H.Patrick, 1984, *Nitrogen Transformations and Loss In Flooded Soils and Sediments*, MS Thesis In Biological System Engineering, Blacksburg.
27. Reed, S.C.E.J. Middlebrooks, and R.W. Cristes, 1987, *Natural System For Waste Management and Treatment, In USEPA Manual Constructed watlands and*

---

*Aquatic Plant System for Municipal Wastewaters*, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

28. Sastroutomo, 1985, *The Rule Of Aquatic Vegetation In The Environment*, Workshop On The Ecology And Management Of Aquatic Weeds, Jakarta.
29. Sastroutomo.S., 1991, *Ekologi Gulma*, Gramedia, Jakarta.
30. Scott, N, 2004, *Algae, Cyanobacteria and Water Quality*, PFRA or Agriculture and Agri-food Canada of any of the products or services mentioned herein. In [www.agr.gc.ca](http://www.agr.gc.ca).
31. Standar Methods, 2005, *The Eximination Of Water and Wastewater*, Sixteenth Edition, Washington Dc.
32. Sherman and Cappuccino, 2001, *Microbiology A Laboratory Manual*, sixth edition, NY.
33. Tirtosoepomo.G., 1981, *Penelitian Gulma Air Waduk Sempor*, Departemen PU Dirjen Pengairan Pembangunan,Kedu Selatan, Sempor, Gombong
34. Tjitrosomo.S.S., 1983, *Botani Umum II*, Angkasa Bandung.
35. Topp, E., Vallaeys, T. and Soulas, G. (1997). *Pesticides: microbial degradation and effects on microorganisms*, in *Modern Soil Microbiology* (eds J. Dirk van Ellis, J.T. Trevors and E.M.H. Wellington). Marcel Dekker, Inc.: New York.
36. U.S. Environmental Protection Agency, 1988, *Design Manual, Constructed Wetlands and Aquatic Plant System For Municipal Watewater Treatment*, EPE/625/1-88/022, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH 45268.



- 
37. USEPA, 1999, *Manual Constructed wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio.
38. USEPA, september 2000, *Wastewaters Technology Fact Sheet, Free Water Surface wetlands*, Office of water Washington DC,.
39. Wetzel, R. G., 1993. Constructed wetlands: scientific foundations are critical. pp 3-7 in *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, G.-A. Moshiri (ed.). CRC Press, Boca Raton, FL.
40. Widiyanto.L.S, 1986, *The Effect Of Heavy Metal On The Growth Of WaterHyacinth*, Proceed Syimposium on Pest Ecology and Pest Management, Seameo-Biotrop, Bogor, Indonesia.
41. Wildeman, T., J. Gusek, J. Dietz and S. Morea. 1991. *Handbook for Constructed Wetlands Receiving Acid Mine Drainage*. US EPA, Cincinnati, OH.
-

**DOKUMENTASI REAKTOR PENELITIAN**

**LAMPIRAN 1**

**REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS***



Reaktor 20%  
Hari ke 2



Reaktor 20%  
Hari ke 10



Reaktor 40%  
Hari ke 2



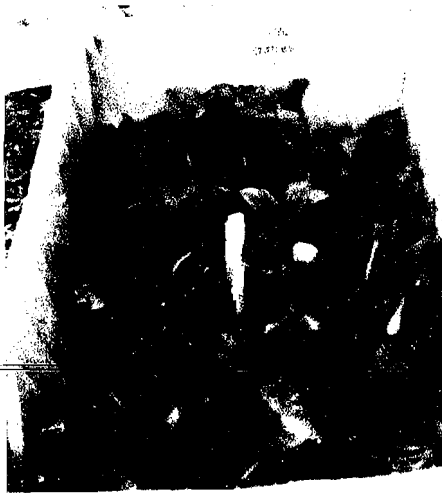
Reaktor 40%  
Hari ke 10



Reaktor 60%  
Hari ke 2



Reaktor 60%  
Hari ke 10



Reaktor 80%  
Hari ke 2



Reaktor 80%  
Hari ke 10



Reaktor 100%  
Hari ke 2



Reaktor 100%  
Hari ke 10



Reaktor 100%  
Tanpa Tanaman  
(control)



Reaktor Desilasi

*Biological Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>)*

DATA DAN ANALISA

LAMPIRAN 2















*Chemical Oxygen Demand (COD)*

**DATA DAN ANALISA**

**LAMPIRAN 3**



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

**Data Analisa *Chemical Oxygen Demand (COD)***

$$\text{Rumus perhitungan kadar COD (mg/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{V_{\text{sampel}}} \times \text{Pengenceran}$$

Keterangan : A = Volume FAS untuk titrasi blangko (ml)

B = Volume FAS untuk titrasi sampel (ml)

N = Normalitas FAS

Tabel a Data sampel air limbah 18 januari 2005

NO	Konsentrasi Air Limbah (%)	V FAS sampel (ml)		V FAS rata-rata (ml)	V FAS Blanko (ml)		V FAS Blanko rata-rata (ml)	Normalitas FAS	Faktor Pengencer	V sampel (ml)	COD (mg/L)
		Perc I	Perc II		Perc I	Perc II					
1	100	1	1	1	2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	2100
2	80	1,2	1	1,1	2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	1900
3	60	1,1	1,2	1,15	2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	1800
4	40	1,1	1,2	1,15	2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	1800
5	20	1,2	1,2	1,2	2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	1700
6	Tanpa Tanaman				2	2,1	2,05	0,025	25	2,5	4080



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

Tabel b Data sampel air limbah 20 januari 2005

NO	Konsentrasi Air Limbah (%)	V FAS sampel (ml)		V FAS rata-rata (ml)	V FAS Blanko (ml)		V FAS Blanko rata-rata (ml)	Normalitas FAS	Faktor Pengencer	V sampel (ml)	COD (mg/L)
		Perc I	Perc II		Perc I	Perc II					
1	100	4,7	3	3,85	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3400
2	80	4	4,5	4,05	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3000
3	60	4	4	4	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3100
4	40	4,8	4,8	4,8	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	1500
5	20	4,9	4,8	4,85	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	1400
6	Tanpa Tanaman				5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3480

Tabel c Data sampel air limbah 22 januari 2005

NO	Konsentrasi Air Limbah (%)	V FAS sampel (ml)		V FAS rata-rata (ml)	V FAS Blanko (ml)		V FAS Blanko rata-rata (ml)	Normalitas FAS	Faktor Pengencer	V sampel (ml)	COD (mg/L)
		Perc I	Perc II		Perc I	Perc II					
1	100	2,4	2,3	2,35	6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	2920
2	80	2,4	2,4	2,4	6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	2880
3	60	4	3,9	3,95	6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	1640
4	40	4,6	4,5	4,55	6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	1160
5	20	4,8	4,9	4,85	6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	920
6	Tanpa Tanaman				6,1	5,9	6	0,025	10	2,5	3000



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

Tabel d Data sampel air limbah 24 januari 2005

NO	Konsentrasi Air Limbah (%)	V FAS sampel (ml)		V FAS rata-rata (ml)	V FAS Blanko (ml)		V FAS Blanko rata-rata (ml)	Normalitas FAS	Faktor Pengencer	V sampel (ml)	COD (mg/L)
		Perc I	Perc II		Perc I	Perc II					
1	100	4	4	4	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3100
2	80	4,5	4,5	4,5	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	2000
3	60	4,7	4,7	4,7	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	1600
4	40	5,1	4,9	5	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	1100
5	20	5,3	5,1	5,2	5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	700
6	Tanpa Tanaman				5,5	5,6	5,55	0,025	25	2,5	3360

Tabel e Data sampel air limbah 26 januari 2005

NO	Konsentrasi Air Limbah (%)	V FAS sampel (ml)		V FAS rata-rata (ml)	V FAS Blanko (ml)		V FAS Blanko rata-rata (ml)	Normalitas FAS	Faktor Pengencer	V sampel (ml)	COD (mg/L)
		Perc I	Perc II		Perc I	Perc II					
1	100	3,9	4,1	4	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	2300
2	80	4,5	4,4	4,45	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	1400
3	60	4,2	4,9	4,55	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	1200
4	40	5	5	5	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	300
5	20	5	5,1	5,05	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	200
6	Tanpa Tanaman			0	5,2	5,1	5,15	0,025	25	2,5	3057,5



*Total Suspended Solid (TSS)*

DATA DAN ANALISA

LAMPIRAN 4



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

**Data Analisa Total Suspended Solids (TSS)**

Tabel a Data Hasil Analisa Total Suspended Solids (TSS)

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (hari)															
		0	2			4			6			8			10		
		Kadar TSS	Berat Awal	Berat Akhir	Kadar TSS	Berat Awal	Berat Akhir	Kadar TSS	Berat Awal	Berat Akhir	Kadar TSS	Berat Awal	Berat Akhir	Kadar TSS	Berat Awal	Berat Akhir	Kadar TSS
20	mg/L	248	0,9699	0,9755	224	0,9601	0,9652	204	1,0517	1,0562	180	1,049	1,0605	460	1,0799	1,1045	984
40	mg/L	466	0,9628	0,9734	424	0,9676	0,9769	372	1,0737	1,0824	348	1,0703	1,0782	316	1,0485	1,0712	908
60	mg/L	777	0,9622	0,9796	696	0,9999	1,0171	688	1,0435	1,0587	608	1,0942	1,1082	560	1,0864	1,1121	1028
80	mg/L	945	0,9621	0,9842	884	0,9878	1,0068	760	1,0879	1,1062	732	1,0727	1,0858	524	1,0644	1,0903	1036
100	mg/L	1243	0,9563	0,9856	1172	0,9268	0,9552	1136	1,0658	1,0888	920	1,0779	1,0999	880	1,1034	1,1379	1380
Tanpa Tanaman	mg/L	1243	0,9722	1,0021	1196	0,9542	0,9782	960	1,0853	1,1034	724	1,0561	1,0782	884	1,0791	1,102	676

**LAMPIRAN 5**  
**DATA DAN ANALISA**  
**SIANIDA (CN)**



**DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA**  
**BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA**

Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 82-88/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

**SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN**

nama pengirim : **Falag**  
alamat : **Jl. Kalfurang Km 14,5 Yogyakarta**  
jenis contoh uji : **Air Limbah**  
asal contoh uji : **Air Limbah Tapioka Banjarnegara.**  
pengambil contoh uji : **Noor Kumalasari**  
tanggal pengambilan/diterima : **13 Januari 2005 / 13 Januari 2005**  
parameter yang diuji : **Sianida (CN)**  
tanggal pengujian : **13 Januari 2005 s/d 14 Januari 2005**  
nomor contoh uji : **00339 s/d 00344/01/05/KK**  
tempat Lab. : **66 L s/d 71 L/01/05**  
metode pengujian : **Spektrofotometri**

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 0	00339	66	3.332	3.251
2.	20 % hari 0	00340	67	1.224	1.022
3.	40 % hari 0	00341	68	2.098	2.177
4.	60 % hari 0	00342	69	2.774	2.884
5.	80 % hari 0	00343	70	3.085	3.085
6.	100 % hari 0	00344	71	3.332	3.251

**Pernyataan :** Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 26 Januari 2005

Yogyakarta, 19 Januari 2005  
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,





**DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA**

Ngadinegaran MF. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 99 - 104/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

**SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN**

Nama pengirim : Faisal  
Alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
Jenis contoh uji : Air Limbah  
Jumlah contoh uji : Air Limbah Tapioka  
Yang mengambil contoh uji : Faisal  
Tanggal diambil/diterima tanggal : 18 Januari 2005 / 18 Januari 2005  
Parameter yang diuji : Sianida (CN)  
Tanggal pengujian : 18 Januari 2005 s/d 25 Januari 2005  
Kode contoh uji : 00414 s/d 00419/01/05/KK  
No. Lab. : 99 L s/d 104 L/01/05  
Metode pengujian : Spektrofotometri

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 2	00414	99	2.987	2.827
2.	20 % hari 2	00415	100	0.565	0.687
3.	40 % hari 2	00416	101	0.908	1.049
4.	60 % hari 2	00417	102	1.615	1.426
5.	80 % hari 2	00418	103	2.302	2.294
6.	100 % hari 2	00419	104	2.144	2.327

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 1 Februari 2005

Yogyakarta, 25 Januari 2005

Dinas Kesehatan Seksi Kimia Kesehatan,



Dra. Erika Astuti, Apt  
NIP. 1960010146778



**DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA**

Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 115 - 120/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

**SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN**

nama pengirim : Faisal  
alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
jenis contoh uji : Air Limbah  
asal contoh uji : Air Limbah Tapioka  
pengambil contoh uji : Faisal  
tanggal diambil/diterima tanggal : 20 Januari 2005 / 20 Januari 2005  
parameter yang diuji : Sianida (CN)  
tanggal pengujian : 20 Januari 2005 s/d 27 Januari 2005  
kode contoh uji : 00475 s/d 00479/01/05/KK  
No. Lab. : 100 L s/d 105 L/01/05  
metode pengujian : Spektrofotometri

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 4	00406	100	0.823	0.986
2.	20 % hari 4	00407	101	0.119	0.087
3.	40 % hari 4	00408	102	0.171	0.242
4.	60 % hari 4	00409	103	0.274	0.288
5.	80 % hari 4	00410	104	0.404	0.567
6.	100 % hari 4	00411	105	0.369	0.418

**Pernyataan :** Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 3 Februari 2005

Yogyakarta, 27 Januari 2005  
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,





DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA

Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 127 - 132/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama pengirim : Faisal  
Alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
Jenis contoh uji : Air Limbah  
Jumlah contoh uji : Air Limbah Tapioka  
Pengambil contoh uji : Faisal  
Tanggal diambil/diterima : 22 Januari 2005 / 22 Januari 2005  
Parameter yang diuji : Sianida (CN)  
Tanggal pengujian : 22 Januari 2005 s/d 24 Januari 2005  
Kode contoh uji : 00494 s/d 00499/01/05/KK  
No. Lab. : 111 L s/d 116 L/01/05  
Metode pengujian : Spektrofotometri

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 6	00494	111	0.357	0.454
2.	20 % hari 6	00495	112	0.019	0.018
3.	40 % hari 6	00496	113	0.040	0.029
4.	60 % hari 6	00497	114	0.047	0.049
5.	80 % hari 6	00498	115	0.073	0.107
6.	100 % hari 6	00499	116	0.063	0.078

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 26 Januari 2005

Yogyakarta, 19 Januari 2005  
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,





DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA

Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 144 - 149/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

nama pengirim : Faisal  
alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
jenis contoh uji : Air Limbah  
asal contoh uji : Air Limbah Tapioka  
yang mengambil contoh uji : Faisal  
tanggal diambil/diterima : 24 Januari 2005 / 24 Januari 2005  
parameter yang diuji : Sianida (CN)  
tanggal pengujian : 24 Januari 2005 s/d 31 Januari 2005  
kode contoh uji : 00520 s/d 00525/01/05/KK  
No. Lab. : 122 L s/d 127 L/01/05  
metode pengujian : Spektrofotometri

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 8	00520	122	0.095	0.148
2.	20 % hari 8	00521	123	0.002	0.002
3.	40 % hari 8	00522	124	0.007	0.006
4.	60 % hari 8	00523	125	0.020	0.027
5.	80 % hari 8	00524	126	0.034	0.032
6.	100 % hari 8	00525	127	0.052	0.051

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 7 Februari 2005

Yogyakarta, 31 Januari 2005  
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,



2  
Dra Emy Astuti, Apt  
\*40146778





DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA

Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 156 - 161/SHU/01/05

Hal : 1 dari 1

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama pengirim : Faisal  
Alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
Jenis contoh uji : Air Limbah  
Asal contoh uji : Air Limbah Tapioka  
Yang ambil contoh uji : Faisal  
Dibambil/diterima tanggal : 26 Januari 2005 / 26 Januari 2005  
Parameter yang diuji : Sianida (CN)  
Tanggal pengujian : 26 Januari 2005 s/d 1 Februari 2005  
Kode contoh uji : 00592 s/d 00597/01/05/KK  
No. Lab. : 139 L s/d 144 L/01/05  
Metode pengujian : Spektrofotometri

No.	Jenis contoh uji	Kode contoh uji ... /01/05/KK	No. Lab. ... L/01/05	Hasil I (mg/L)	Hasil II (mg/L)
1.	Kontrol hari 10	00592	139	0.104	0.085
2.	20 % hari 10	00593	140	0.002	0.001
3.	40 % hari 10	00594	141	0.004	0.003
4.	60 % hari 10	00595	142	0.004	0.007
5.	80 % hari 10	00596	143	0.024	0.017
6.	100 % hari 10	00597	144	0.038	0.022

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 8 Februari 2005

Yogyakarta, 1 Februari 2005  
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,



Emy Astuti, Apt  
NIP. 140146778

*Biological Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>)*

ANALISA STATISTIK

LAMPIRAN 6

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	sampel limbah hari ke 0	5
	2.00	sampel limbah hari ke 2	5
	4.00	sampel limbah hari ke 4	5
	6.00	sampel limbahhari ke 6	5
	8.00	sampel limbah hari ke 8	5
	10.00	sampel limbah hari ke 10	5
KONST	20.00	konst limbah 20%	6
	40.00	konst limbah 40%	6
	60.00	konst limbah 60%	6
	80.00	konst limbah 80%	6
	100.00	konst limbah 100%	6

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: BOD

WAKTU	KONST	Mean	Std. Deviation	N
sampel limbah hari ke 0	konst limbah 20%	762.5000	.	1
	konst limbah 40%	1077.0000	.	1
	konst limbah 60%	1609.0000	.	1
	konst limbah 80%	2103.0000	.	1
	konst limbah 100%	2618.0000	.	1
	Total	1633.9000	751.4325	5
sampel limbah hari ke 2	konst limbah 20%	387.9400	.	1
	konst limbah 40%	705.0500	.	1
	konst limbah 60%	926.5300	.	1
	konst limbah 80%	967.7600	.	1
	konst limbah 100%	972.5800	.	1
	Total	791.9720	251.2090	5
sampel limbah hari ke 4	konst limbah 20%	309.4000	.	1
	konst limbah 40%	497.3200	.	1
	konst limbah 60%	591.2800	.	1
	konst limbah 80%	618.3900	.	1
	konst limbah 100%	549.9700	.	1
	Total	513.2720	122.7803	5
sampel limbah hari ke 6	konst limbah 20%	196.1600	.	1
	konst limbah 40%	310.0300	.	1
	konst limbah 60%	720.6000	.	1
	konst limbah 80%	677.0300	.	1
	konst limbah 100%	643.2500	.	1
	Total	509.4140	239.0025	5
sampel limbah hari ke 8	konst limbah 20%	53.4300	.	1
	konst limbah 40%	164.9100	.	1
	konst limbah 60%	361.7800	.	1
	konst limbah 80%	437.4700	.	1
	konst limbah 100%	378.7800	.	1
	Total	279.2740	162.6494	5
sampel limbah hari ke 10	konst limbah 20%	15.7100	.	1
	konst limbah 40%	166.7200	.	1
	konst limbah 60%	307.6600	.	1
	konst limbah 80%	529.1300	.	1
	konst limbah 100%	680.1400	.	1
	Total	339.8720	268.1889	5
Total	konst limbah 20%	287.5233	273.2012	6
	konst limbah 40%	486.8383	355.9190	6
	konst limbah 60%	752.8083	477.7933	6
	konst limbah 80%	888.7967	621.5377	6
	konst limbah 100%	973.7867	828.5620	6
	Total	677.9507	571.4880	30

### Levene's Test of Equality of Error Variances <sup>a</sup>

Dependent Variable: BOD

F	df1	df2	Sig.
	29	0	

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+KONST

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8237236.094 <sup>a</sup>	9	915248.455	14.832	.000
Intercept	13788513.2	1	13788513.19	223.455	.000
WAKTU	6278019.665	5	1255603.933	20.348	.000
KONST	1959216.429	4	489804.107	7.938	.001
Error	1234119.833	20	61705.992		
Total	23259869.1	30			
Corrected Total	9471355.927	29			

a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .811)

### Estimated Marginal Means

#### 1. WAKTU

Dependent Variable: BOD

WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
sampel limbah hari ke 0	1633.900	111.091	1402.168	1865.632
sampel limbah hari ke 2	791.972	111.091	560.240	1023.704
sampel limbah hari ke 4	513.272	111.091	281.540	745.004
sampel limbahhari ke 6	509.414	111.091	277.682	741.146
sampel limbah hari ke 8	279.274	111.091	47.542	511.006
sampel limbah hari ke 10	339.872	111.091	108.140	571.604

## 2. KONST

Dependent Variable: BOD

KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
konst limbah 20%	287.523	101.412	75.982	499.064
konst limbah 40%	486.838	101.412	275.297	698.379
konst limbah 60%	752.808	101.412	541.267	964.349
konst limbah 80%	888.797	101.412	677.256	1100.338
konst limbah 100%	973.787	101.412	762.246	1185.328

## 3. WAKTU \* KONST

Dependent Variable: BOD

WAKTU	KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
sampel limbah hari ke 0	konst limbah 20%	1243.473	143.418	944.308	1542.637
	konst limbah 40%	1442.788	143.418	1143.623	1741.952
	konst limbah 60%	1708.758	143.418	1409.593	2007.922
	konst limbah 80%	1844.746	143.418	1545.582	2143.910
	konst limbah 100%	1929.736	143.418	1630.572	2228.900
sampel limbah hari ke 2	konst limbah 20%	401.545	143.418	102.380	700.709
	konst limbah 40%	600.860	143.418	301.695	900.024
	konst limbah 60%	866.830	143.418	567.665	1165.994
	konst limbah 80%	1002.818	143.418	703.654	1301.982
	konst limbah 100%	1087.808	143.418	788.644	1386.972
sampel limbah hari ke 4	konst limbah 20%	122.845	143.418	-176.320	422.009
	konst limbah 40%	322.160	143.418	22.995	621.324
	konst limbah 60%	588.130	143.418	288.965	887.294
	konst limbah 80%	724.118	143.418	424.954	1023.282
	konst limbah 100%	809.108	143.418	509.944	1108.272
sampel limbahhari ke 6	konst limbah 20%	118.987	143.418	-180.178	418.151
	konst limbah 40%	318.302	143.418	19.137	617.466
	konst limbah 60%	584.272	143.418	285.107	883.436
	konst limbah 80%	720.260	143.418	421.096	1019.424
	konst limbah 100%	805.250	143.418	506.086	1104.414
sampel limbah hari ke 8	konst limbah 20%	-111.153	143.418	-410.318	188.011
	konst limbah 40%	88.162	143.418	-211.003	387.326
	konst limbah 60%	354.132	143.418	54.967	653.296
	konst limbah 80%	490.120	143.418	190.956	789.284
	konst limbah 100%	575.110	143.418	275.946	874.274
sampel limbah hari ke 10	konst limbah 20%	-50.555	143.418	-349.720	248.609
	konst limbah 40%	148.760	143.418	-150.405	447.924
	konst limbah 60%	414.730	143.418	115.565	713.894
	konst limbah 80%	550.718	143.418	251.554	849.882
	konst limbah 100%	635.708	143.418	336.544	934.872

