

26.055/H/06



# TESIS

## PENGOLAHAN AIR BEKAS DOMESTIK DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND* ALIRAN *SUBSURFACE* UNTUK MENURUNKAN COD, TS DAN DETERJEN

Oleh :

**YENY DHOKHIKAH**

3303.201.010



RTL  
628.3  
Dho  
p-1  

---

2006

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	21-2-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	224025

PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

2006

**PENGOLAHAN AIR BEKAS DOMESTIK DENGAN SISTEM  
CONSTRUCTED WETLAND ALIRAN SUBSURFACE UNTUK  
MENURUNKAN COD, TS DAN DETERJEN**

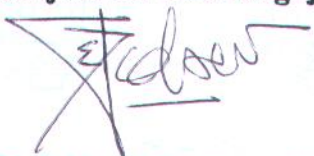
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :


**YENY DHOKHIKAH  
NRP. 3303.201.010**


Disetujui oleh Tim Penguji Tesis:

Tanggal Ujian:  
1 Februari 2006

  
1. Ir. Eddy S. Soedjono, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 131 846 110

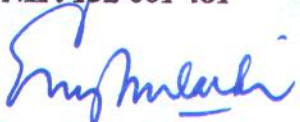
Periode Wisuda:  
Maret 2006

  
2. Ir. Agus Slamet, M.Sc.  
NIP. 130 651 592

  
3. Ir. Mohammad Razif, M.M.  
NIP. 130 936 830

  
4. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T.  
NIP. 132 001 481

Direktur Program Pascasarjana:

  
5. Dra. Enny Zulaika, M.P.  
NIP. 131 773 918

  
Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 130 541 829

## ABSTRAK

### **PENGOLAHAN AIR BEKAS DOMESTIK DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND* ALIRAN *SUBSURFACE* UNTUK MENURUNKAN COD, TS DAN DETERJEN**

Oleh : Yeny Dhokhikah  
Pembimbing : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD.

Air bekas domestik merupakan air limbah dari kegiatan rumah tangga seperti mandi, pencucian dan dapur. Hampir semua air bekas memasuki badan air tanpa pengolahan terlebih dulu. *Wetland* adalah salah satu dari pengolahan yang memakai sumber daya alam seperti tanah dan tanah berpasir sebagai media terjadinya proses, adapun tanaman dan mikroorganisme sebagai pendegradasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa air bekas dapat diolah dengan *wetland* yang ditanami *cattail* (*Typha angustifolia*) dan kana (*Canna sp.*).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kinerja *constructed wetland* aliran *subsurface* dengan variasi tanaman *cattail* dan kana, bentuk geometris konstruksi *wetland* persegi panjang dan bujursangkar, waktu tinggal 1 hari dan 6 jam dalam menurunkan COD, TS dan deterjen (LAS) pada air bekas. Reaktor persegi panjang berdimensi panjang, lebar dan dalam sebesar 1 m; 0,3 m; 0,5 m; dan bujursangkar 0,55m; 0,55 m; 0,5 m. Media yang dipakai pasir dengan kedalaman media 0,4 m; dan sistem alirannya kontinyu. Pengamatan dilakukan selama 8 hari.

Penurunan TS tertinggi oleh media 52,81%; *cattail* 1,23%; kana 4,58%. Penurunan COD tertinggi oleh media 57,79%; *cattail* 13,83%; kana 14,06%. Penurunan LAS tertinggi oleh media 56,56%; *cattail* 20,86%; kana 21,07%. Efisiensi penurunan COD, LAS tertinggi pada reaktor persegi panjang–*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari sebesar 72%; 68%. Efisiensi penurunan TS adalah 56% pada reaktor bujursangkar–kana dan waktu tinggal 1 hari. Efisiensi penurunan TS, COD, LAS yang cukup tinggi sebesar 52%; 65%; 48% pada reaktor bujursangkar–*cattail* dan waktu tinggal 1 hari.

Kata kunci: air bekas, *constructed wetland* aliran *subsurface*, *cattail*, kana, COD, TS dan deterjen

## ABSTRACT

### **DOMESTIC GREY WATER TREATMENT IN SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND TO REDUCE COD, TS AND DETERGENT**

By : Yeny Dhokhikah  
Supervisor : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD.

*Grey water is wastewater from domestic activities like bathing, washing, laundering and dishes washing from kitchen. Most of all of grey water enter the water body without previous treatment. Wetland is a kind of treatment that use natural resources like soil and sandy soil as medium with in the process occurs, plants and microorganisms as decomposer. Previous studies have shown that grey water can be treated by wetland which planted by cattail (*Typha angustifolia*) and canna-lilies (*Canna sp.*).*

*Aim of research was to study the performance of subsurface flow constructed wetland with variable of plant, cattail and canna-lilies; the geometric shape of wetland construction, rectangular and rectangle; detention time in reactor, 1 day and 6 hours in order to decrease the concentration of COD, TS and detergent (LAS) in grey water. Rectangular reactor had dimension in length, width and depth were 1 m; 0.3 m; 0.5 m; and rectangle were 0.55 m; 0.55 m; 0.5 m. Sand was used as medium with 0.4 m in depth and the system had continuous flow. The observation was held for 8 days.*

*The highest removal of TS were by medium 52.81%; cattail 1.23%; canna-lilies 4.58%. The highest removal of COD were by medium 57.79%; cattail 13.83%; canna-lilies 14.06%. The highest removal of LAS were by medium 56.56%; cattail 20.86%; canna-lilies 21.07%. The highest removal efficiency of COD, LAS were 72%; 68% in rectangular reactor planted by cattail in one day detention time. The highest of removal efficiency of TS was 56% in rectangle reactor planted by canna in one day detention time. Higher removal efficiency of TS, COD, LAS were 52%; 65%; 48% in rectangle reactor planted by cattail in one day detention time.*

*Key word: grey water, subsurface flow constructed wetland, cattail, canna-lilies, COD, TS, detergent*

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran ALLAH SWT, karena atas rahmat dan izinNya akhirnya tesis yang berjudul “*Pengolahan Air Bekas Domestik dengan Sistem Constructed Wetland Aliran Subsurface untuk Menurunkan COD, TS dan Deterjen*” dapat terselesaikan.

Tesis ini merupakan penerapan dari sedikit ilmu yang didapatkan penyusun di bangku kuliah, sekaligus merupakan salah satu upaya kecil untuk menemukan sebuah alternatif pemecahan dari permasalahan limbah domestik yang dihadapi oleh masyarakat.

Dimulainya penyusunan tesis ini hingga selesainya penulisannya, banyak melibatkan berbagai pihak. Untuk itu kami menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, masukan dan dukungan dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Ir. Agus Slamet, MSc selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan untuk izin dan masukan yang diberikan.
3. Bapak Ir. Mas Agus M. Tardan, ME., PhD., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Lingkungan untuk izin yang diberikan.
4. Bapak Ir. Hari Wiko Indaryanto, M.Eng., Ibu Ir. Ellina S. Pandebesie D., MT., dan Bapak Ir. M. Razif, M.M., selaku dosen penguji untuk kritik dan saran yang diberikan.
5. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember atas izin yang diberikan untuk melakukan analisa kimia di laboratorium.
6. Kepala Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember atas izin yang diberikan untuk melakukan analisa kimia.
7. Seluruh Dosen untuk semua hal yang telah diajarkan dan karyawan di Jurusan Teknik Lingkungan untuk bantuan selama di TL.
8. Suamiku, Mila anakku, ibuku dan keluarga besarku yang telah menjadi motivator untuk tetap berjalan, serta untuk doa, dukungan, kesabaran dan pengertian yang diberikan.

9. Seluruh teman S2 angkatan 2003 atas persahabatan dan bantuan yang diberikan selama kuliah, juga atas kesempatan yang diberikan untuk belajar banyak hal.
10. Pak Ardi, Pak Irfan dan Pak Ashmadi untuk bantuan dan kesabaran dalam mencarikan literatur, sekali lagi terimakasih dan semoga Allah memberi kesempatan untuk membalasnya.
11. Para Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan atas segala bantuan yang diberikan selama penelitian.
12. Pak Jabir Saing, Mas Dulkolim, Mas Darma terima kasih atas bantuannya.
13. Welly, Tera, Rizka, atas pinjaman bukunya.
14. Semua pihak yang telah membantu, yang meski tak tersebut akan selalu tahu betapa saya berterimakasih pada mereka. Semoga Allah menilai semua niat dan bantuan sebagai amal baik.

Kami selaku penyusun menyadari bahwa thesis ini masih jauh dari sempurna. Yang terakhir semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Februari 2006

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Lampiran	xii
<b>BAB I</b> <b>PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
<b>BAB II</b> <b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengolahan Air Limbah dengan Tanaman Air	4
2.2 <i>Constructed Wetland</i>	5
2.3 Tanaman Air	13
2.3.1 <i>Cattail (Typha angustifolia)</i>	13
2.3.2 Kana ( <i>Canna sp.</i> )	15
2.4 Mekanisme Penyerapan Nutrien oleh Tanaman Air	17
2.5 Air Bekas Domestik	18
2.6 <i>Total Solid (TS)</i>	18
2.7 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	19
2.8 Deterjen	20
<b>BAB III</b> <b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Umum	25
3.2 Kerangka Penelitian	26
3.3 Tahapan Penelitian	26