VARIABEL WAKTU

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: BOD

		Mean			95% Confidence Interval		
(I) WAKTU	(J) WAKTU	Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	sampel limbah hari ke 0	sampel limbah hari ke 2	841.9280*	157,1	.000	348.0978	1335.7582
		sampel limbah hari ke 4	1120.6280*	157,1	.000	626.7978	1614.4582
		sampel limbahhari ke 6	1354.6280*	157,1	.000	630.6558	1618.3162
		sampel limbah hari ke 8	1354.6280*	157,1	.000	860.7958	1848.4582
		sampel limbah hari ke 10	1294.0280*	157,1	.000	800.1978	1787.8582
	sampel limbah hari ke 2	sampel limbah hari ke 0	-841.9280*	157,1	.000	-1335.7582	-348.0978
		sampel limbah hari ke 4	278.7000	157,1	.503	-215.1302	772.5302
		sampel limbahhari ke 6	282.5580	157,1	.489	-211.2722	776.3882
		sampel limbah hari ke 8	512.6980*	157,1	.039	18.8678	1006.5282
		sampel limbah hari ke 10	452.1000	157,1	.085	-41.7302	945.9302
	sampel limbah hari ke 4	sampel limbah hari ke 0	-1120.6280*	157,1	.000	-1614.4582	-626.7978
		sampel limbah hari ke 2	-278.7000	157,1	.503	-772.5302	215.1302
		sampel limbahhari ke 6	3.8580	157,1	1,0	-489.9722	497.6882
		sampel limbah hari ke 8	233.9980	157,1	.674	-259.8322	727.8282
		sampel limbah hari ke 10	173.4000	157,1	.874	-320.4302	667.2302
	sampel limbahhari ke 6	sampel limbah hari ke 0	-1124.4860*	157,1	.000	-1618.3182	-630.6558
		sampel limbah hari ke 2	-282.5580	157,1	.489	-776.3882	211.2722
		sampel limbah hari ke 4	-3.8580	157,1	1,0	-497.6882	489.9722
		sampel limbah hari ke 8	230.1400	157,1	.689	-263.6902	723.9702
		sampel limbah hari ke 10	169.5420	157,1	.884	-324.2882	663.3722
sampel limbah hari ke 8	sampel limbah hari ke 0	-1354.6280*	157,1	.000	-1848.4562	-860.7958	
	sampel limbah hari ke 2	-512.6980*	157,1	.039	-1006.5282	-18.8678	
	sampel limbah hari ke 4	-233.9980	157,1	.674	-727.8282	259.8322	
	sampel limbahhari ke 6	-230.1400	157,1	.689	-723.9702	263.6902	
	sampel limbah hari ke 10	-60.5980	157,1	.999	-554.4282	433.2322	
sampel limbah hari ke 10	sampel limbah hari ke 0	-1294.0280*	157,1	.000	-1787.8582	-800.1978	
	sampel limbah hari ke 2	-452.1000	157,1	.085	-945.9302	41.7302	
	sampel limbah hari ke 4	-173.4000	157,1	.874	-667.2302	320.4302	
	sampel limbahhari ke 6	-169.5420	157,1	.884	-663.3722	324.2882	
	sampel limbah hari ke 8	60.5980	157,1	.999	-433.2322	554.4282	
Bonferroni	sampel limbah hari ke 0	sampel limbah hari ke 2	841.9280*	157,1	.000	318.6632	1365.1928
		sampel limbah hari ke 4	1120.6280*	157,1	.000	597.3632	1643.8928
		sampel limbahhari ke 6	1124.4860*	157,1	.000	601.2212	1647.7508
		sampel limbah hari ke 8	1354.6260*	157,1	.000	831.3612	1877.8908
		sampel limbah hari ke 10	1294.0280*	157,1	.000	770.7632	1817.2928
	sampel limbah hari ke 2	sampel limbah hari ke 0	-841.9280*	157,1	.000	-1365.1928	-318.6632
		sampel limbah hari ke 4	278.7000	157,1	1,0	-244.5648	801.9648
		sampel limbahhari ke 6	282.5580	157,1	1,0	-240.7068	805.8228
		sampel limbah hari ke 8	512.6980	157,1	.058	-10.5668	1035.9628
		sampel limbah hari ke 10	452.1000	157,1	.140	-71.1648	975.3648
	sampel limbah hari ke 4	sampel limbah hari ke 0	-1120.6280*	157,1	.000	-1643.8928	-597.3632
		sampel limbah hari ke 2	-278.7000	157,1	1,0	-801.9648	244.5648
		sampel limbahhari ke 6	3.8580	157,1	1,0	-519.4068	527.1228
		sampel limbah hari ke 8	233.9980	157,1	1,0	-289.2668	757.2628
		sampel limbah hari ke 10	173.4000	157,1	1,0	-349.8648	696.6648
	sampel limbahhari ke 6	sampel limbah hari ke 0	-1124.4860*	157,1	.000	-1647.7508	-601.2212
		sampel limbah hari ke 2	-282.5580	157,1	1,0	-805.8228	240.7068
		sampel limbah hari ke 4	-3.8580	157,1	1,0	-527.1228	519.4068
		sampel limbah hari ke 8	230.1400	157,1	1,0	-293.1248	753.4048
		sampel limbah hari ke 10	169.5420	157,1	1,0	-353.7228	692.8068
sampel limbah hari ke 8	sampel limbah hari ke 0	-1354.6280*	157,1	.000	-1877.8908	-831.3612	
	sampel limbah hari ke 2	-512.6980	157,1	.058	-1035.9628	10.5668	
	sampel limbah hari ke 4	-233.9980	157,1	1,0	-757.2628	289.2668	
	sampel limbahhari ke 6	-230.1400	157,1	1,0	-753.4048	293.1248	
	sampel limbah hari ke 10	-60.5980	157,1	1,0	-583.8628	462.6668	
sampel limbah hari ke 10	sampel limbah hari ke 0	-1294.0280*	157,1	.000	-1817.2928	-770.7632	
	sampel limbah hari ke 2	-452.1000	157,1	.140	-975.3648	71.1648	
	sampel limbah hari ke 4	-173.4000	157,1	1,0	-696.6648	349.8648	
	sampel limbahhari ke 6	-169.5420	157,1	1,0	-692.8068	353.7228	
	sampel limbah hari ke 8	60.5980	157,1	1,0	-462.6668	583.8628	

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### BOD

WAKTU	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> sampel limbah hari ke 8	5	279.2740		
sampel limbah hari ke 10	5	339.8720	339.8720	
sampel limbahhari ke 6	5	509.4140	509.4140	
sampel limbah hari ke 4	5	513.2720	513.2720	
sampel limbah hari ke 2	5		791.9720	
sampel limbah hari ke 0	5			1633.9000
Sig.		.674	.085	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 61705.992.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.



# KONSTRASI

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: BOD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
(I) KONST	(J) KONST				Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-199.3150	143.4178	.641	-628.4786	229.8486
		konst limbah 60%	-465.2850*	143.4178	.030	-894.4486	-36.1214
		konst limbah 80%	-601.2733*	143.4178	.004	-1030.4369	-172.1097
		konst limbah 100%	-686.2633*	143.4178	.001	-1115.4269	-257.0997
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	199.3150	143.4178	.641	-229.8486	628.4786
		konst limbah 60%	-265.9700	143.4178	.372	-695.1336	163.1936
		konst limbah 80%	-401.9583	143.4178	.073	-831.1219	27.2053
		konst limbah 100%	-486.9483*	143.4178	.021	-916.1119	-57.7847
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	485.2850*	143.4178	.030	36.1214	894.4486
		konst limbah 40%	265.9700	143.4178	.372	-163.1936	695.1336
		konst limbah 80%	-135.9883	143.4178	.875	-565.1519	293.1753
		konst limbah 100%	-220.9783	143.4178	.550	-650.1419	208.1853
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	601.2733*	143.4178	.004	172.1097	1030.4369
		konst limbah 40%	401.9583	143.4178	.073	-27.2053	831.1219
		konst limbah 60%	135.9883	143.4178	.875	-293.1753	565.1519
		konst limbah 100%	-84.9900	143.4178	.975	-514.1536	344.1736
	konst limbah 100%	konst limbah 20%	686.2633*	143.4178	.001	257.0997	1115.4269
		konst limbah 40%	486.9483*	143.4178	.021	57.7847	916.1119
		konst limbah 60%	220.9783	143.4178	.550	-208.1853	650.1419
		konst limbah 80%	84.9900	143.4178	.975	-344.1736	514.1536
Bonferroni	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-199.3150	143.4178	1.000	-651.5688	252.9388
		konst limbah 60%	-465.2850*	143.4178	.041	-917.5388	-13.0312
		konst limbah 80%	-601.2733*	143.4178	.004	-1053.5271	-149.0196
		konst limbah 100%	-686.2633*	143.4178	.001	-1138.5171	-234.0096
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	199.3150	143.4178	1.000	-252.9388	651.5688
		konst limbah 60%	-265.9700	143.4178	.785	-718.2238	186.2838
		konst limbah 80%	-401.9583	143.4178	.110	-854.2121	50.2954
		konst limbah 100%	-486.9483*	143.4178	.029	-939.2021	-34.6946
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	465.2850*	143.4178	.041	13.0312	917.5388
		konst limbah 40%	265.9700	143.4178	.785	-186.2838	718.2238
		konst limbah 80%	-135.9883	143.4178	1.000	-588.2421	316.2654
		konst limbah 100%	-220.9783	143.4178	1.000	-673.2321	231.2754
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	601.2733*	143.4178	.004	149.0196	1053.5271
		konst limbah 40%	401.9583	143.4178	.110	-50.2954	854.2121
		konst limbah 60%	135.9883	143.4178	1.000	-316.2654	588.2421
		konst limbah 100%	-84.9900	143.4178	1.000	-537.2438	367.2638
	konst limbah 100%	konst limbah 20%	686.2633*	143.4178	.001	234.0096	1138.5171
		konst limbah 40%	486.9483*	143.4178	.029	34.6946	939.2021
		konst limbah 60%	220.9783	143.4178	1.000	-231.2754	673.2321
		konst limbah 80%	84.9900	143.4178	1.000	-367.2638	537.2438

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### BOD

KONST	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	287.5233		
konst limbah 40%	6	486.8383	486.8383	
konst limbah 60%	6		752.8083	752.8083
konst limbah 80%	6		888.7967	888.7967
konst limbah 100%	6			973.7867
Sig.		.641	.073	.550

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 61705.992.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

*Chemical Oxygen Demand (COD)*

**ANALISA STATISTIK**

**LAMPIRAN 7**

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
KONST	20.00	konst limbah 20%	6
	40.00	konst limbah 40%	6
	60.00	konst limbah 60%	6
	80.00	konst limbah 80%	6
	100.00	konst limbah10 0%	6
WAKTU	.00	sampel hari ke 0	5
	2.00	sampel hari ke 2	5
	4.00	sampel hari ke 4	5
	6.00	sampel hari ke 6	5
	8.00	sampel hari ke 8	5
	10.00	sampel hari ke 10	5

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: COD

WAKTU	KONST	Mean	Std. Deviation	N
sampel hari ke 0	konst limbah 20%	1280.0000	.	1
	konst limbah 40%	1760.0000	.	1
	konst limbah60%	2880.0000	.	1
	konst limbah80%	3600.0000	.	1
	konst limbah 100%	4560.0000	.	1
	Total	2816.0000	1335.5448	5
sampel hari ke2	konst limbah 20%	1700.0000	.	1
	konst limbah 40%	1800.0000	.	1
	konst limbah60%	1800.0000	.	1
	konst limbah80%	1900.0000	.	1
	konst limbah 100%	2100.0000	.	1
	Total	1860.0000	151.6575	5
sampel hari ke 4	konst limbah 20%	1500.0000	.	1
	konst limbah 40%	1400.0000	.	1
	konst limbah60%	3100.0000	.	1
	konst limbah80%	3000.0000	.	1
	konst limbah 100%	3400.0000	.	1
	Total	2480.0000	952.3655	5
sampel hari ke 6	konst limbah 20%	920.0000	.	1
	konst limbah 40%	1160.0000	.	1
	konst limbah60%	1640.0000	.	1
	konst limbah80%	2880.0000	.	1
	konst limbah 100%	2920.0000	.	1
	Total	1904.0000	945.5580	5
sampel hari ke 8	konst limbah 20%	700.0000	.	1
	konst limbah 40%	1100.0000	.	1
	konst limbah60%	1600.0000	.	1
	konst limbah80%	2000.0000	.	1
	konst limbah 100%	3100.0000	.	1
	Total	1700.0000	924.6621	5
sampel hari ke 10	konst limbah 20%	200.0000	.	1
	konst limbah 40%	300.0000	.	1
	konst limbah60%	1200.0000	.	1
	konst limbah80%	1400.0000	.	1
	konst limbah 100%	2300.0000	.	1
	Total	1080.0000	864.2916	5
Total	konst limbah 20%	1050.0000	554.9414	6
	konst limbah 40%	1253.3333	551.0233	6
	konst limbah60%	2036.6667	767.5850	6
	konst limbah80%	2463.3333	826.5995	6
	konst limbah 100%	3063.3333	881.5819	6
	Total	1973.3333	1019.2131	30

## Levene's Test of Equality of Error Variances

a

Dependent Variable: COD

F	df1	df2	Sig.
	29	0	

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+KONST

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26104960.0 <sup>a</sup>	9	2900551.111	14.430	.000
Intercept	116821333	1	116821333.3	581.185	.000
WAKTU	9286026.667	5	1857205.333	9.240	.000
KONST	16818933.3	4	4204733.333	20.919	.000
Error	4020106.667	20	201005.333		
Total	146946400	30			
Corrected Total	30125066.7	29			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .807)

## Estimated Marginal Means

### 1. WAKTU

Dependent Variable: COD

WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	2816.000	200.502	2397.760	3234.240
sampel hari ke2	1860.000	200.502	1441.760	2278.240
sampel hari ke 4	2480.000	200.502	2061.760	2898.240
sampel hari ke 6	1904.000	200.502	1485.760	2322.240
sampel hari ke 8	1700.000	200.502	1281.760	2118.240
sampel hari ke 10	1080.000	200.502	661.760	1498.240

## 2. KONST

Dependent Variable: COD

KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
konst limbah 20%	1050.000	183.032	668.201	1431.799
konst limbah 40%	1253.333	183.032	871.534	1635.132
konst limbah60%	2036.667	183.032	1654.868	2418.466
konst limbah80%	2463.333	183.032	2081.534	2845.132
konst limbah 100%	3063.333	183.032	2681.534	3445.132

## 3. WAKTU \* KONST

Dependent Variable: COD

WAKTU	KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	konst limbah 20%	1892.667	258.847	1352.721	2432.612
	konst limbah 40%	2096.000	258.847	1556.055	2635.945
	konst limbah60%	2879.333	258.847	2339.388	3419.279
	konst limbah80%	3306.000	258.847	2766.055	3845.945
	konst limbah 100%	3906.000	258.847	3366.055	4445.945
sampel hari ke2	konst limbah 20%	936.667	258.847	396.721	1476.612
	konst limbah 40%	1140.000	258.847	600.055	1679.945
	konst limbah60%	1923.333	258.847	1383.388	2463.279
	konst limbah80%	2350.000	258.847	1810.055	2889.945
	konst limbah 100%	2950.000	258.847	2410.055	3489.945
sampel hari ke 4	konst limbah 20%	1556.667	258.847	1016.721	2096.612
	konst limbah 40%	1760.000	258.847	1220.055	2299.945
	konst limbah60%	2543.333	258.847	2003.388	3083.279
	konst limbah80%	2970.000	258.847	2430.055	3509.945
	konst limbah 100%	3570.000	258.847	3030.055	4109.945
sampel hari ke 6	konst limbah 20%	980.667	258.847	440.721	1520.612
	konst limbah 40%	1184.000	258.847	644.055	1723.945
	konst limbah60%	1967.333	258.847	1427.388	2507.279
	konst limbah80%	2394.000	258.847	1854.055	2933.945
	konst limbah 100%	2994.000	258.847	2454.055	3533.945
sampel hari ke 8	konst limbah 20%	776.667	258.847	236.721	1316.612
	konst limbah 40%	980.000	258.847	440.055	1519.945
	konst limbah60%	1763.333	258.847	1223.388	2303.279
	konst limbah80%	2190.000	258.847	1650.055	2729.945
	konst limbah 100%	2790.000	258.847	2250.055	3329.945
sampel hari ke 10	konst limbah 20%	156.667	258.847	-383.279	696.612
	konst limbah 40%	360.000	258.847	-179.945	899.945
	konst limbah60%	1143.333	258.847	603.388	1683.279
	konst limbah80%	1570.000	258.847	1030.055	2109.945
	konst limbah 100%	2170.000	258.847	1630.055	2709.945

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

		Mean			95% Confidence Interval		
(I) WAKTU	(J) WAKTU	Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	sampel hari ke 0	956.0000*	283.55	.031	64.7126	1847.2874	
	sampel hari ke 2	336.0000	283.55	.839	-555.2874	1227.2874	
	sampel hari ke 4	912.0000*	283.55	.043	20.7126	1803.2874	
	sampel hari ke 6	1116.0000*	283.55	.009	224.7126	2007.2874	
	sampel hari ke 8	1736.0000*	283.55	.000	844.7126	2627.2874	
	sampel hari ke 10	-956.0000*	283.55	.031	-1847.2874	-64.7126	
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 0	-620.0000	283.55	.287	-1511.2874	271.2874
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 2	-44.0000	283.55	1.000	-935.2874	847.2874
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 4	160.0000	283.55	.992	-731.2874	1051.2874
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 6	780.0000	283.55	.108	-111.2874	1671.2874
	sampel hari ke 10	sampel hari ke 8	-336.0000	283.55	.839	-1227.2874	555.2874
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	620.0000	283.55	.287	-271.2874	1511.2874
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	576.0000	283.55	.360	-315.2874	1467.2874
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	780.0000	283.55	.108	-111.2874	1671.2874
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	1400.0000*	283.55	.001	508.7126	2291.2874
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-912.0000*	283.55	.043	-1803.2874	-20.7126
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	44.0000	283.55	1.000	-847.2874	935.2874
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-576.0000	283.55	.360	-1467.2874	315.2874
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	204.0000	283.55	.977	-687.2874	1095.2874
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	824.0000	283.55	.080	-87.2874	1715.2874
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-1116.0000*	283.55	.009	-2007.2874	-224.7126
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	-160.0000	283.55	.992	-1051.2874	731.2874
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-780.0000	283.55	.108	-1671.2874	111.2874
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	-204.0000	283.55	.977	-1095.2874	687.2874
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	620.0000	283.55	.287	-271.2874	1511.2874
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-1736.0000*	283.55	.000	-2627.2874	-844.7126
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	-780.0000	283.55	.108	-1671.2874	111.2874
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-1400.0000*	283.55	.001	-2291.2874	-508.7126
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	-824.0000	283.55	.080	-1715.2874	67.2874
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	-620.0000	283.55	.287	-1511.2874	271.2874
Bonferroni	sampel hari ke 0	956.0000*	283.55	.046	11.5876	1900.4124	
	sampel hari ke 2	336.0000	283.55	1.000	-608.4124	1280.4124	
	sampel hari ke 4	912.0000	283.55	.065	-32.4124	1856.4124	
	sampel hari ke 6	1116.0000*	283.55	.012	171.5876	2060.4124	
	sampel hari ke 8	1736.0000*	283.55	.000	791.5876	2680.4124	
	sampel hari ke 10	-956.0000*	283.55	.046	-1900.4124	-11.5876	
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	-620.0000	283.55	.612	-1564.4124	324.4124
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-44.0000	283.55	1.000	-988.4124	900.4124
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	160.0000	283.55	1.000	-784.4124	1104.4124
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	780.0000	283.55	.185	-164.4124	1724.4124
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-336.0000	283.55	1.000	-1280.4124	608.4124
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	620.0000	283.55	.612	-324.4124	1564.4124
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	576.0000	283.55	.836	-368.4124	1520.4124
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	780.0000	283.55	.185	-164.4124	1724.4124
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	1400.0000*	283.55	.001	455.5876	2344.4124
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-912.0000	283.55	.065	-1856.4124	32.4124
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	44.0000	283.55	1.000	-900.4124	888.4124
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-576.0000	283.55	.836	-1520.4124	368.4124
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	204.0000	283.55	1.000	-740.4124	1148.4124
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	824.0000	283.55	.131	-120.4124	1768.4124
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-1116.0000*	283.55	.012	-2060.4124	-171.5876
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	-160.0000	283.55	1.000	-1104.4124	784.4124
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-780.0000	283.55	.185	-1724.4124	164.4124
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	-204.0000	283.55	1.000	-1148.4124	740.4124
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	620.0000	283.55	.612	-324.4124	1564.4124
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 10	-1736.0000*	283.55	.000	-2680.4124	-791.5876
	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	-780.0000	283.55	.185	-1724.4124	164.4124
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 4	-1400.0000*	283.55	.001	-2344.4124	-455.5876
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 6	-824.0000	283.55	.131	-1768.4124	120.4124
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 8	-620.0000	283.55	.612	-1564.4124	324.4124

Based on observed means.

\* The mean difference is significant at the .05 level.