3.3.1 Studi Literatur	26
3.3.2 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian	28
3.3.3 Persiapan Alat dan Bahan	29
3.3.4 Aklimatisasi Tanaman	36
3.3.5 Pelaksanaan Penelitian	37
3.4 Analisis dan Pembahasan	38
3.5 Kesimpulan dan Saran	39
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Karakteristik Awal Limbah	40
4.2 Penurunan TS	41
4.2.1 Penurunan TS pada Waktu Tenggat 1 Hari	42
4.2.2 Penurunan TS pada Waktu Tenggat 6 Jam	49
4.3 Penurunan COD	53
4.3.1 Penurunan COD pada Waktu Tenggat 1 Hari	54
4.3.2 Penurunan COD pada Waktu Tenggat 6 Jam	59
4.4 Penurunan LAS	65
4.4.1 Penurunan LAS pada Waktu Tenggat 1 Hari	66
4.4.2 Penurunan LAS pada Waktu Tenggat 6 Jam	70
4.5 Hubungan antara Parameter	74
4.6 Ringkasan Hasil Penelitian	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	81
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Free Water Surface Wetland System</i>	7
Gambar 2.2	<i>Sub-surface Flow Wetlands System</i>	8
Gambar 2.3	<i>Constructed Wetland Aliran Atas dan Bawah Tanah</i>	9
Gambar 2.4	<i>Constructed Wetland Hidroponik Aliran Tipis</i>	9
Gambar 2.5	<i>Constructed Wetland Aliran Vertikal Menurun</i>	10
Gambar 2.6	<i>Constructed Wetland Aliran Vertikal ke Atas</i>	10
Gambar 2.7	<i>Cattail, Typha angustifolia</i>	14
Gambar 2.8	<i>Kana, Canna sp.</i>	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian dengan waktu tinggal 1 hari	27
Gambar 3.2	Reaktor bujursangkar	30
Gambar 3.3	Zona Inlet	31
Gambar 3.4	Pompa dan bak pengumpul	31
Gambar 3.5	Diagram alir rancangan penelitian bak bujursangkar	32
Gambar 3.6	Diagram alir rancangan penelitian bak persegi panjang	33
Gambar 3.7	Tampak atas reaktor bujursangkar dan persegi panjang	33
Gambar 3.8	Denah reaktor	34
Gambar 4.1	Efisiensi Penurunan TS selama pengamatan 8 hari	42
Gambar 4.2	TS, influen vs efisiensi penurunan	44
Gambar 4.3	TS, influen vs efisiensi penurunan	46
Gambar 4.4	Efisiensi Penurunan TS selama pengamatan 8 hari	49
Gambar 4.5	TS, influen vs efisiensi penurunan	51
Gambar 4.6	TS, influen vs efisiensi penurunan	52
Gambar 4.7	Efisiensi Penurunan COD selama pengamatan 8 hari	55
Gambar 4.8	COD, influen vs efisiensi penurunan	56
Gambar 4.9	COD, influen vs efisiensi penurunan	58
Gambar 4.10	Efisiensi Penurunan COD selama pengamatan 8 hari	60
Gambar 4.11	COD, influen vs efisiensi penurunan	61
Gambar 4.12	COD, influen vs efisiensi penurunan	63

Gambar 4.13	Efisiensi Penurunan LAS selama pengamatan 8 hari	66
Gambar 4.14	LAS, influen vs efisiensi penurunan	67
Gambar 4.15	LAS, influen vs efisiensi penurunan	68
Gambar 4.16	Efisiensi Penurunan LAS selama pengamatan 8 hari	70
Gambar 4.17	LAS, influen vs efisiensi penurunan	71
Gambar 4.18	LAS, influen vs efisiensi penurunan	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria desain untuk sistem <i>wetland</i>	11
Tabel 2.2	Karakteristik tipe media yang digunakan pada SFCW	12
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	35
Tabel 3.2	Hasil Perhitungan	37
Tabel 4.1	Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)	45
Tabel 4.2	Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)	47
Tabel 4.3	Rata-rata efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 1 hari	49
Tabel 4.4	Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)	51
Tabel 4.5	Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)	52
Tabel 4.6	Rata-rata efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 6 jam	53
Tabel 4.7	Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)	57
Tabel 4.8	Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)	58
Tabel 4.9	Rata-rata efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 1 hari	59
Tabel 4.10	Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)	62
Tabel 4.11	Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)	64
Tabel 4.12	Rata-rata efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 6 jam	64
Tabel 4.13	Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)	68
Tabel 4.14	Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)	69
Tabel 4.15	Rata-rata efisiensi penurunan LAS pada waktu tinggal 1 hari	69
Tabel 4.16	Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)	71
Tabel 4.17	Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)	73
Tabel 4.18	Rata-rata efisiensi penurunan LAS pada waktu tinggal 6 jam	73

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Hasil Laboratorium	L-1
Lampiran B	Analisa Laboratorium	L-7
Lampiran C	Hasil Analisa Media	L-12
Lampiran D	Foto-Foto Penelitian	L-16
Lampiran E	Analisa Statistik	L-18



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG

Limbah domestik yang berasal dari kegiatan rumah tangga (kegiatan pencucian, dapur dan mandi) disebut air bekas domestik atau *greywater*. Karakteristik air limbah domestik di Indonesia menurut Djajadiningrat (1992 dalam Yuanita, 2003) adalah TS 350-1200 mg/l, TDS 200-850 mg/l, TSS 100-350 mg/l, BOD 40-400 mg/l, COD 250-1000 mg/l, N-total 20-85 mg/l, P-total 4-15 mg/l, lemak 50-150 mg/l. Air limbah dengan kandungan organik tinggi yang dibuang ke badan air penerima akan mengambil oksigen terlarut dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi, akibatnya badan air penerima akan mengalami septik (anaerob). Umumnya limbah domestik di Indonesia tidak melalui proses pengolahan sebelum dibuang ke badan air.

Untuk alternatif pengolahan limbah domestik dari kegiatan mandi, pencucian, dan dapur (selanjutnya disebut air bekas domestik) dipakai *constructed wetland* (CW). Pemilihan CW didasarkan atas kemampuannya mengolah berbagai air limbah dengan efisien, mengurangi polutan seperti BOD, SS, patogen, nutrisi dan logam berat (Pastor *et al*, 2002). Teknologi CW merupakan teknologi dengan energi rendah, alternatif penurunan nutrisi dengan biaya rendah untuk limbah industri, perkotaan dan pertanian (Kadlec dan Knight, 1996 dalam Vymazal, 2002). Air limbah sebelum dialirkan ke CW perlu dilakukan pengolahan pendahuluan untuk mengendapkan partikel tersuspensi agar media tidak *clogging* dan tidak terjadi aliran permukaan pada aliran *subsurface* (Vymazal, 2002).



Tanaman air yang biasa dipakai adalah *cattail* (*Typha sp.*) karena *cattail* memiliki biomassa yang besar di bagian atas (daun) dan bagian bawah (sistem perakaran) permukaan tanah atau substrat. Jaringan tanaman *subsurface* tumbuh horisontal dan vertikal, sehingga menciptakan matriks yang ekstensif yang mengikat partikel tanah dan memiliki luas permukaan yang besar yang mampu mengambil nutrisi dan ion (Shutes, 2001). Selain *cattail*, kana (*Canna sp.*) juga dipakai mengolah limbah domestik (dari kegiatan KM dan WC), karena kana menurunkan TSS, MBAS 90% (Mayangriani, 2005); COD, BOD 90% (Kusuma, 2005).

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah air bekas domestik dengan sistem aliran *subsurface constructed wetland* secara kontinu agar konsentrasi COD, TS, dan deterjen (LAS) turun.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Air bekas domestik (limbah dari kegiatan mandi, cuci dan dapur) memiliki konsentrasi COD, TS, dan deterjen yang tinggi. Untuk itu air bekas domestik diolah dengan sistem *constructed wetland* aliran horisontal *subsurface* (SFCW) dengan memanfaatkan tanaman *cattail* (*Typha angustifolia*) dan kana (*Canna sp.*) agar konsentrasinya turun sehingga dapat dibuang ke badan air penerima. Seberapa besar kemampuan SFCW memakai tanaman *cattail* dan kana untuk menurunkan ketiga parameter dengan waktu tinggal 6 jam dan 1 hari.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian adalah:



Mengkaji kinerja *subsurface constructed wetland* aliran horisontal dengan media tanam *cattail* dan kana, bentuk geometris konstruksi *wetland* persegi panjang dan bujur sangkar dengan variasi waktu tinggal (1 hari dan 6 jam) dalam menurunkan COD, TS dan LAS air bekas domestik.

#### 1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian adalah:

1. Air bekas domestik dari kegiatan mandi, cuci dan dapur.
2. Media setebal 40 cm diisi kerikil (pada panjang reaktor 20 cm pertama dan terakhir) dan di tengahnya diisi pasir kasar diameter 2 mm.
3. Penelitian skala laboratorium menggunakan sistem *constructed wetland* aliran *subsurface* horisontal secara kontinyu.
4. Variasi perlakuan adalah:
  - a. Bentuk geometris reaktor: persegi panjang (1,0 m x 0,3 m x 0,5 m) dan bujur sangkar (0,55 m x 0,55 m x 0,5 m).
  - b. Jenis tanaman: "*cattail*"/andong (*Typha angustifolia*) dan kana (*Canna sp.*)
  - c. Waktu tinggal: 1 hari dan 6 jam.
5. Parameter yang dianalisis adalah COD, TS, dan LAS (Del Bubba *et al.*, 2000); Tangahu, 2001).



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG

Limbah domestik yang berasal dari kegiatan rumah tangga (kegiatan pencucian, dapur dan mandi) disebut air bekas domestik atau *greywater*. Karakteristik air limbah domestik di Indonesia menurut Djajadiningrat (1992 dalam Yuanita, 2003) adalah TS 350-1200 mg/l, TDS 200-850 mg/l, TSS 100-350 mg/l, BOD 40-400 mg/l, COD 250-1000 mg/l, N-total 20-85 mg/l, P-total 4-15 mg/l, lemak 50-150 mg/l. Air limbah dengan kandungan organik tinggi yang dibuang ke badan air penerima akan mengambil oksigen terlarut dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi, akibatnya badan air penerima akan mengalami septik (anaerob). Umumnya limbah domestik di Indonesia tidak melalui proses pengolahan sebelum dibuang ke badan air.

Untuk alternatif pengolahan limbah domestik dari kegiatan mandi, pencucian, dan dapur (selanjutnya disebut air bekas domestik) dipakai *constructed wetland* (CW). Pemilihan CW didasarkan atas kemampuannya mengolah berbagai air limbah dengan efisien, mengurangi polutan seperti BOD, SS, patogen, nutrisi dan logam berat (Pastor *et al*, 2002). Teknologi CW merupakan teknologi dengan energi rendah, alternatif penurunan nutrisi dengan biaya rendah untuk limbah industri, perkotaan dan pertanian (Kadlec dan Knight, 1996 dalam Vymazal, 2002). Air limbah sebelum dialirkan ke CW perlu dilakukan pengolahan pendahuluan untuk mengendapkan partikel tersuspensi agar media tidak *clogging* dan tidak terjadi aliran permukaan pada aliran *subsurface* (Vymazal, 2002).





Tanaman air yang biasa dipakai adalah *cattail* (*Typha sp.*) karena *cattail* memiliki biomassa yang besar di bagian atas (daun) dan bagian bawah (sistem perakaran) permukaan tanah atau substrat. Jaringan tanaman *subsurface* tumbuh horisontal dan vertikal, sehingga menciptakan matriks yang ekstensif yang mengikat partikel tanah dan memiliki luas permukaan yang besar yang mampu mengambil nutrisi dan ion (Shutes, 2001). Selain *cattail*, kanna (*Canna sp.*) juga dipakai mengolah limbah domestik (dari kegiatan KM dan WC), karena kanna menurunkan TSS, MBAS 90% (Mayangriani, 2005); COD, BOD 90% (Kusuma, 2005).

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah air bekas domestik dengan sistem aliran *subsurface constructed wetland* secara kontinu agar konsentrasi COD, TS, dan deterjen (LAS) turun.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Air bekas domestik (limbah dari kegiatan mandi, cuci dan dapur) memiliki konsentrasi COD, TS, dan deterjen yang tinggi. Untuk itu air bekas domestik diolah dengan sistem *constructed wetland* aliran horisontal *subsurface* (SFCW) dengan memanfaatkan tanaman *cattail* (*Typha angustifolia*) dan kanna (*Canna sp.*) agar konsentrasinya turun sehingga dapat dibuang ke badan air penerima. Seberapa besar kemampuan SFCW memakai tanaman *cattail* dan kanna untuk menurunkan ketiga parameter dengan waktu tinggal 6 jam dan 1 hari.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian adalah:



Mengkaji kinerja *subsurface constructed wetland* aliran horisontal dengan media tanam *cattail* dan kana, bentuk geometris konstruksi *wetland* persegi panjang dan bujur sangkar dengan variasi waktu tinggal (1 hari dan 6 jam) dalam menurunkan COD, TS dan LAS air bekas domestik.

#### 1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian adalah:

1. Air bekas domestik dari kegiatan mandi, cuci dan dapur.
2. Media setebal 40 cm diisi kerikil (pada panjang reaktor 20 cm pertama dan terakhir) dan di tengahnya diisi pasir kasar diameter 2 mm.
3. Penelitian skala laboratorium menggunakan sistem *constructed wetland* aliran *subsurface* horisontal secara kontinyu.
4. Variasi perlakuan adalah:
  - a. Bentuk geometris reaktor: persegi panjang (1,0 m x 0,3 m x 0,5 m) dan bujur sangkar (0,55 m x 0,55 m x 0,5 m).
  - b. Jenis tanaman: "*cattail*"/andong (*Typha angustifolia*) dan kana (*Canna sp.*)
  - c. Waktu tinggal: 1 hari dan 6 jam.
5. Parameter yang dianalisis adalah COD, TS, dan LAS (Del Bubba *et al.*, 2000); Tangahu, 2001).



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN TANAMAN AIR

Kadlec dan Knight (1996 dalam Shutes, 2001) telah menguji secara ilmiah kemampuan tanaman air (mikrofit) untuk membantu menguraikan limbah dari buangan manusia dan hewan menjadi air limbah, menghilangkan mikroorganisme patogen dan bahan pencemar. Pemilihan tanaman untuk CW dipertimbangkan dengan alasan (Campbell dan Ogden, 1999):

- Pada dasarnya jenis tanaman tersebut timbul (*emergent species*) yang dapat bertahan pada kedalaman air 6-24 inci (15-61 cm) dan dapat dipakai untuk *wetland* aliran permukaan maupun aliran *subsurface*.
- Tanaman tersebut memiliki perakaran yang menyebar secara lateral/horizontal dan vertikal, karena makin dalam akar masuk, kontak dengan mikroorganisme makin besar dan meningkatkan oksigen pada zona akar yang anaerob.
- Tanaman tersebut berkembangbiak dengan cepat.
- Tanaman tersebut sesuai dengan keadaan setempat.

Banyak tanaman air yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut, tetapi yang paling efektif adalah *common reed* (*Phragmites australis*) dan *reedmace* (*Typha latifolia*). Kedua tanaman ini memiliki biomassa yang besar yaitu bagian atas (daun) dan bagian bawah (sistem perakaran) permukaan tanah atau substrat. Jaringan tanaman *subsurface* tumbuh secara horizontal dan vertikal, sehingga menciptakan matriks yang ekstensif yang mampu mengikat partikel tanah dan memiliki luas permukaan yang besar yang mampu mengambil nutrisi dan ion



(Shutes, 2001). Namun Tanner (2000) menyatakan bahwa kesetimbangan massa pada *wetland* media kerikil aliran horisontal *subsurface* antara yang ditanami dengan yang tidak ditanami menunjukkan *wetland* yang ditanami meningkatkan penurunan konsentrasi nitrogen dan fosfor, membantu desinfeksi, namun tidak ada perbedaan untuk penurunan konsentrasi BOD dan SS. Ayaz dan Akça (2000) menyatakan juga tidak ada perbedaan yang tajam saat pengamatan efisiensi penurunan konsentrasi COD, TOC, SS, nitrogen dan fosfor antara reaktor yang ditanami dengan reaktor tanpa tanaman pada media kerikil diameter 0-30 mm.

## 2.2 CONSTRUCTED WETLAND

*Wetland* didefinisikan sebagai suatu lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dijadikan komunitas hewan (Cowardin *et al*, 1979 dalam Mukhlis, 2003). *Wetland* alami maupun buatan (CW) berisi bermacam tumbuhan dan bakteri yang sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi polutan meliputi dekomposisi dan immobilisasi bahan yang toksik (Novotny dan Olem, 1994). *Constructed wetland* merupakan *wetland* buatan yang dikelola dan dikontrol oleh manusia dengan salah satu tujuan yaitu sebagai pengolahan limbah.

Keuntungan pengolahan dengan sistem *wetland* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, tidak perlu tenaga ahli, mengolah air limbah domestik dan industri dengan kualitas efluen baik, serta sistem manajemen dan kontrol mudah. Sistem CW dikonstruksi seperti aslinya, yang diisi dengan batuan, tanah, dan zat organik untuk mendukung tanaman rawa.



Proses yang terjadi selama removal polutan pada *wetland* terdiri atas (1) proses fisik (sedimentasi, dan filtrasi); (2) proses fisik-kimia (adsorpsi polutan pada tanaman dan tanah dan substrat organik); (3) proses biokimia, meliputi (a) degradasi biokimia aerobik bahan organik dalam air oleh bakteri, melekat pada tanaman, batang, bagian atas sedimen, dan zona aerobik dekat akar dan rhizoma tanaman; (b) nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi yang terdapat di batang, bagian atas sedimen humus, akar dan rhizoma tanaman; (c) denitrifikasi oleh bakteri pada air kondisi anaerob dan sedimen; (d) dekomposisi anaerobik bahan organik dalam sedimen dan air pada kondisi anaerob; (e) pengambilan nutrien dan polutan oleh tanaman untuk membentuk biomassa tanaman (Novotny dan Olem, 1994)

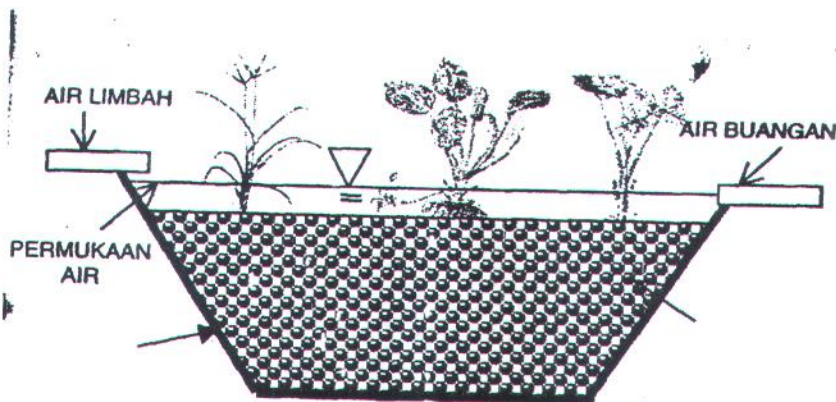
Keunggulan sistem *constructed wetland* dibandingkan fasilitas pengolahan air berteknologi konvensional adalah biaya pembangunan dan operasi relatif lebih murah; mudah pengoperasian dan perawatannya; menyediakan fasilitas pengolahan air limbah yang efektif dan handal; toleran terhadap tingkat konsentrasi polutan akibat fluktuasi hidrologis dan kuantitas polutan; menghilangkan senyawa beracun; polutan didaurulang menjadi biomassa yang bernilai ekonomis; menguntungkan secara tak langsung bagi lingkungan (Khatuddin, 2003). Sistem ini juga memiliki kelemahan yaitu kebutuhan areal tanah luas agar didapat air yang relatif bersih; kriteria desain dan operasi masih belum jelas; kompleksitas biologis dan hidrologis; kemungkinan berjangkitnya penyakit akibat mikroba patogen / vektor penyakit berkembang di lingkungan air; dan transfer polutan ke biomassa yang dikonsumsi manusia (Khatuddin, 2003).



Jenis sistem *wetland* ada 2 yaitu sistem *Free Water Surface* (FWS) dan sistem *Subsurface Flow* (SSF) (Novotny dan Olem, 1994).

### 1. *Free Water Surface System* (FWS)

FWS adalah kolam / saluran dengan lapisan dasar impermiabel alami atau buatan untuk mencegah air merembes keluar kolam. Kolam buatan sebagai tempat hidup *emergent plant* ini berkedalaman air 0,1-0,6 m. Air limbah mengalir perlahan melalui permukaan tanah. Mekanisme pengolahan air limbah terjadi saat air limbah melewati akar tanaman untuk selanjutnya air limbah diserap oleh akar. Pengolahan limbah juga terjadi melalui proses fisik dan kimia (Gambar 2.1).



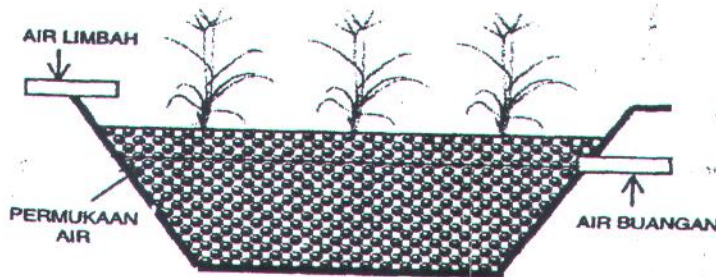
Gambar 2.1 *Free Water Surface Wetland System* (Khatuddin, 2003)

### 2. *Sub-surface Flow System* (SSF)

Mekanisme pengolahan air limbah pada sistem ini terjadi akibat pengaliran melalui tanaman yang ditanam pada media berpori. Media yang dipakai tanah, pasir dan kerikil. Tanaman melalui akar dan rizhoma mentransfer oksigen ke dalam media *subsurface* dan menciptakan kondisi aerobik. Proses pengolahan air limbah terjadi melalui proses filtrasi, sedimentasi, absorpsi oleh



mikroorganisme dan adsorpsi polutan oleh tanah. Faktor pembatas penurunan konsentrasi bahan organik pada sistem SSF adalah waktu tinggal dan transfer  $O_2$  (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Lihat Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** *Sub-surface Flow Wetlands System* (Khiatuddin, 2003)

Kedua sistem di atas merupakan reaktor biologis *attached growth* dan berfungsi seperti *trickling filter* dan *biological contactors*. Kemampuan sistem sangat dipengaruhi oleh waktu tinggal air limbah dalam reaktor serta beban limbah yang masuk, kondisi biota dan ketersediaan oksigen dalam sistem.