## Homogeneous Subsets

COD

WAKTU	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> sampel hari ke 10	5	1080.0000		
sampel hari ke 8	5	1700.0000	1700.0000	
sampel hari ke 2	5	1860.0000	1860.0000	
sampel hari ke 6	5	1904.0000	1904.0000	
sampel hari ke 4	5		2480.0000	2480.0000
sampel hari ke 0	5			2816.0000
Sig.		.080	.108	.839

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 201005.333.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

**KONSENTRASI**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: COD

		Mean				95% Confidence Interval	
(I) KONST	(J) KONST	Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-203.3333	258.8	.932	-977.9075	571.2408
		konst limbah60%	-986.6667*	258.8	.009	-1761.2408	-212.0925
		konst limbah80%	-1413.3333*	258.8	.000	-2187.9075	-638.7592
		konst limbah 100%	-2013.3333*	258.8	.000	-2787.9075	-1238.7592
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	203.3333	258.8	.932	-571.2408	977.9075
		konst limbah60%	-783.3333*	258.8	.047	-1557.9075	-8.7592
		konst limbah80%	-1210.0000*	258.8	.001	-1984.5742	-435.4258
		konst limbah 100%	-1810.0000*	258.8	.000	-2584.5742	-1035.4258
	konst limbah60%	konst limbah 20%	986.6667*	258.8	.009	212.0925	1761.2408
		konst limbah 40%	783.3333*	258.8	.047	8.7592	1557.9075
		konst limbah80%	-426.6667	258.8	.486	-1201.2408	347.9075
		konst limbah 100%	-1026.6667*	258.8	.006	-1801.2408	-252.0925
	konst limbah80%	konst limbah 20%	1413.3333*	258.8	.000	638.7592	2187.9075
		konst limbah 40%	1210.0000*	258.8	.001	435.4258	1984.5742
		konst limbah60%	426.6667	258.8	.486	-347.9075	1201.2408
		konst limbah 100%	-600.0000	258.8	.180	-1374.5742	174.5742
	konst limbah 100%	konst limbah 20%	2013.3333*	258.8	.000	1238.7592	2767.9075
		konst limbah 40%	1810.0000*	258.8	.000	1035.4258	2584.5742
		konst limbah60%	1026.6667*	258.8	.006	252.0925	1801.2408
		konst limbah80%	600.0000	258.8	.180	-174.5742	1374.5742
Bonferroni	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-203.3333	258.8	1.000	-1019.5817	612.9150
		konst limbah60%	-986.6667*	258.8	.011	-1802.9150	-170.4183
		konst limbah80%	-1413.3333*	258.8	.000	-2229.5817	-597.0850
		konst limbah 100%	-2013.3333*	258.8	.000	-2929.5817	-1197.0850
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	203.3333	258.8	1.000	-612.9150	1019.5817
		konst limbah60%	-783.3333	258.8	.067	-1599.5817	32.9150
		konst limbah80%	-1210.0000*	258.8	.001	-2026.2483	-393.7517
		konst limbah 100%	-1810.0000*	258.8	.000	-2626.2483	-993.7517
	konst limbah60%	konst limbah 20%	986.6667*	258.8	.011	170.4183	1802.9150
		konst limbah 40%	783.3333	258.8	.067	-32.9150	1599.5817
		konst limbah80%	-426.6667	258.8	1.000	-1242.9150	389.5817
		konst limbah 100%	-1026.6667*	258.8	.008	-1842.9150	-210.4183
	konst limbah80%	konst limbah 20%	1413.3333*	258.8	.000	597.0850	2229.5817
		konst limbah 40%	1210.0000*	258.8	.001	393.7517	2026.2483
		konst limbah60%	426.6667	258.8	1.000	-389.5817	1242.9150
		konst limbah 100%	-600.0000	258.8	.312	-1416.2483	216.2483
	konst limbah 100%	konst limbah 20%	2013.3333*	258.8	.000	1197.0850	2829.5817
		konst limbah 40%	1810.0000*	258.8	.000	993.7517	2626.2483
		konst limbah60%	1026.6667*	258.8	.008	210.4183	1842.9150
		konst limbah80%	600.0000	258.8	.312	-216.2483	1416.2483

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

COD

KONST	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	1050.0000		
konst limbah 40%	6	1253.3333		
konst limbah 60%	6		2036.6667	
konst limbah 80%	6		2463.3333	2463.3333
konst limbah 100%	6			3063.3333
Sig.		.932	.486	.180

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 201005.333.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

*Total Suspended Solid (TSS)*

**ANALISA STATISTIK**

**LAMPIRAN 8**

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	sampel hari ke 0	5
	2.00	sampel hari ke 2	5
	4.00	sampel hari ke 4	5
	6.00	sampel hari ke 6	5
	8.00	sampel hari ke 8	5
	10.00	sampel hari ke 10	5
KONST	20.00	konst limbah 20%	6
	40.00	konst limbah 40%	6
	60.00	konst limbah 60%	6
	80.00	konst limbah 80%	6
	100.00	konst limbah10 0%	6

Descriptive Statistics

Dependent Variable: ISS

WAKTU	KONST	Mean	Std. Deviation	N
sampel hari ke 0	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	248,0000 466,0000 777,0000 945,0000 1243,0000 735,8000	.	1 1 1 1 1 5
sampel hari ke 2	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	224,0000 424,0000 696,0000 884,0000 1172,0000 680,0000	.	1 1 1 1 1 6
sampel hari ke 4	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	204,0000 372,0000 688,0000 760,0000 1136,0000 632,0000	.	1 1 1 1 1 5
sampel hari ke 6	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	180,0000 348,0000 608,0000 732,0000 920,0000 557,6000	.	1 1 1 1 1 5
sampel hari ke 8	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	444,0000 316,0000 560,0000 624,0000 880,0000 544,8000	.	1 1 1 1 1 5
sampel hari ke 10	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	584,0000 508,0000 1028,0000 1036,0000 1380,0000 907,2000	.	1 1 1 1 1 5
Total	konst limbah 20% konst limbah 40% konst limbah 60% konst limbah 80% konst limbah 100% Total	314,0000 405,6667 726,1667 813,5000 1121,8333 676,2333	162,6727 73,4130 165,9089 181,7050 191,4517 331,7210	6 6 6 6 6 30

### Levene's Test of Equality of Error Variances

a

Dependent Variable: TSS

F	df1	df2	Sig.
.	29	0	.

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+KONST

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSS

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2996950.633 <sup>a</sup>	9	332994.515	34.298	.000
Intercept	13718745.6	1	13718745.63	1413.031	.000
WAKTU	451065.767	5	90213.153	9.292	.000
KONST	2545884.867	4	636471.217	65.557	.000
Error	194174.733	20	9708.737		
Total	16909871.0	30			
Corrected Total	3191125.367	29			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .912)

### Estimated Marginal Means

#### 1. WAKTU

Dependent Variable: TSS

WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	735.800	44.065	643.881	827.719
sampel hari ke 2	680.000	44.065	588.081	771.919
sampel hari ke 4	632.000	44.065	540.081	723.919
sampel hari ke 6	557.600	44.065	465.681	649.519
sampel hari ke 8	544.800	44.065	452.881	636.719
sampel hari ke 10	907.200	44.065	815.281	999.119

## 2. KONST

Dependent Variable: TSS

KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
konst limbah 20%	314.000	40.226	230.090	397.910
konst limbah 40%	405.667	40.226	321.757	489.576
konst limbah 60%	726.167	40.226	642.257	810.076
konst limbah 80%	813.500	40.226	729.590	897.410
konst limbah100%	1121.833	40.226	1037.924	1205.743

## 3. WAKTU \* KONST

Dependent Variable: TSS

WAKTU	KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	konst limbah 20%	373.567	56.888	254.900	492.233
	konst limbah 40%	465.233	56.888	346.567	583.900
	konst limbah 60%	785.733	56.888	667.067	904.400
	konst limbah 80%	873.067	56.888	754.400	991.733
	konst limbah100%	1181.400	56.888	1062.734	1300.066
sampel hari ke 2	konst limbah 20%	317.767	56.888	199.100	436.433
	konst limbah 40%	409.433	56.888	290.767	528.100
	konst limbah 60%	729.933	56.888	611.267	848.600
	konst limbah 80%	817.267	56.888	698.600	935.933
	konst limbah100%	1125.600	56.888	1006.934	1244.266
sampel hari ke 4	konst limbah 20%	209.707	56.888	151.100	300.400
	konst limbah 40%	361.433	56.888	242.767	480.100
	konst limbah 60%	681.933	56.888	563.267	800.600
	konst limbah 80%	769.267	56.888	650.600	887.933
	konst limbah100%	1077.600	56.888	958.934	1196.266
sampel hari ke 6	konst limbah 20%	195.367	56.888	76.700	314.033
	konst limbah 40%	287.033	56.888	168.367	405.700
	konst limbah 60%	607.533	56.888	488.867	726.200
	konst limbah 80%	694.867	56.888	576.200	813.533
	konst limbah100%	1003.200	56.888	884.534	1121.866
sampel hari ke 8	konst limbah 20%	182.567	56.888	63.900	301.233
	konst limbah 40%	274.233	56.888	155.567	392.900
	konst limbah 60%	594.733	56.888	476.067	713.400
	konst limbah 80%	682.067	56.888	563.400	800.733
	konst limbah100%	990.400	56.888	871.734	1109.066
sampel hari ke 10	konst limbah 20%	544.967	56.888	426.300	663.633
	konst limbah 40%	636.633	56.888	517.967	755.300
	konst limbah 60%	957.133	56.888	838.467	1075.800
	konst limbah 80%	1044.467	56.888	925.800	1163.133
	konst limbah100%	1352.800	56.888	1234.134	1471.466



WAKTU

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: TSS

					95% Confidence Interval			
(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound		
Tukey HSD	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	55.8000	62.32	.943	-140.082	251.6824	
		sampel hari ke 4	103.8000	62.32	.568	-92.0824	299.6824	
		sampel hari ke 6	178.2000	62.32	.088	-17.6824	374.0824	
		sampel hari ke 8	191.0000	62.32	.059	-4.8824	388.9824	
		sampel hari ke 10	-171.4000	62.32	.108	-367.282	24.4824	
	sampel hari ke 2	sampel hari ke 0	-55.8000	62.32	.943	-251.682	140.0824	
		sampel hari ke 4	48.0000	62.32	.969	-147.882	243.8824	
		sampel hari ke 6	122.4000	62.32	.395	-73.4824	318.2824	
		sampel hari ke 8	135.2000	62.32	.294	-60.6824	331.0824	
		sampel hari ke 10	-227.2000*	62.32	.017	-423.082	-31.3176	
	sampel hari ke 4	sampel hari ke 0	-103.8000	62.32	.568	-299.682	92.0824	
		sampel hari ke 2	-48.0000	62.32	.969	-243.882	147.8824	
		sampel hari ke 6	74.4000	62.32	.835	-121.482	270.2824	
		sampel hari ke 8	87.2000	62.32	.727	-108.682	283.0824	
		sampel hari ke 10	-275.2000*	62.32	.003	-471.082	-79.3176	
	sampel hari ke 6	sampel hari ke 0	-178.2000	62.32	.088	-374.082	17.6824	
		sampel hari ke 2	-122.4000	62.32	.395	-318.282	73.4824	
		sampel hari ke 4	-74.4000	62.32	.035	-270.282	121.4824	
		sampel hari ke 8	12.8000	62.32	1.000	-183.082	208.6824	
		sampel hari ke 10	-349.6000*	62.32	.000	-545.482	-153.718	
	sampel hari ke 8	sampel hari ke 0	-191.0000	62.32	.059	-386.882	4.8824	
		sampel hari ke 2	-135.2000	62.32	.294	-331.082	60.6824	
		sampel hari ke 4	-87.2000	62.32	.727	-283.082	108.6824	
		sampel hari ke 6	-12.8000	62.32	1.000	-208.682	183.0824	
		sampel hari ke 10	-362.4000*	62.32	.000	-558.282	-166.518	
	sampel hari ke 10	sampel hari ke 0	171.4000	62.32	.108	-24.4824	367.2824	
		sampel hari ke 2	227.2000*	62.32	.017	31.3176	423.0824	
		sampel hari ke 4	275.2000*	62.32	.003	79.3176	471.0824	
		sampel hari ke 6	349.6000*	62.32	.000	153.7176	545.4824	
		sampel hari ke 8	362.4000*	62.32	.000	166.5176	558.2824	
	Bonferroni	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	55.8000	62.32	1.000	-151.758	263.3579
			sampel hari ke 4	103.8000	62.32	1.000	-103.758	311.3579
			sampel hari ke 6	178.2000	62.32	.145	-29.3579	385.7579
			sampel hari ke 8	191.0000	62.32	.092	-16.6679	398.5579
			sampel hari ke 10	-171.4000	62.32	.185	-378.958	36.1579
		sampel hari ke 2	sampel hari ke 0	-55.8000	62.32	1.000	-263.358	151.7579
			sampel hari ke 4	48.0000	62.32	1.000	-159.558	255.5579
			sampel hari ke 6	122.4000	62.32	.953	-85.1579	329.9579
			sampel hari ke 8	135.2000	62.32	.634	-72.3579	342.7579
			sampel hari ke 10	-227.2000*	62.32	.024	-434.758	-19.6421
sampel hari ke 4		sampel hari ke 0	-103.8000	62.32	1.000	-311.358	103.7579	
		sampel hari ke 2	-48.0000	62.32	1.000	-255.558	159.5579	
		sampel hari ke 6	74.4000	62.32	1.000	-133.158	281.9579	
		sampel hari ke 8	87.2000	62.32	1.000	-120.358	294.7579	
		sampel hari ke 10	-275.2000*	62.32	.004	-482.768	-67.6421	
sampel hari ke 6		sampel hari ke 0	-178.2000	62.32	.145	-385.758	29.3579	
		sampel hari ke 2	-122.4000	62.32	.953	-329.958	85.1579	
		sampel hari ke 4	-74.4000	62.32	1.000	-281.958	133.1579	
		sampel hari ke 8	12.8000	62.32	1.000	-194.758	220.3579	
		sampel hari ke 10	-349.6000*	62.32	.000	-557.158	-142.042	
sampel hari ke 8		sampel hari ke 0	-191.0000	62.32	.092	-398.558	16.5579	
		sampel hari ke 2	-135.2000	62.32	.634	-342.758	72.3579	
		sampel hari ke 4	-87.2000	62.32	1.000	-294.758	120.3579	
		sampel hari ke 6	-12.8000	62.32	1.000	-220.358	194.7579	
		sampel hari ke 10	-362.4000*	62.32	.000	-569.958	-154.842	
sampel hari ke 10		sampel hari ke 0	171.4000	62.32	.185	-36.1579	378.9579	
		sampel hari ke 2	227.2000*	62.32	.024	19.6421	434.7579	
		sampel hari ke 4	275.2000*	62.32	.004	67.6421	482.7579	
		sampel hari ke 6	349.6000*	62.32	.000	142.0421	557.1579	
		sampel hari ke 8	362.4000*	62.32	.000	154.8421	569.9579	