*Constructed wetland* ada 2 macam berdasarkan tipe pengalirannya yaitu :

a. Aliran horisontal

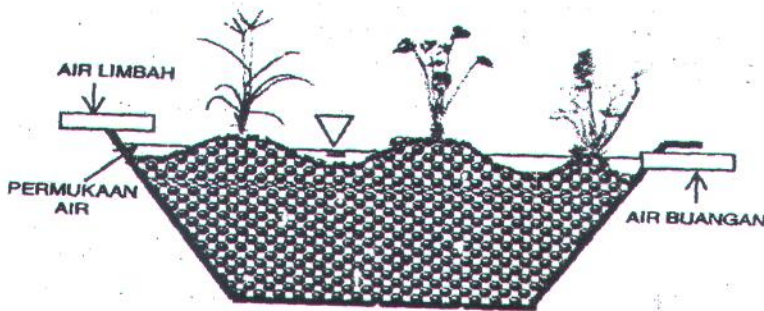
Dalam sistem aliran horisontal air memasuki rawa dari satu titik, kemudian mengalir dalam rawa buatan dan keluar di ujung rawa.

*Horizontal constructed wetland* ada 4 bentuk yaitu (Khiatuddin, 2003) :

- *Constructed wetlands* yang airnya mengalir di atas permukaan media (*Free Water Surface*)
- *Constructed wetland* yang airnya melewati substrat tempat tumbuh tanaman (*Subsurface Flow*). Air limbah mengalir secara horisontal sehingga pada kondisi ideal tidak terdapat air pada permukaan media.

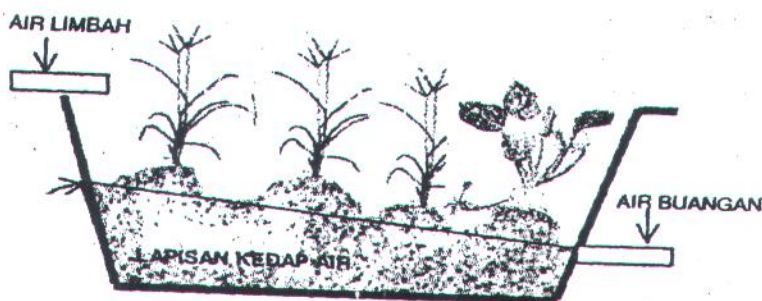
Tipe ini memerlukan slope di bagian dasar kolam ( 1-5 %).

- *Constructed wetland* kombinasi pertama dan kedua (Gambar 2.3).



**Gambar 2.3** *Constructed Wetland* Aliran Atas dan Bawah Tanah  
(Khiatuddin, 2003)

- *Constructed wetland* hidroponik aliran tipis yang menggunakan substrat tanah / pasir. Air limbah dialirkan tipis dan permanen di atas permukaan yang agak miring, keras dan kedap air. Massa akar tanaman akuatik tumbuh dan berkembang di atas permukaan alas yang basah tanpa menembusnya (Gambar 2.4).



**Gambar 2.4** *Constructed Wetland* Hidroponik Aliran Tipis  
(Khiatuddin, 2003)

b. Aliran vertikal

Pada tipe ini air limbah mengalir secara vertikal baik dari atas ke bawah atau sebaliknya, melewati media untuk keluar dari sistem. Dengan aliran

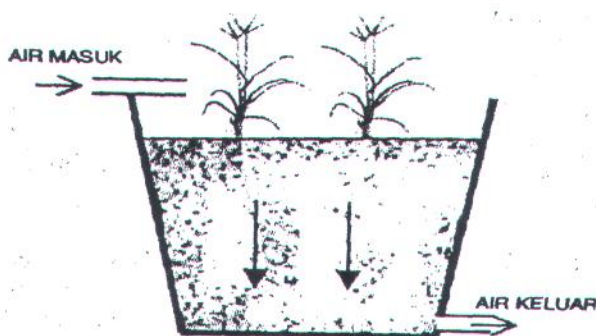




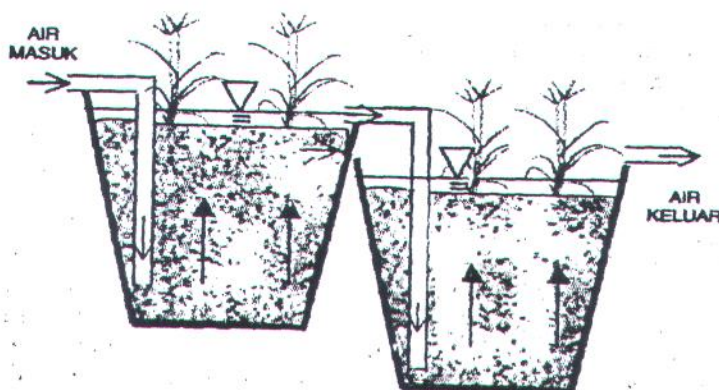
vertikal, air limbah akan tersaring oleh media. Sistem penyaluran air limbah (outlet) berada di bagian bawah kolam.

Sistem ini ada dua bentuk yaitu (Khatuddin, 2003):

- Aliran vertikal menurun (*downflow*), dimana air limbah dialirkan dari permukaan sistem kemudian merembes melalui media dan keluar melalui outlet di bagian bawah kolam (Gambar 2.5).
- Aliran vertikal ke atas (*upflow*) dimana air limbah disalurkan melalui pipa di dasar sistem dan naik perlahan melalui substrat lalu keluar melalui pipa outlet di bagian atas reaktor (Gambar 2.6).



Gambar 2.5. *Constructed Wetland* Aliran Vertikal Menurun (Khatuddin, 2003)



Gambar 2.6. *Constructed Wetland* Aliran Vertikal ke Atas (Khatuddin, 2003)



Desain CW meliputi aliran permukaan horisontal dan *subsurface* horisontal, aliran vertikal dan *floating raft system*. *Wetland* aliran *subsurface* mirip dengan rawa alami yang mengisi saluran dangkal dan kolam dengan kecepatan aliran air rendah pada permukaan *wetland* dan mengandung substrat. Kolam tersebut umumnya terisi dengan kombinasi kerikil, tanah liat atau tanah gambut, pecahan batu, dan ditanami makrofita (Shutes, 2001). Kriteria desain sistem *wetland* tampak pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Kriteria desain untuk sistem *wetland***

Parameter desain	Unit	SFS
Waktu tinggal hidrolis	hari	3 – 4 (BOD) <sup>a</sup> 6-10 (N) <sup>a</sup> 4-15 <sup>b</sup>
<i>BOD loading rate maximal</i>	mg/m <sup>2</sup> .hari	< 11220 <sup>a</sup> < 6725,4 <sup>b</sup>
Kedalaman air	meter	0.3 - 0.75 <sup>a</sup> 0,45-0,75 <sup>b</sup>
<i>Hydraulic loading rate</i>	m/hari	0,014 - 0,047 <sup>a</sup>

Sumber: <sup>a</sup> Crites & Tchobanoglous, 1998; <sup>b</sup> Metcalf & Eddy, 1991

Sistem CW aliran horisontal *subsurface* juga dipakai untuk mengolah air bekas dari RS. Dhulikhel, Nepal dengan waktu tinggal 6,3 jam jika debit konstan dan 5,6 jam jika debit tidak konstan didapatkan rata-rata penurunan konsentrasi BOD 96%, COD 84%, TSS 93%, PO<sub>4</sub> 54% (Poh, 2003).

Tipe media yang dapat digunakan pada *subsurface constructed wetland* ditampilkan dalam Tabel 2.2. Jika kandungan pasir melebihi 70% dan porositas kurang dari 40%, maka ukuran porinya besar dan daya hantar air limbah menjadi lebih cepat. Kerikil dipakai di bagian inlet dari sistem SFCW untuk menyeragamkan distribusi aliran, namun jika dipasang pada bagian outlet



menyebabkan padatan terbawa ke efluen karena ukuran porinya besar (Campbell dan Ogden, 1999). Efisiensi penurunan pathogen di atas 90%, bahan organik dan SS 80%, dan nutrisi kurang dari 60% (Shutes, 2001).

**Tabel 2.2 Karakteristik tipe media yang digunakan pada SFCW**

Tipe media	maks 10% ukuran agregat, mm	Porositas	Konduktivitas hidrolik (ks), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari	K <sub>20</sub>
Pasir medium	1	0.42	421	1.84
Pasir kasar	2	0.39	480	1.35
Pasir kerikil	8	0.35	500	0.86

Sumber: Metcalf & Eddy, 1991

SFCW didesain dengan persamaan (Campbell dan Ogden, 1999)

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \times d \times n}$$

A<sub>s</sub> = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

C<sub>o</sub> = konsentrasi BOD influen (mg/l)

C<sub>e</sub> = konsentrasi BOD efluen (mg/l)

K<sub>t</sub> = konstanta laju reaksi tergantung pada suhu (hari<sup>-1</sup>)

d = ketebalan media pasir (m)

n = porositas media pasir

Selanjutnya untuk menentukan K<sub>t</sub> untuk SFCW dipakai persamaan

$$K_t = 1,104 \times (1,06)^{(T - 20)}$$

T = suhu air (°C)

Pada awalnya desain *wetland* cenderung panjang dan sempit. Namun saat pengolahan air limbah timbul masalah seperti timbul bau akibat keluarnya padatan organik di bagian inlet FSCW, dan terjadi aliran naik ke permukaan akibat media



kerikil tersumbat di bagian outlet SFCW. Desain *wetland* dengan lebar lebih besar dibandingkan panjang mampu mengatasi padatan beberapa kali lebih baik dibandingkan desain awal *wetland* (Campbell dan Ogden, 1999), dapat mendistribusikan air limbah secara merata sesuai profil lebar dan menghindari terjadinya penyumbatan pada zona inlet (Vymazal, 2002).