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### TSS

WAKTU	N	Subset	
		1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup> sampel hari ke 8	5	544.8000	
sampel hari ke 6	5	557.6000	
sampel hari ke 4	5	632.0000	
sampel hari ke 2	5	680.0000	
sampel hari ke 0	5	735.8000	735.8000
sampel hari ke 10	5		907.2000
Sig.		.059	.108

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 9708.737.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

**KONSTRASI**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: TSS

						95% Confidence Interval	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
	(I) KONST	(J) KONST					
Tukey HSD	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-91.6667	56.89	.508	-261.9	78.5651
		konst limbah 60%	-412.1667*	56.89	.000	-582.4	-241.9
		konst limbah 80%	-499.5000*	56.89	.000	-669.7	-329.3
		konst limbah100%	-807.8333*	56.89	.000	-978.1	-637.6
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	91.6667	56.89	.508	-78.57	261.90
		konst limbah 60%	-320.5000*	56.89	.000	-490.7	-150.3
		konst limbah 80%	-407.8333*	56.89	.000	-578.1	-237.6
		konst limbah100%	-716.1667*	56.89	.000	-886.4	-545.9
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	412.1667*	56.89	.000	241.93	582.40
		konst limbah 40%	320.5000*	56.89	.000	150.27	490.73
		konst limbah 80%	-87.3333	56.89	.553	-257.6	82.8984
		konst limbah100%	-395.6667*	56.89	.000	-565.9	-225.4
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	499.5000*	56.89	.000	329.27	669.73
		konst limbah 40%	407.8333*	56.89	.000	237.60	578.07
		konst limbah 60%	87.3333	56.89	.553	-82.90	257.57
		konst limbah100%	-308.3333*	56.89	.000	-478.6	-138.1
	konst limbah100%	konst limbah 20%	807.8333*	56.89	.000	637.60	978.07
		konst limbah 40%	716.1667*	56.89	.000	545.93	886.40
		konst limbah 60%	395.6667*	56.89	.000	225.43	565.90
		konst limbah 80%	308.3333*	56.89	.000	138.10	478.57
Bonferroni	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-91.6667	56.89	1.0	-271.1	87.7240
		konst limbah 60%	-412.1667*	56.89	.000	-591.6	-232.8
		konst limbah 80%	-499.5000*	56.89	.000	-678.9	-320.1
		konst limbah100%	-807.8333*	56.89	.000	-987.2	-628.4
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	91.6667	56.89	1.0	-87.72	271.06
		konst limbah 60%	-320.5000*	56.89	.000	-499.9	-141.1
		konst limbah 80%	-407.8333*	56.89	.000	-587.2	-228.4
		konst limbah100%	-716.1667*	56.89	.000	-895.6	-536.8
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	412.1667*	56.89	.000	232.78	591.56
		konst limbah 40%	320.5000*	56.89	.000	141.11	499.89
		konst limbah 80%	-87.3333	56.89	1.0	-266.7	92.0573
		konst limbah100%	-395.6667*	56.89	.000	-575.1	-216.3
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	499.5000*	56.89	.000	320.11	678.89
		konst limbah 40%	407.8333*	56.89	.000	228.44	587.22
		konst limbah 60%	87.3333	56.89	1.0	-92.06	266.72
		konst limbah100%	-308.3333*	56.89	.000	-487.7	-128.9
	konst limbah100%	konst limbah 20%	807.8333*	56.89	.000	628.44	987.22
		konst limbah 40%	716.1667*	56.89	.000	536.78	895.56
		konst limbah 60%	395.6667*	56.89	.000	216.28	575.06
		konst limbah 80%	308.3333*	56.89	.000	128.94	487.72

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### TSS

KONST	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	314.0000		
konst limbah 40%	6	405.6667		
konst limbah 60%	6		726.1667	
konst limbah 80%	6		813.5000	
konst limbah 100%	6			1121.8333
Sig.		.508	.553	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 9708.737.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

**LAMPIRAN 9**  
**ANALISA STATISTIK**  
**SIANIDA (CN)**

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
KONST	20.000	konsentrasi limbah 20%	6
	40.000	konsentrasi limbah 40%	6
	60.000	konsentrasi limbah 60%	6
	80.000	konsentrasi limbah 80%	6
	100.000	konsentrasi limbah 100%	6
WAKTU	.000	waktu pengambilan sampel hari ke 0	5
	2.000	waktu pengambilan sampel hari ke 2	5
	4.000	waktu pengambilan sampel hari ke 4	5
	6.000	waktu pengambilan sampel hari ke6	5
	8.000	waktu pengambilan sampel hari ke8	5
	10.000	waktu pengambilan sampel hari ke 10	5

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: SIANIDA

WAKTU	KONST	Mean	Std. Deviation	N
sampel hari ke 0	konst limbah 20%	1.12000	.	1
	konst limbah 40%	2.14000	.	1
	konst limbah 60%	2.83000	.	1
	konst limbah 80%	3.09000	.	1
	konst limbah 100%	3.29000	.	1
	Total	2.49400	.88246	5
sampel hari ke 2	konst limbah 20%	.63000	.	1
	konst limbah 40%	.98000	.	1
	konst limbah 60%	1.52000	.	1
	konst limbah 80%	2.30000	.	1
	konst limbah 100%	2.24000	.	1
	Total	1.53400	.74322	5
sampel hari ke 4	konst limbah 20%	.10000	.	1
	konst limbah 40%	.21000	.	1
	konst limbah 60%	.28000	.	1
	konst limbah 80%	.49000	.	1
	konst limbah 100%	.39000	.	1
	Total	.29400	.15209	5
sampel hari ke6	konst limbah 20%	2.0000E-02	.	1
	konst limbah 40%	3.0000E-02	.	1
	konst limbah 60%	5.0000E-02	.	1
	konst limbah 80%	9.0000E-02	.	1
	konst limbah 100%	7.0000E-02	.	1
	Total	5.2000E-02	2.8636E-02	5
sampel hari ke8	konst limbah 20%	2.0000E-03	.	1
	konst limbah 40%	7.0000E-03	.	1
	konst limbah 60%	2.4000E-02	.	1
	konst limbah 80%	3.3000E-02	.	1
	konst limbah 100%	5.2000E-02	.	1
	Total	2.3600E-02	2.0231E-02	5
sampel hari ke 10	konst limbah 20%	2.0000E-03	.	1
	konst limbah 40%	4.0000E-03	.	1
	konst limbah 60%	6.0000E-03	.	1
	konst limbah 80%	2.1000E-02	.	1
	konst limbah 100%	3.0000E-02	.	1
	Total	1.2600E-02	1.2280E-02	5
Total	konst limbah 20%	.31233	.46398	6
	konst limbah 40%	.56183	.85920	6
	konst limbah 60%	.78500	1.15788	6
	konst limbah 80%	1.00400	1.34460	6
	konst limbah 100%	1.01200	1.40410	6
	Total	.73503	1.05911	30

## Levene's Test of Equality of Error Variances <sup>a</sup>

Dependent Variable: SIANIDA

F	df1	df2	Sig.
	29	0	

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+KONST

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SIANIDA

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.268 <sup>a</sup>	9	3.252	19.944	.000
Intercept	16.208	1	16.208	99.402	.000
WAKTU	27.107	5	5.421	33.249	.000
KONST	2.161	4	.540	3.314	.031
Error	3.261	20	.163		
Total	48.738	30			
Corrected Total	32.529	29			

a. R Squared = .900 (Adjusted R Squared = .855)

## Estimated Marginal Means

### 1. WAKTU

Dependent Variable: SIANIDA

WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	2.494	.181	2.117	2.871
sampel hari ke 2	1.534	.181	1.157	1.911
sampel hari ke 4	.294	.181	-8.270E-02	.671
sampel hari ke 6	5.200E-02	.181	-.325	.429
sampel hari ke 8	2.360E-02	.181	-.353	.400
sampel hari ke 10	1.260E-02	.181	-.364	.389



## 2. KONST

Dependent Variable: SIANIDA

KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
konst limbah 20%	.312	.165	-3.154E-02	.656
konst limbah 40%	.562	.165	.218	.906
konst limbah 60%	.785	.165	.441	1.129
konst limbah 80%	1.004	.165	.660	1.348
konst limbah 100%	1.012	.165	.668	1.356