### 2.3 TANAMAN AIR

Tanaman air terdiri atas tanaman air mengapung (*floating*), tanaman yang mencuat ke atas permukaan air (*emergent*) dan tenggelam (*submerged*). Tanaman air jenis mengapung misalnya eceng gondok, *lemna*, *duckweed*, kangkung, kayu apu. Sedangkan contoh jenis *emergent* adalah *cattail*, *bulrush*, dan lainnya. Tanaman air jenis tenggelam misalnya hidrila, *coontail*. Jenis ketiga tanaman air ini mudah terpengaruh oleh keberadaan plankton/alga di permukaan air dan turbiditas, karena menghalangi penetrasi sinar matahari dan transfer oksigen ke dalam air. Oleh karena itu tanaman air ini tidak dapat dipakai untuk mengolah air (Polprasert, 1989).

Faktor pendukung pertumbuhan tanaman air yaitu suhu yang sesuai, cahaya matahari, nutrien dan substrat dalam air, pH air, gas-gas terlarut dalam air, salinitas air, bahan kimia beracun dalam air, substrat dan turbulensi, arus air pada sungai dan danau, serta bentuk morfologi badan air (Polprasert, 1989).

#### 2.3.1 *Cattail (Typha angustifolia)*

*Cattail* merupakan tanaman famili *Typhaceae* yang memiliki warna daun hijau dengan rhizoma yang kuat dan tinggi batang mencapai 300 cm. Daunnya datar, seperti pita dan muncul dekat permukaan tanah. Bentuk putiknya seperti



cerutu dan berwarna coklat. *Cattail* diketahui ada sekitar 10 spesies (Riemer, 1993). Tanaman *cattail* mempunyai klasifikasi yaitu kelas *Monocotyledoneae*, famili *Typhaceae*, genus *Typha*, spesies *Typha angustifolia* (Mukhlis, 2003).

*Cattail* mempunyai daun sempit, bangun garis atau pita memanjang, agak tebal seperti spon, biasanya tersusun dalam 2 baris atau merupakan rozet akar. Bunga berkelamin tunggal, dalam jumlah besar, tersusun rapat dalam tongkol yang berbentuk silinder dengan bunga jantan di bagian atas dan bunga betina di bagian bawah (Gambar 2.7). Buahnya kering, akhirnya membuka dengan membelah membujur. Biji dengan kulit biji yang bergaris-garis membujur, endosperma bertepung, lembaga sempit, hampir sepanjang bijinya. Biasanya jenis ini tersebar di daerah-daerah beriklim panas dan sedang (Tjitrosoepomo, 2000).



**Gambar 2.7** *Cattail, Typha angustifolia* ([www.ct-botanical-society.org-galle](http://www.ct-botanical-society.org-galle))

*Cattail* merupakan jenis tanaman berbuluh yang mempunyai daerah sebaran luas dan dapat berkembang biak serta berpencair dengan cepat dengan batang yang menjalar dan mengakar di lumpur. Panjang akar *cattail* 0,15-0,3 m (Metcalf dan Eddy, 1991). Keberadaan *cattail* berfungsi sebagai filter mekanis dan mempunyai struktur tanaman yang mendukung bagi kehidupan bakteri.



Sedangkan alga tidak dapat hidup dalam lingkungan *cattail* yang padat (Polprasert, 1989). Habitat *cattail* di lingkungan dengan pH 4-10 dengan suhu 10-30° C (Novotny dan Olem, 1994).

Tanaman *cattail* dipakai untuk menyerap bahan pencemar nitrogen dan fosfor dari perairan (Brix, 1994 dalam Khiatuddin, 2003). Watson *et al* (1989 dalam Khiatuddin, 2003) mencatat efisiensi penurunan polutan oleh *cattail* dengan sistem *free surface wetland* adalah BOD 57%, SS 75%, TN 26%, P 12% dan E.Coli 87%. Laju pelepasan oksigen oleh *cattail* (*Typha latifolia*) pada 10 mm dari akar utama di atas 0 g/m<sup>2</sup>.menit, pada 35 mm dari akar utama 0,55.10<sup>-4</sup> g/m<sup>2</sup>.menit dan 65 mm dari akar utama 0 g/m<sup>2</sup>.menit (Brix dan Schierup, 1990).

### 2.3.2 Kana (*Canna sp.*)

Suku *Cannaceae* merupakan terna besar-besar, perenial, hidup dalam tanah dan memiliki rimpang yang tebal seperti umbi. Daun pada batang di atas tanah, besar, lebar, bertulang menyirip dengan ibu tulang yang nyata, tangkai daun pada pangkal melebar menjadi upih, lidah-lidah tidak terdapat. Bunga panci, zimogorf atau lebih sering asimetrik, besar dengan warna cerah dan menarik, tersusun dalam rangkaian berbentuk tandan. Hiasan bunga terdiri atas kelopak dan mahkota, masing-masing berbilangan 3, daun-daun kelopak bebas tersusun seperti genting, daun-daun. Mahkota berlekatan pada pangkalnya. Benang sari 1-5, kecuali 1 semuanya steril dan berubah menjadi bagian bunga yang paling menarik, berwarna cerah lebar, seperti daun mahkota. Benang sari yang tertil juga masih pipih seperti daun mahkota tetapi mendukung 1 kepala sari yang beruang 1 pada salah satu di bagian atasnya. Bakal buah tenggelam, beruang 3, tiap rungan



berisi banyak bakal biji yang tersusun dalam 2 baris. Tangkai putik tebal menyerupai daun dengan kepala putik yang miring. Buah dengan kelopak yang tidak gugur di bagian atasnya, berupa buah kendaga yang membuka dengan rusaknya dinding yang kemudian menjadi kasap berbenjol-benjol. Biji banyak, bulat, endosperma keras, lembaga kecil (Gambar 2.8).



**Gambar 2.8 Kana, *Canna* sp. (Rukmana, 1997)**

Kana dalam taksonomi tumbuhan masuk dalam divisi *Spermatophyta*, sub-divisi *Angiospermae*, kelas *Monocotyledonae*, famili *Cannaceae*, spesies *Canna coccinea* Mill. Nama daerah tanaman kana antara lain lili kana, kembang tasbih, panah India, ganyong hutan, puspa mjindra, ganyong wono, ganyong alas dan ganyong lenweung (Rukmana, 1997). Suku *cannaceae* merupakan suatu suku yang terdiri atas 1 marga yaitu *Canna* yang meliputi 50 jenis. Contoh: *C. edulis* (ganyong), rimpangnya dapat dimakan, penghasil tepung dikenal sebagai *arrowroot of Queensland*, *C. indica* (bunga tasbih), merupakan tanaman hias (Tjitrosoepomo, 2000). Kana toleran terhadap berbagai jenis tanah, seperti tanah andosol, latosol, podsolik merah kuning (PMK), alluvial dan grumosol, serta kedalaman air tanah dangkal (50-100 cm) dan pH tanah 5,0-7,5 (Rukmana, 1997).



Penelitian sebelumnya menyatakan kana mampu menurunkan limbah domestik dengan efisiensi TSS, MBAS 90% Mayangriani (2005), serta COD, BOD 90% (Kusuma, 2005). Ayaz dan Akça (2000) menyatakan kana memiliki removal yang tinggi pada fosfor (60-75%) dan nitrogen (85%).

#### **2.4 MEKANISME PENYERAPAN NUTRIEN OLEH TANAMAN AIR**

Perpindahan nutrien terjadi karena adanya penyerapan oleh akar tanaman. Penyerapan nutrien melibatkan beberapa proses yaitu pergerakan ion dari dalam tanah menuju ke permukaan akar tanaman; penimbunan ion dalam sel akar; pergerakan ion secara radial dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu; dan pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun. Pengambilan nutrien oleh tanaman dilakukan oleh akar, daun dan batang. CO<sub>2</sub>, misalnya masuk melalui daun, yang kemudian menjadi sumber utama karbon. Sebelum nutrien dapat diabsorpsi oleh tanaman, unsur tersebut terdapat pada permukaan akar. Pergerakan nutrien ke permukaan akar dalam Hakim (1986) terjadi melalui intersepsi nutrien oleh akar (pertukaran langsung nutrien dengan akar); aliran massa (pergerakan ion terlarut bersama air ke arah tanaman akibat transpirasi); dan difusi (perpindahan nutrien ke dalam akar akibat beda konsentrasi di sekitar akar).

Proses masuknya air dan mineral ke dalam tanaman melalui rhizoma (rambut akar). Perpanjangan sel-sel epidermis ini berdinding lengket dan melekat kuat pada partikel tanah. Hal ini menjadikan rhizoma bersentuhan langsung dengan film air yang juga melekat kuat pada partikel tanah. Sedangkan masuknya mineral (unsur anorganik) terjadi dengan ada air yang diserap akar maupun tanpa





mineral masuk secara difusi akibat beda konsentrasi yaitu dari konsentrasi rendah (tanah) ke konsentrasi tinggi (sel-sel akar). Air dan mineral tersebut akan diangkut hingga ke daun. Selanjutnya air dipakai untuk fotosintesis dan evapotranspirasi (Kimball, 1983).

Penyerapan nutrisi oleh tanaman dipakai untuk fotosintesis yang menghasilkan gula yang disimpan dalam akar. Gula merupakan cadangan makanan bagi tanaman. Pertumbuhan tanaman adalah perubahan irreversibel pada ukuran sel, organ atau seluruh organisme. Pertumbuhan dapat berupa penambahan jumlah sel tanpa perubahan volume dan berat. Pertumbuhan terjadi pada sel-sel yang hidup yang terlibat proses metabolisme untuk mensintesa protein, asam nukleat, lipida (lemak) dan karbohidrat pada penyediaan energi (pada fotosintesis dan respirasi). Perkembangan tanaman dimulai dari biji, berkecambah, pematangan (dewasa), berbunga dan berbuah. Pertumbuhan tanaman dipengaruhi faktor dalam (hormon, genetika, dan lainnya) dan luar (cahaya, suhu, air, gas-gas, dan lainnya). Pertumbuhan dapat terukur melalui perubahan ukuran daun, tinggi, berat dan volume tanaman, adanya tunas baru, pertumbuhan akar dan batang. Jika tanaman dapat tumbuh dan berkembang hingga memiliki tunas-tunas baru, maka tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan dimana tanaman hidup.

## 2.5 AIR BEKAS DOMESTIK

Air limbah domestik dibedakan atas air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga ditambah dari kegiatan kakus atau disebut *black water*, dan air bekas (*grey water*) merupakan air limbah dari kegiatan pencucian, mandi, dapur, kecuali kakus. Karakteristik air limbah secara umum terdiri atas 3 yaitu fisik,



kimiawi dan biologis (Metcalf & Eddy, 1991). Karakteristik fisik meliputi *total solid* (TS), bau, suhu, densitas, warna, turbiditas / kekeruhan dan konduktifitas. Sedangkan karakteristik kimiawi meliputi bahan organik (protein; karbohidrat; lemak dan minyak; surfaktan/deterjen; VOC, senyawa organik volatile; pestisida; dan lainnya); bahan anorganik (alkalinitas; klorida; logam berat; nitrogen; pH; fosfor; belerang); dan gas ( $H_2S$ ;  $CH_4$ ;  $O_2$ ). Untuk karakteristik biologis meliputi tumbuhan; hewan dan protista (eubakter; archaeobacteria; dan virus); toksisitas (Crites and Tchobanoglous, 1998).

## 2.6 TOTAL SOLID (TS)

Karakteristik fisik yang terpenting dalam air limbah adalah kandungan *total solid* (TS), yang meliputi materi yang terapung (*floating*), dapat mengendap (*settleable*), koloid, dan materi dalam larutan (*dissolved*). Secara analitis kandungan TS air limbah didefinisikan sebagai semua materi yang tertinggal sebagai residu setelah penguapan pada suhu  $103 - 105^\circ C$ .

Penghilangan padatan pada sistem *wetland* terjadi jika waktu tinggal hidrolis lama, sehingga mampu menghilangkan semua padatan yang mengendap dan terapung yang terdapat dalam air limbah. Padatan koloid dihilangkan melalui pertumbuhan bakteri atau tumbukan (akibat gaya inersia dan Brown) yang kemudian diadsorpsi oleh lainnya (tanaman, media dan padatan tersuspensi) (Stowell, 1988 dalam Wood, 1990). Mekanisme penghilangan padatan dalam *wetland* terjadi secara fisik, kimiawi dan biologi. Penghilangan padatan secara fisik meliputi sedimentasi untuk padatan yang dapat mengendap, padatan koloid; filtrasi untuk padatan yang dapat mengendap; dan adsorpsi untuk padatan koloid.



Penghilangan padatan secara kimiawi berupa presipitasi yaitu pembentukan partikel padat tak terlarut. Sedangkan secara biologi adalah metabolisme oleh mikroorganisme dan tanaman. (Stowell *et al*, 1980 dalam Khiatuddin, 2003).

## 2.7 CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)

Pengujian COD dipakai untuk mengukur kandungan bahan organik pada air limbah dan air bersih (Metcalf & Eddy, 1991). Oksigen ekivalen dengan bahan organik yang dapat dioksidasi yang diukur dengan memakai agen kimia yang kuat mengoksidasi dalam media suasana asam. Selama pengujian COD, bahan organik dikonversikan menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Sawyer, 1993). Salah satu kelemahan pengujian COD adalah tidak mampu membedakan antara oksidasi secara biologis dengan bahan organik inert secara biologis.

Penghilangan bahan organik pada sistem *wetland* terjadi secara fisik berupa sedimentasi; kimia berupa adsorpsi oleh permukaan media atau tanaman; dan penguraian bahan organik yang sukar terurai oleh oksidasi dan reduksi. Penghilangan bahan organik secara biologi berupa metabolisme mikroba dan tanaman, adsorpsi oleh tanaman (Stowell, 1980 dalam Khiatuddin, 2003). Laju penghilangan bahan organik tergantung pada sifat mudah/tidaknya bahan organik untuk terurai secara biologis, suhu, konsentrasi oksigen, pH, ketersediaan nutrisi, konsentrasi substrat dan adanya bahan beracun (Goldshalk, 1978, Wuhrman, 1972 dalam Wood, 1990).

## 2.8 DETERJEN

Surfaktan merupakan senyawa sintesis organik yang menyebabkan turunnya tegangan permukaan zat cair, utamanya air, sehingga menyebabkan



terjadinya pembentukan gelembung dan pengaruh permukaan lainnya yang memungkinkan zat ini untuk berfungsi sebagai zat pembersih. Sabun adalah suatu surfaktan yang telah dibuat dan dipakai sejak lama. Sabun memiliki kekurangan yaitu bereaksi dengan air sadah menyebabkan hilangnya keaktifan surfaktan. Untuk mengatasinya dibuatlah surfaktan sintetis yang dikenal dengan deterjen. Deterjen terdiri atas surfaktan dengan berbagai tambahan bahan lain untuk membantu proses pembersihan seperti *builder*, parfum, pemutih dan sebagainya (Connell dan Miller, 1995), *builder* diantaranya pengembang serabut, zat peningkat *surface activity*, inhibitor, fluorescent, pemutih serta parfum. Perbedaan komposisi terletak pada jenis surfaktan yang digunakan dan zat *additives* yang ditambahkan. Sebagian besar deterjen di pasaran mengandung 20-30 % surfaktan dan 70-80 % *builder* (Sawyer, 1993).

Keberadaan surfaktan dalam deterjen memberikan deterjen kemampuan menurunkan tegangan permukaan air, meningkatkan kemampuan pembasah serta dapat melarutkan lemak dan minyak, mengurangi daya apung padatan dan menyebabkan timbulnya busa juga membunuh bakteri (Fair *et al*, 1968).

Deterjen memberikan efek negatif jika konsentrasi dalam air melebihi 3 mg/l. Efek negatif dari deterjen adalah membentuk buih yang stabil, lapisan film yang menurunkan tingkat transfer oksigen ke dalam air, timbul rasa sabun pada air, adanya kombinasi antara polifosfat dengan surfaktan dalam deterjen akan meningkatkan kadar fosfat dalam air, membunuh mikroorganisme dan biota air (Degremont, 1991).



Surfaktan sintesis (deterjen) memiliki berbagai macam struktur kimiawi yang terbagi atas 3 kelompok utama yaitu anionik, kationik dan nonionik. Perbedaan tersebut didasarkan atas sifat gugusan polar yang memberikan sifat khas pada surfaktan. Sifat surfaktan bergantung pada suatu molekul yang memiliki sifat lipofilik dan hidrofilik.

Berdasarkan ionisasi molekulnya deterjen terbagi atas (Sawyer, 1993) :

- a. Deterjen anionik yaitu deterjen yang terbentuk dari garam Na. Jika terionisasi gugus aktif, deterjen ini bermuatan negatif. Gugus aktif yang dipakai sulfat dan sulfonat. Deterjen anionik berasal dari alkohol rantai panjang, biasanya dipakai lauril alkohol, ditambah  $H_2SO_4$  untuk membentuk ester anorganik, selanjutnya dinetralkan dengan NaOH. Gugus Na berfungsi sebagai ion yang membantu mempertinggi sifat surfaktan. Selain NaOH dipakai Na-fosfat, Na-silikat, Na-tripolifosfat dan Na-pirofosfat untuk mempertinggi sifat surfaktan.



Lauril alkohol



Sedangkan deterjen dengan gugus aktif sulfonat merupakan turunan dari senyawa ester, amida dan alkil benzen. Deterjen dari gugus ester atau amida adalah unsur yang mudah dihidrolisis, sedangkan produk dari proses hidrolisis merupakan bahan makanan atau dapat dipakai oleh bakteri sebagai sumber energi (Degremont, 1991). Deterjen anionik merupakan deterjen yang paling banyak dipakai.



- b. Deterjen kationik yaitu deterjen yang terbentuk dari garam amonium hidroksida kuarterner di mana seluruh atom H dari amonium diganti dengan gugus alkil. Pada saat terionisasi gugus aktif akan bermuatan positif (gugus kation). Deterjen kationik digunakan secara luas pada larutan bersifat asam dan sifat pelarutan tanpa air misalnya *softener*, pewarnaan kain dan zat pengemulsi, juga dapat berfungsi sebagai bahan disinfektan.
- c. Deterjen non ionik, deterjen ini tidak mengalami ionisasi dalam air dan surfaktannya tergantung pada gugus yang terikat pada molekul yang larut dalam air. Deterjen non ionik diturunkan dari polimer etilen oksida dan biasanya bersifat resistan terhadap biodegradasi. Proses pembuatan deterjen ini lebih mahal daripada deterjen anionik.

LAS (*Linier Alkybenzene Sulphonate*) adalah surfaktan yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Anionik detergen rantai lurus (LAS) dapat didegradasi dalam kondisi aerobik, dan resisten terhadap biodegradasi dalam kondisi anaerobik (Sawyer, 1993). Susilowati dan Daluningtyas (2003 dalam Mayangriani, 2005) menyatakan LAS dapat terurai 85-95 % dalam beberapa hari. LAS cepat didegradasi oleh bakteri, tetapi bersifat toksik terhadap organisme akuatik (Kimerle dan Swisher, 1977). Kuchler dan Schnaak (1997) menyatakan LAS cepat terbiodegradasi dalam kondisi aerobik dan waktu paruh LAS antara 3-7 hari.

ABS (*Alkyl Benzene Sulphonate*) merupakan surfaktan yang sering dipakai sebelum ditemukan LAS. ABS berdaya bersih sangat baik dan murah. Namun,



ABS merupakan surfaktan yang sangat sulit dibiodegradasi oleh mikroorganisme, maka mulailah timbul permasalahan yang diakibatkan oleh pemakaian ABS. Peningkatan kadar detergen dalam air menurunkan jumlah oksigen terlarut, yang pada akhirnya akan tercipta kondisi anaerobik. Kemudian ditemukanlah LAS, yang saat ini sering dipakai sebagai deterjen.

Kadar detergen dalam air limbah dinyatakan dalam satuan mg/l MBAS. Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) merupakan metode yang memperkirakan kadar surfaktan anionik dalam air. MBAS menimbulkan terjadinya transfer metilen biru, sebuah pewarna kationik, dari suatu larutan ke dalam sebuah larutan organik, karena adanya pembentukan pasangan ion antara anion MBAS dan kation metilen biru. Intensitas dari warna biru yang dihasilkan diukur sebagai nilai MBAS. Surfaktan anionik seperti tipe sulfonat dan sulfat ester merupakan yang paling responsif dalam metode MBAS. Sedangkan LAS yang paling banyak dipakai sebagai surfaktan anionik digunakan dalam standarisasi metode MBAS.

LAS dalam perairan dapat didegradasi secara aerobik oleh mikroorganisme, dan LAS tidak memberikan efek (NOEC) pada mikroorganisme dengan konsentrasi 30 mg/l (Larson dan Maki, 1982). Penghilangan LAS oleh bakteri dipengaruhi oleh suhu, sedangkan adsorpsi oleh sedimen tidak dipengaruhi suhu (Inaba, 1992). Penurunan konsentrasi LAS juga melalui biodegradasi yang diakibatkan mineralisasi selama waktu tinggal yang lama. LAS yang tidak dapat didegradasi lagi (*nondegradable*) meninggalkan sistem melalui adsorpsi oleh media dan dibiodegradasi lebih lanjut secara aerobik (Moreno *et al*, 1994).