### 3. WAKTU \* KONST

Dependent Variable: STANIDA

WAKTU	KONST	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
sampel hari ke 0	konst limbah 20%	2.071	.233	1.585	2.558
	konst limbah 40%	2.321	.233	1.834	2.807
	konst limbah 60%	2.544	.233	2.058	3.030
	konst limbah 80%	2.763	.233	2.277	3.249
	konst limbah 100%	2.771	.233	2.285	3.257
sampel hari ke 2	konst limbah 20%	1.111	.233	.625	1.598
	konst limbah 40%	1.361	.233	.874	1.847
	konst limbah 60%	1.584	.233	1.098	2.070
	konst limbah 80%	1.803	.233	1.317	2.289
	konst limbah 100%	1.811	.233	1.325	2.297
sampel hari ke 4	konst limbah 20%	-.129	.233	-.615	.358
	konst limbah 40%	.121	.233	-.366	.607
	konst limbah 60%	.344	.233	-.142	.830
	konst limbah 80%	.563	.233	7.665E-02	1.049
	konst limbah 100%	.571	.233	8.465E-02	1.057
sampel hari ke6	konst limbah 20%	-.371	.233	-.857	.116
	konst limbah 40%	-.121	.233	-.608	.365
	konst limbah 60%	.102	.233	-.384	.588
	konst limbah 80%	.321	.233	-.165	.807
	konst limbah 100%	.329	.233	-.157	.815
sampel hari ke8	konst limbah 20%	-.399	.233	-.885	8.721E-02
	konst limbah 40%	-.150	.233	-.636	.337
	konst limbah 60%	7.357E-02	.233	-.413	.560
	konst limbah 80%	.293	.233	-.194	.779
	konst limbah 100%	.301	.233	-.186	.787
sampel hari ke 10	konst limbah 20%	-.410	.233	-.896	7.621E-02
	konst limbah 40%	-.161	.233	-.647	.326
	konst limbah 60%	6.257E-02	.233	-.424	.549
	konst limbah 80%	.282	.233	-.205	.768
	konst limbah 100%	.290	.233	-.197	.776

## Post Hoc Tests

WAKTU

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: SIANIDA

		Mean			95% Confidence Interval			
(I) WAKTU	(J) WAKTU	Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound		
Tukey HSD	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	.96000 *	.25539	.014	.15724	1.76276	
		sampel hari ke 4	2.20000 *	.25539	.000	1.39724	3.00276	
		sampel hari ke 6	2.44200 *	.25539	.000	1.63924	3.24476	
		sampel hari ke 8	2.47040 *	.25539	.000	1.66764	3.27316	
		sampel hari ke 10	2.48140 *	.25539	.000	1.67864	3.28416	
		sampel hari ke 0	-96000 *	.25539	.014	-1.76276	-.15724	
		sampel hari ke 4	1.24000 *	.25539	.001	.43724	2.04276	
		sampel hari ke 6	1.48200 *	.25539	.000	.87924	2.28476	
		sampel hari ke 8	1.51040 *	.25539	.000	.70764	2.31316	
		sampel hari ke 10	1.52140 *	.25539	.000	.71864	2.32416	
		sampel hari ke 0	-2.20000 *	.25539	.000	-3.00276	-1.39724	
		sampel hari ke 2	-1.24000 *	.25539	.001	-2.04276	-.43724	
		sampel hari ke 6	.24200	.25539	.929	-.56076	1.04476	
		sampel hari ke 8	.27040	.25539	.892	-.53236	1.07316	
		sampel hari ke 10	.28140	.25539	.875	-.52136	1.08416	
		sampel hari ke 0	-2.44200 *	.25539	.000	-3.24476	-1.63924	
		sampel hari ke 2	-1.48200 *	.25539	.000	-2.28476	-.67924	
		sampel hari ke 4	-.24200	.25539	.929	-1.04476	.56076	
		sampel hari ke 6	2.840E-02	.25539	1.000	-.77436	.83116	
		sampel hari ke 10	3.940E-02	.25539	1.000	-.76336	.84216	
		sampel hari ke 0	-2.47040 *	.25539	.000	-3.27316	-1.66764	
		sampel hari ke 2	-1.51040 *	.25539	.000	-2.31316	-.70764	
		sampel hari ke 4	-.27040	.25539	.892	-1.07316	.53236	
		sampel hari ke 6	-2.84E-02	.25539	1.000	-.83116	.77436	
		sampel hari ke 10	1.100E-02	.25539	1.000	-.79176	.81376	
		sampel hari ke 0	-2.48140 *	.25539	.000	-3.28416	-1.67864	
		sampel hari ke 2	-1.52140 *	.25539	.000	-2.32416	-.71864	
		sampel hari ke 4	-.28140	.25539	.875	-1.08416	.52136	
		sampel hari ke 6	-3.94E-02	.25539	1.000	-.84216	.76336	
		sampel hari ke 8	-1.10E-02	.25539	1.000	-.81376	.79176	
	Bonferroni	sampel hari ke 0	sampel hari ke 2	.96000 *	.25539	.019	.10940	1.81060
			sampel hari ke 4	2.20000 *	.25539	.000	1.34940	3.05060
			sampel hari ke 6	2.44200 *	.25539	.000	1.59140	3.29260
			sampel hari ke 8	2.47040 *	.25539	.000	1.61980	3.32100
			sampel hari ke 10	2.48140 *	.25539	.000	1.63080	3.33200
			sampel hari ke 0	-96000 *	.25539	.019	-1.81060	-.10940
			sampel hari ke 4	1.24000 *	.25539	.001	.38940	2.09060
			sampel hari ke 6	1.48200 *	.25539	.000	.63140	2.33260
			sampel hari ke 8	1.51040 *	.25539	.000	.65980	2.36100
			sampel hari ke 10	1.52140 *	.25539	.000	.67080	2.37200
		sampel hari ke 0	-2.20000 *	.25539	.000	-3.05060	-1.34940	
		sampel hari ke 2	-1.24000 *	.25539	.001	-2.09060	-.38940	
		sampel hari ke 6	.24200	.25539	1.000	-.60860	1.09260	
		sampel hari ke 8	.27040	.25539	1.000	-.58020	1.12100	
		sampel hari ke 10	.28140	.25539	1.000	-.56920	1.13200	
		sampel hari ke 0	-2.44200 *	.25539	.000	-3.29260	-1.59140	
		sampel hari ke 2	-1.48200 *	.25539	.000	-2.33260	-.63140	
		sampel hari ke 4	-.24200	.25539	1.000	-1.09260	.60860	
		sampel hari ke 6	2.840E-02	.25539	1.000	-.82220	.87900	
		sampel hari ke 10	3.940E-02	.25539	1.000	-.81120	.89000	
		sampel hari ke 0	-2.47040 *	.25539	.000	-3.32100	-1.61980	
		sampel hari ke 2	-1.51040 *	.25539	.000	-2.36100	-.65980	
		sampel hari ke 4	-.27040	.25539	1.000	-1.12100	.58020	
		sampel hari ke 6	-2.84E-02	.25539	1.000	-.87900	.82220	
		sampel hari ke 10	1.100E-02	.25539	1.000	-.83960	.86160	
		sampel hari ke 0	-2.48140 *	.25539	.000	-3.33200	-1.63080	
		sampel hari ke 2	-1.52140 *	.25539	.000	-2.37200	-.67080	
		sampel hari ke 4	-.28140	.25539	1.000	-1.13200	.56920	
		sampel hari ke 6	-3.94E-02	.25539	1.000	-.89000	.81120	
		sampel hari ke 8	-1.10E-02	.25539	1.000	-.86160	.83960	

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### SIANIDA

WAKTU	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup> sampel hari ke 10	5	1.26E-02		
sampel hari ke8	5	2.36E-02		
sampel hari ke6	5	5.20E-02		
sampel hari ke 4	5	.29400		
sampel hari ke 2.	5		1.53400	
sampel hari ke 0	5			2.49400
Sig.		.875	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .163.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

**KONSENTRASI**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: SIANIDA

		Mean			95% Confidence Interval		
(I) KONST	(J) KONST	Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSE	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-.24950	.23314	.819	-.94714	.44814
		konst limbah 60%	-.47267	.23314	.289	-1.17030	.22497
		konst limbah 80%	-.69167	.23314	.053	-1.38930	5.9692E-03
		konst limbah 100%	-.69967*	.23314	.049	-1.39730	2.03084E-03
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	.24950	.23314	.819	-.44814	.94714
		konst limbah 60%	-.22317	.23314	.871	-.92080	.47447
		konst limbah 80%	-.44217	.23314	.351	-1.13980	.25547
		konst limbah 100%	-.45017	.23314	.334	-1.14780	.24747
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	.47267	.23314	.289	-.22497	1.17030
		konst limbah 40%	.22317	.23314	.871	-.47447	.92080
		konst limbah 80%	-.21900	.23314	.878	-.91664	.47864
		konst limbah 100%	-.22700	.23314	.864	-.92464	.47064
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	.69167	.23314	.053	5.96916E-03	1.38930
		konst limbah 40%	.44217	.23314	.351	-.25547	1.13980
		konst limbah 60%	.21900	.23314	.878	-.47864	.91664
		konst limbah 100%	8.000E-03	.23314	1.000	-.70564	.68964
konst limbah 100%	konst limbah 20%	.69967*	.23314	.049	2.0308E-03	1.39730	
	konst limbah 40%	.45017	.23314	.334	-.24747	1.14780	
	konst limbah 60%	.22700	.23314	.864	-.47064	.92464	
	konst limbah 80%	8.000E-03	.23314	1.000	-.68964	.70564	
Bonferroni	konst limbah 20%	konst limbah 40%	-.24950	.23314	1.000	-.98467	.48567
		konst limbah 60%	-.47267	.23314	.562	-1.20784	.26250
		konst limbah 80%	-.69167	.23314	.076	-1.42684	4.3504E-02
		konst limbah 100%	-.69967	.23314	.071	-1.43484	3.5504E-02
	konst limbah 40%	konst limbah 20%	.24950	.23314	1.000	-.48567	.98467
		konst limbah 60%	-.22317	.23314	1.000	-.95834	.51200
		konst limbah 80%	-.44217	.23314	.724	-1.17734	.29300
		konst limbah 100%	-.45017	.23314	.678	-1.18534	.28500
	konst limbah 60%	konst limbah 20%	.47267	.23314	.562	-.26250	1.20784
		konst limbah 40%	.22317	.23314	1.000	-.51200	.95834
		konst limbah 80%	-.21900	.23314	1.000	-.95417	.51617
		konst limbah 100%	-.22700	.23314	1.000	-.96217	.50817
	konst limbah 80%	konst limbah 20%	.69167	.23314	.076	4.35038E-02	1.42684
		konst limbah 40%	.44217	.23314	.724	-.29300	1.17734
		konst limbah 60%	.21900	.23314	1.000	-.51617	.95417
		konst limbah 100%	8.000E-03	.23314	1.000	-.74317	.72717
konst limbah 100%	konst limbah 20%	.69967	.23314	.071	3.55038E-02	1.43484	
	konst limbah 40%	.45017	.23314	.678	-.28500	1.18534	
	konst limbah 60%	.22700	.23314	1.000	-.50817	.96217	
	konst limbah 80%	8.000E-03	.23314	1.000	-.72717	.74317	

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

SIANIDA

		N	Subset	
			1	2
Tukey HSD	<sup>a,b</sup> konst limbah 20%	6	.31233	
	konst limbah 40%	6	.56183	.56183
	konst limbah 60%	6	.78500	.78500
	konst limbah 80%	6	1.00400	1.00400
	konst limbah 100%	6		1.01200
	Sig.			.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .163.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.
- b. Alpha = .05.

---

---

## **LAMPIRAN 10**

### **ALAT DAN BAHAN PENELITIAN**

- a. ALAT DAN BAHAN KONSTRUKSI *WETLANDS*
  - b. ALAT DAN BAHAN ANALISA BOD<sub>5</sub>
  - c. ALAT DAN BAHAN ANALISA COD
  - d. ALAT DAN BAHAN ANALISA TSS
  - e. ALAT DAN BAHAN ANALISA SIANIDA
-

---

## ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

---

### 1. Alat dan Bahan Konstruksi *Wetlands*

Persiapan alat dan bahan konstruksi reaktor dalam penelitian ini dibagi menjadi dua persiapan yaitu :

a. Penyiapan konstruksi reaktor *wetlands* yaitu berupa :

1. Media reaktor yaitu tanah
2. Papan dan balok
3. Plastik
4. Pipa PVC
5. Gate valve
6. Tee
7. Paku
8. Lem
9. Isolasi
10. Kayu penyangga
11. dll

b. Penyiapan media tanaman, tanaman yang digunakan adalah tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Pada penelitian ini ditetapkan untuk setiap reaktor ditanami eceng gondok sebanyak 30 tanaman.