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 UMUM

Penelitian bertujuan untuk mengetahui penurunan bahan organik (COD), kadar deterjen (LAS), dan TS (*Total Solid*) pada air bekas domestik dengan memanfaatkan tanaman *cattail* (*Typha angustifolia*) dan kana (*Canna sp.*) dalam sistem *constructed wetland* aliran *subsurface*. Bahan organik (COD) dianalisa dengan metode refluks, kadar deterjen (LAS) dianalisa dengan metode MBAS dan TS (*Total Solid*) dianalisa dengan metode gravimetri.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan suatu metodologi penelitian dengan tujuan sebagai berikut :

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian dengan berpedoman pada kerangka penelitian yang sistematis dan digunakan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir.
3. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
4. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama melakukan penelitian.





### 3.2 KERANGKA PENELITIAN

Kerangka penelitian bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah yang harus dilakukan agar diperoleh hasil akhir yang sesuai dengan yang diharapkan. Penelitian yang dilakukan akan mengikuti diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

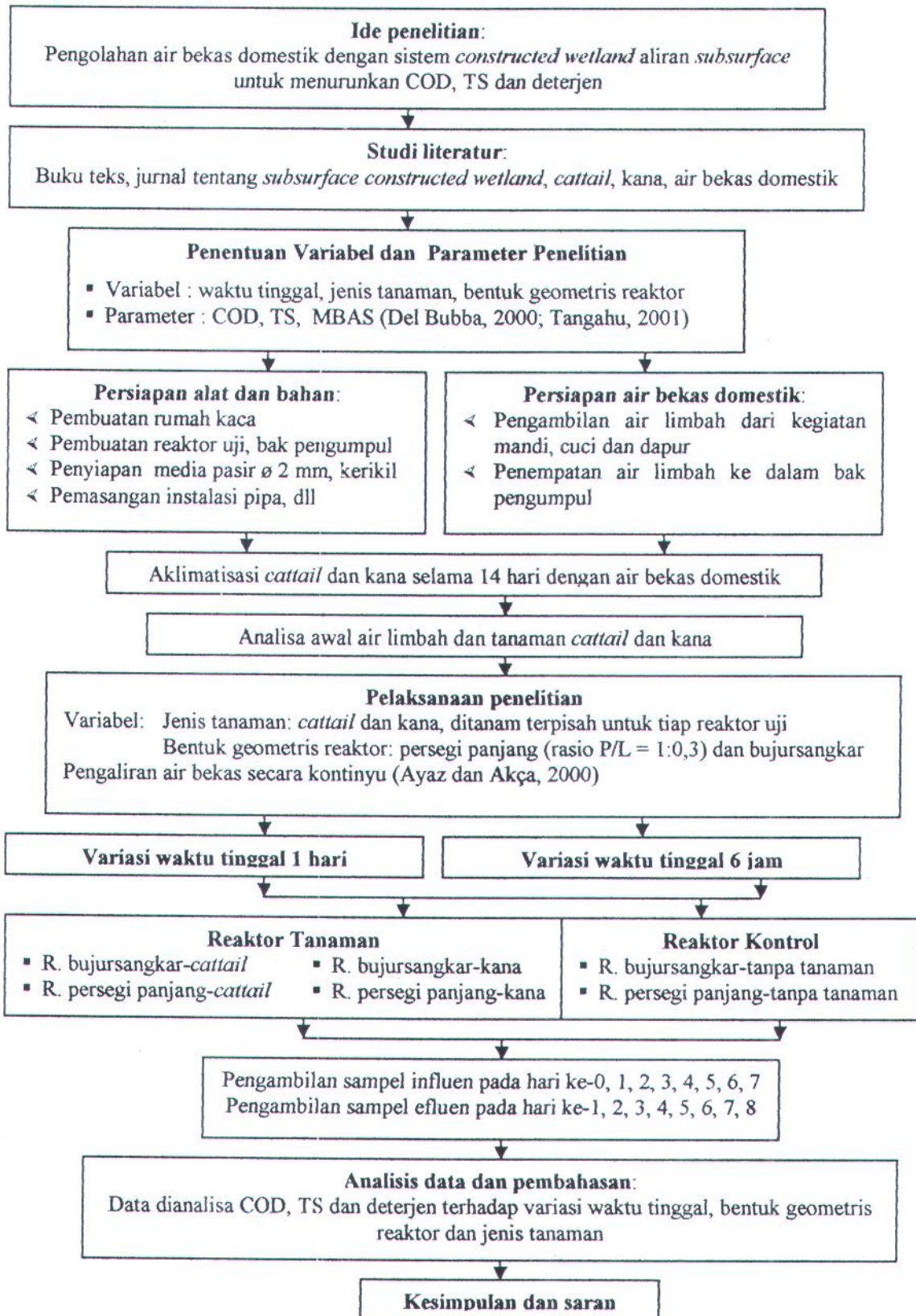
### 3.3 TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan penelitian berisikan urutan kegiatan yang dilakukan selama penelitian agar didapatkan hasil yang sesuai tujuan penelitian, serta penulisan yang tepat dan sistematis.

#### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung proses penelitian sejak awal penelitian hingga penyusunan laporan, juga untuk memperoleh dasar teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan sehingga diperoleh acuan yang tepat dalam menganalisis masalah dan membuat suatu pembahasan dan kesimpulan.

Literatur yang dipakai adalah yang berhubungan dengan *subsurface constructed wetland*, proses dalam *constructed wetland*, air bekas domestik yang diolah dengan *constructed wetland*, jenis tanaman air. Sumber literatur yang dipakai dalam penelitian diperoleh dari buku-buku teks, laporan penelitian, tugas akhir, tesis, jurnal penelitian dari perpustakaan maupun internet.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



### 3.3.2 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel penelitian ditentukan agar penelitian lebih terarah dan tujuan dari penelitian dapat tercapai, dimana variabel penelitian adalah waktu tinggal ( $t$ ), jenis tanaman dan bentuk geometris reaktor.

Variasi waktu tinggal adalah 1 hari dan 6 jam. *Horizontal subsurface wetland* mengolah air bekas dengan waktu tinggal 6,3 jam didapatkan penurunan konsentrasi BOD 96%, COD 84%, TSS 93% dan  $PO_4$  54% (Poh, 2003)

Variasi kedua adalah jenis tanaman yaitu *cattail* dan kana. Tangahu (2001) menyatakan *cattail* menurunkan TS 45-90% dengan waktu tinggal 1 hari dan 3 hari. Kana (*Canna sp.*) menurunkan TSS, MBAS 90% (Mayangriani, 2005); COD, BOD 90% (Kusuma, 2005). *Cattail* dipilih atas dasar efektifitasnya mudah tumbuh, daya tahan hidupnya lama dan tidak perlu perawatan (Shutes, 2001). Kana dipilih atas dasar nilai estetika, kemampuan menurunkan bahan organik dan tidak perlu perawatan (Kusuma, 2005; Mayangriani, 2005).

Variabel ketiga adalah bentuk geometris reaktor yaitu bujursangkar dan persegi panjang. Bentuk geometris reaktor mempengaruhi distribusi aliran air limbah dan mencegah terjadinya penyumbatan media pada zona outlet (Campbell dan Ogden, 1999). Rasio panjang/lebar reaktor persegi panjang adalah 1:0,3. US EPA (1993) menyatakan aspek rasio panjang/lebar reaktor dipakai 0,4:1 - 3:1.

Parameter penelitian adalah COD, TS dan deterjen (LAS). Penentuan parameter penelitian mengacu pada Del Bubba *et al* (2000) dan Tangahu (2001).



### 3.3.3 Persiapan Alat dan Bahan

#### 1. PEMBUATAN RUMAH KACA

Pelaksanaan penelitian memakai rumah kaca untuk melindungi tanaman uji dari gangguan binatang (belalang, kupu, serangga lainnya), hujan serta terik matahari yang mengenai tanaman secara langsung yang dapat mempengaruhi evapotranspirasi. Fungsi rumah kaca lainnya adalah melindungi reaktor dari pelapukan akibat terik matahari dan air hujan secara langsung. Bagian dinding rumah kaca dibuat dari jaring-jaring, agar sirkulasi udara tetap terjaga. Bagian atap dibuat dari plastik bening agar tanaman tetap mendapatkan sinar matahari secara alami.

#### 2. PEMBUATAN REAKTOR UJI DAN BAK PENGUMPUL

Pengontrolan reaksi kimia dan biologis pada pengolahan air limbah yang ditempatkan pada suatu kontainer atau tangki tertentu biasanya disebut reaktor (Crites dan Tchobanoglous, 1998).

Reaktor uji dibuat dari kayu untuk kerangkanya dan tripleks untuk bagian dasar serta lembaran seng untuk bagian dinding. Bagian dalam reaktor dilapisi oleh plastik 2 lembar untuk menghindari kebocoran. Reaktor uji bentuk geometris reaktor persegi panjang memiliki dimensi panjang, lebar, tinggi sebesar 1,0 m; 0,3 m; 0,5 m (Gambar 1 Lampiran D) dan bentuk geometris bujursangkar adalah 0,55 m; 0,55 m; 0,5 m (Gambar 3.3). Ketebalan media dipakai 40 cm karena panjang akar dan rhizoma *cattail* 30-40 cm (Koottatep *et al*, 2002), panjang akar dan rhizoma *kana* 30-40 cm (Rukmana, 1997). Tiap-tiap bentuk geometris reaktor



terdiri atas 3 reaktor uji yang meliputi 2 reaktor tanaman dan 1 reaktor kontrol (tanpa tanaman).

Reaktor uji terbagi atas 3 zona yaitu zona inlet, zona reaksi/inti dan zona outlet. Zona inlet dan zona outlet merupakan zona awal dan zona akhir dari suatu reaktor. Zona inlet diberi media kerikil untuk menghindari terjadinya penggerusan media pasir oleh air dan mendistribusikan air secara merata (Campbell dan Ogden, 1999). Bentuk zona inlet dapat dilihat pada Gambar 3.4.



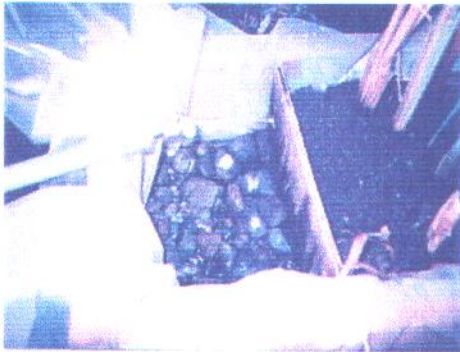
**Gambar 3.2 Reaktor bujursangkar** (Dok. Pribadi, 2005)

Zona outlet diberi media kerikil untuk menghindari *clogging*. Zona reaksi diisi media pasir. Zona reaksi pada reaktor kontrol tanpa diberi tanaman (Gambar 4 Lampiran D), sedangkan tiap-tiap reaktor tanaman diberi tanaman *cattail* atau *kana*.