---

### 2. Alat dan Bahan Analisa Laboratorium

#### 2.1 Analisa Oksigen Terlarut (DO)

a. Peralatan analisa oksigen terlarut (DO) yang digunakan :

1. Labu refluks, terdiri dari gelas erlemeyer dan kodensator
2. Inkubator
3. Botol BOD 300 ml
4. Aerator
5. Labu ukur
6. Gelas beker
7. Pipet Ukur



---

5. Buret Ukur

9. Pipet Tetes

---

b. Bahan yang digunakan untuk analisa oksigen terlarut (DO) yaitu :

1. Larutan baku Sodium Thiosulfat 0,1 N
2. Larutan baku Thiosulfat 0,025 N
3. Larutan Alkali Iodida (pereaksi oksigen)
4. Larutan Asam Sulpat Pekat
5. Larutan  $MnSO_4$
6. Larutan KH  $(IO_3)_2$  0,1 N

## 2.2 Analisa *Biochemical Oxygen Demand* (BOD<sub>5</sub>)

a. Peralatan analisa *Biochemical Oxygen Demand* (BOD<sub>5</sub>) yang digunakan :

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Aerator              | 6. Karet Hisap     |
| 2. Botol /jerigen       | 7. Buret           |
| 3. Botol Winkler 300 ml | 8. Erlemeyer       |
| 4. Inkubator            | 9. Pipet Tetes     |
| 5. Pipet Ukur           | 10. Selang Plastik |

---

b. Bahan yang digunakan untuk analisa *Biochemical Oxygen Demand* (BOD<sub>5</sub>)

yaitu :

1. Larutan Buffer Posfat
2. Larutan Magnesium Sulfat
3. Larutan Kalsium Klorida
4. Larutan Ferri Klorida
5. Larutan Amylum

---

---

### **2.3 Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD)**

a. Peralatan analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang digunakan :

- |                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| 1. Tabung Reaksi COD | 4. Erlemeyer                   |
| 2. Termoreaktor      | 5. Buret                       |
| 3. Pipet Ukur        | 6. Pipet tetes dan Karet hisap |

b. Bahan yang digunakan untuk analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu :

1. Kalium dikromat 0,25 N
2. Asam sulfat – silver sulfat
3. Ferro ammonium sulfat 0,25 N
4. Larutan Indikator Feroin
5. Merkuri sulfat

### **2.4 Analisa *Total Suspended Solids* (TSS)**

a. Peralatan analisa *Total Suspended Solids* (TSS) yang digunakan :

- |                        |              |
|------------------------|--------------|
| 1. Oven Bersuhu 105 °C | 5. Corong    |
| 2. Desikator           | 6. Labu Ukur |
| 3. Kertas Saring       | 7. Penjepil  |
| 4. Timbangan Analitis  | 8. Erlemeyer |

---

---

### **2.5 Analisa Sianida (CN)**

a. Peralatan analisa sianida (CN) yang digunakan :

- |                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| 1. Spektrofotometer 578 nm | 4. Erlemeyer     |
| 2. Labu Ukur 100 ml        | 5. Pipet Ukur    |
| 3. Erlemeyer               | 6. Buret titrasi |

b. Bahan yang digunakan untuk analisa sianida (CN) yaitu :

1. Larutan Kloramin T
2. Larutan Induk Sianida
3. Reagen Asam Barbiturat-piridin
4. Larutan Natrium Dihidrogen Fosfat 0,1N
5. Larutan Natrium Hidroksida 0,25 N
6. Aquadest

---

---

**LAMPIRAN 11**  
**PROSEDUR ANALISA**

- a. PROSEDUR ANALISA DO
- b. PROSEDUR ANALISA BOD<sub>5</sub>
- c. PROSEDUR ANALISA COD
- d. PROSEDUR ANALISA TSS
- e. PROSEDUR ANALISA SIANIDA

---

---

## PROSEDUR ANALISA LABORATORIUM

### 1. Prosedur Analisa Oksigen Terlarut (DO)

#### a. Standarisasi Larutan Thiosulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_2\text{O}_3$ )

1. Masukkan 20 ml larutan KH ( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub> dalam erlemeyer tambahkan 10 ml asam sulfat dan aquadest sampai volumenya 200 ml.
2. Titrasi dengan thiosulfat sebelumnya tambahkan larutan kanji sampai larutan bening (warna biru kanji hilang)
3. Hitung normalitas thiosulfat = 
$$\frac{Vol\text{IO}_3 \times N\text{IO}_3}{Vol\text{Thiosulfat}}$$

#### b. Pemeriksaan Oksigen Terlarut

1. Isi botol winkler dengan sampel, jangan sampai timbul gelembung udara, kemudian tutup botol.
2. Masukkan 1 ml  $\text{MnSO}_4$  dan 1ml alkali iodida dengan pipet ukur 1 ml didasar botol winkler.
3. Tutup kembali, aduk dengan membolak-balikan winkler sampai homogen.
4. Diamkan sampai terbentuk endapan coklat didasar botol winkler (jika terdapat endapan putih berarti tidak terdapat oksigen).
5. Bagi larutan menjadi dua bagian dalam erlemeyer, tambahkan 1 ml asam sulfat pekat aduk sampai endapan hilang teteskan larutan kanji kemudian lakukan segera titrasi dengan thiosulfat 1/80 N, sampai warna biru hilang. Catat larutan thiosulfat hasil titrasi.

6. Hitung Kadar DO dengan rumus 
$$= \frac{V_{thio} \times N_{thio} \times 1000 \times 8}{V_{botol} - 2}$$

**2. Prosedur Analisa Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>)**

- a. Dilakukan pemeriksaan DO segera dari air sampel
- b. Dilakukan pengenceran, yaitu :
  1. sediakan aquadest dalam botol 1 L
  2. tambahkan 1 ml buffer fosfat, 1 ml larutan CaCl<sub>2</sub>, 1 ml larutan MgSO<sub>4</sub>, 1ml larutan FeCl<sub>3</sub>.
  3. campur larutan tersebut dan alirkan udara dengan pompa aerator selama 3 menit.
- c. Dilakukan analisa BOD dari analisa DO yang telah di inkubasi selama 5 hari
  1. Masukkan 1 ml MnSO<sub>4</sub> dan 1ml alkali iodida dengan pipet ukur 1 ml didasar botol winkler.
  2. Tutup kembali, aduk dengan membolak-balikan winkler sampai homogen.
  3. Diamkan sampai terbentuk endapan coklat didasar botol winkler (jika terdapat endapan putih berarti tidak terdapat oksigen).
  4. Bagi larutan menjadi dua bagian dalam erlemeyer, tambahkan 1 ml asam sulfat pekat aduk sampai endapan hilang teteskan larutan kanji kemudian lakukan segera titrasi dengan thiosulfat 1/80 N, sampai warna biru hilang. Catat larutan thiosulfat hasil titrasi.

---

5. Hitung Kadar  $DO_5$  dengan rumus =  $\frac{V_{thio} \times N_{thio} \times 1000 \times 8}{V_{botol} - 2}$

---

6. Hitung kadar  $BOD_5$  dengan rumus =

$$\{ ( DO_{5,campuran} - DO_{5,campuran} ) - BOD_{5,airpengencer} \} \times pengenceran$$

### 3. **Prosedur Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD)**

1. Masukkan 20 ml sampel ke labu refluks, ditambah 0,4 gr  $HgSO_4$  (tergantung konsentrasi Cl dengan perbandingan 10 : 1)
2. Tambah 10 ml kalium dikromat 0,25 N dan 30 ml asam sulfat pekat
3. Labu refluks di pasang pada kondensor dan dipanaskan selama 2 jam mendidih. Dinginkan kondensor dan dibilas dengan aquadest. Encerkan dengan aquadest sampai volume 140 ml.
4. Setelah dingin titrasi dengan larutan FAS 0,1 N, tambah 2 – 3 indikator ferroin.
5. Titrasi dihentikan jika terjadi perubahan warna hijau menjadi merah coklat.
6. Lakukan percobaan blanko sebagai pembanding dari analisa sampel.
7. Hitung kadar COD dengan rumus =  $\frac{(A - B) \times N \times 8000}{V_{sampel}}$

---

### 4. **Prosedur Analisa *Total Suspended Solids* (TSS)**

1. Panaskan kertas saring dalam oven suhu 105 °C selama 2 jam.
2. Timbang kertas saring dengan timbangan analisis setelah kertas saring didesikator selama 10 menit.
3. Masukkan lagi kertas saring ke oven suhu 105 °C selama 1 jam, ulangi hal ini sampai berat kertas saring konstan.

---

4. Saring air sampel dengan kertas saring yang telah ditimbang sebanyak 50 ml

dalam erlemeyer.

5. Masukkan kedalam oven suhu 105 °C selama 2 jam

6. Timbang kertas saring dengan timbangan analisis setelah kertas saring didesikator selama 10 menit.

7. Masukkan lagi kertas saring ke oven suhu 105 °C selama 1 jam, ulangi hal ini sampai berat kertas saring konstan.

8. Hitung kadar TSS dengan rumus =  $\frac{(BeratAwal - BeratAkhir) \times 1000}{Vsampel}$

#### 4. Prosedur Analisa Sianida (CN)

1. Standarisasi larutan induk sianida

a. Masukkan larutan KCN dalam erlemeyer dengan mengatur pH 11-12 dengan NaOH

b. Tambahkan aquadest sampai volum 250 ml

c. Tambahkan 0,5 ml indikator para dimetil aminobenzorodamino

d. Titrasi dengan larutan AgNO<sub>3</sub> 0,0192 N sampai berubah warna menjadi kuning muda

e. Lakukan cara kerja diatas dengan membuat larutan blanko

f. Hitung konsentrasi CN dengan rumus

$$\text{mgr/L CN} = \frac{(A - B) \times 1000}{25} \times \frac{250}{V}$$

A = ml larutan AgNO<sub>3</sub> larutan KCN

B = ml larutan AgNO<sub>3</sub> larutan blanko



---

V = ml larutan KCN yang dititiasi

---

2. Membuat larutan Standar Sianida dengan cara mengencerkan larutan induk CN dengan 0,25 N NaOH sampai konsentrasi 10 gr/L
3. membuat reagen asam barbiturat-piridin dengan cara 15 gr asam barbiturat masukan dalam labu 200 ml tambahkan aquadest dan 75 ml piridin kemudian tambahkan 15 HCl pekat
4. Ambil contoh air dan diencerkan menjadi 50 ml dengan larutan 0,25 N NaOH
5. Masukan dalam labu ukur 100 ml
6. Tambahkan larutan buffer phosfat diaduk hingga rata
7. Tambahkan larutan dengan 2 ml kloramin T aduk hingga homogen
8. Tambahkan 5 ml larutan barbiturat-piridin encerkan sampai 100 ml
9. Diamkan selama 8 menit hingga terbentuk warna kemudian baca dengan spektrofotometer 578 nm

10. Hitung sianida dengan rumus

$$\text{Mgr/L CN} = A / B$$

A = Mgr sianida dalam sampel dari kurva kalibrasi

B = Volume sampel

---