Bak pengumpul terbuat dari tong plastik dengan volume  $\pm$  200 liter. Bak pengumpul difungsikan menerima air bekas domestik sebelum dialirkan ke bak pengatur debit. Pompa dipakai untuk mengalirkan air bekas dari bak pengumpul ke bak pengatur debit (Gambar 3.5). Bak pengatur debit terbuat dari tong plastik dengan volume  $\pm$  400 liter (Gambar 6 Lampiran D). Bak pengatur debit



selanjutnya dialirkan ke reaktor uji. Pemakaian bak pengatur debit adalah menstabilkan debit yang masuk ke reaktor uji. Bak *overflow* dipakai untuk menampung limpahan air limbah pada bak pengatur debit sehingga tidak meluber kemana-mana.



**Gambar 3.3 Zona Inlet**

**Gambar 3.4 Pompa dan bak pengumpul**

(Dok. Pribadi, 2005)

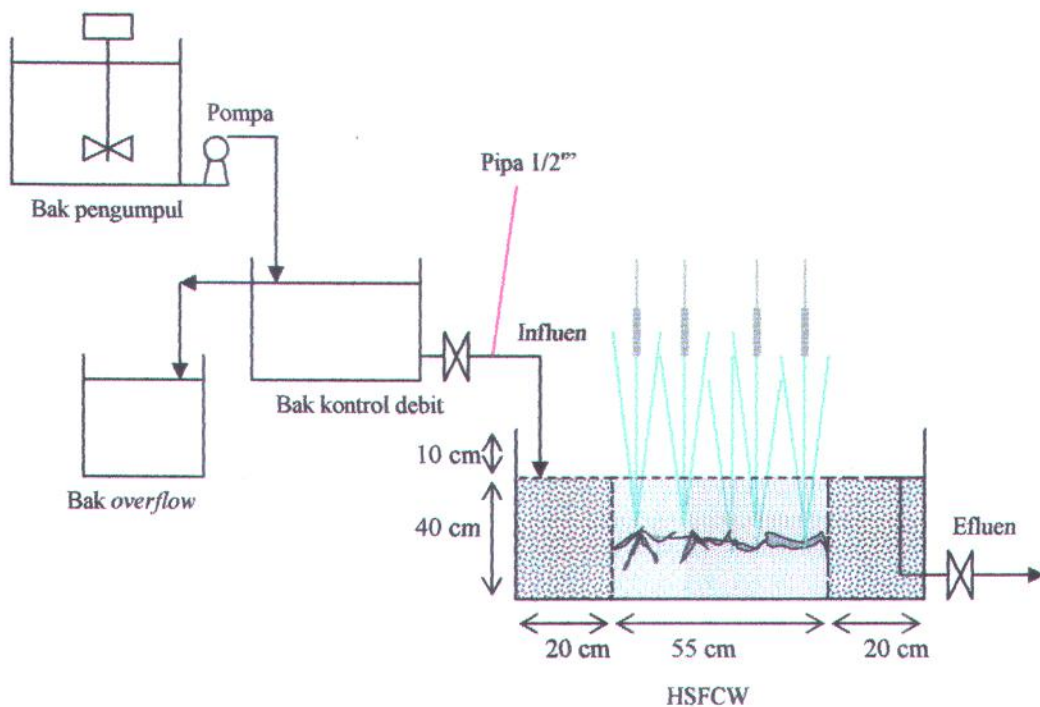
### 3. PENYIAPAN MEDIA PASIR

Media yang dipakai adalah pasir. Sebelum pasir dipakai perlu dicuci dulu untuk menghilangkan lumpur dan debu yang tercampur saat pengambilan dari sungai. Setelah pasir bersih, pasir dikeringkan untuk memudahkan analisis.

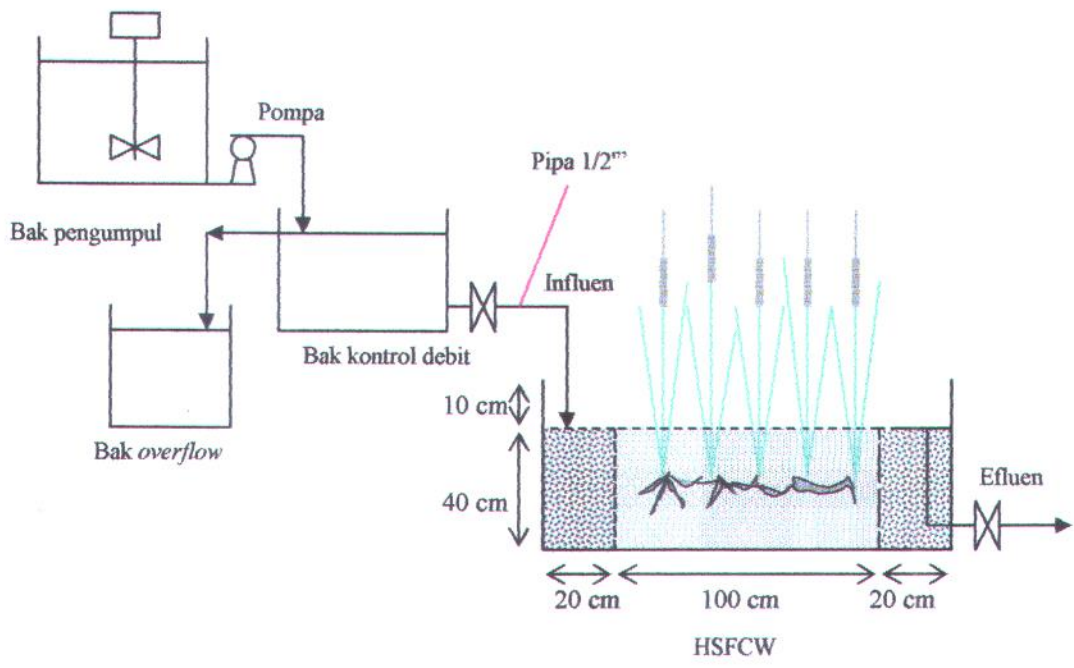
Pengujian pasir adalah kadar air, berat volume, berat jenis, permeabilitas dan analisa ayakan. Berdasarkan analisa pasir yang dilakukan di Laboratorium Geologi dan Mekanika Tanah Universitas Jember diperoleh angka pori ( $e$ ) 0,81; porositas ( $n$ ) 44,66% ( $\approx 0,45$ ), koefisien permeabilitas pasir 0,01725 cm/detik dan distribusi agregat adalah agregat kasar 10,4%; pasir kasar 64,6%; pasir halus 25%. Hasil analisa ayakan media pasir ditampilkan pada Lampiran C halaman L-15.

#### 4. PEMASANGAN INSTALASI

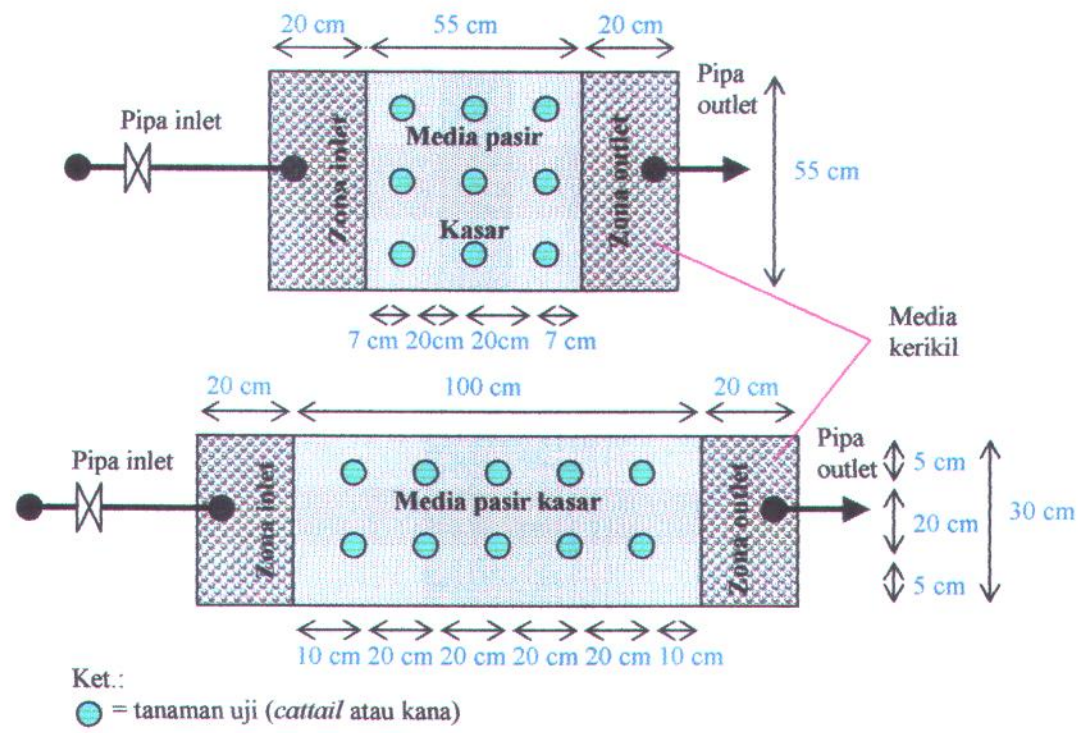
Instalasi perpipaan dan pompa diperlukan untuk menjalankan penelitian, karena merupakan rangkaian proses mulai pengumpulan hingga pengaliran ke reaktor uji sehingga diharapkan kontinuitas dari aliran air limbah tetap terjaga. Bak pengatur debit dipasang tiga pipa outlet yang masing-masing memiliki kran sehingga dapat memudahkan untuk mengatur debit yang diinginkan (Gambar 3.4). Rangkaian dari awal hingga akhir rancangan penelitian ditampilkan pada Gambar 3.6 (bentuk geometris reaktor bujursangkar) dan Gambar 3.7 (bentuk geometris reaktor persegi panjang). Gambar 3.8 menampilkan denah dari reaktor bujursangkar dan reaktor persegi panjang. Sedangkan rangkaian reaktor ada di Gambar 3.9.



**Gambar 3.5** Diagram alir rancangan penelitian bak bujursangkar

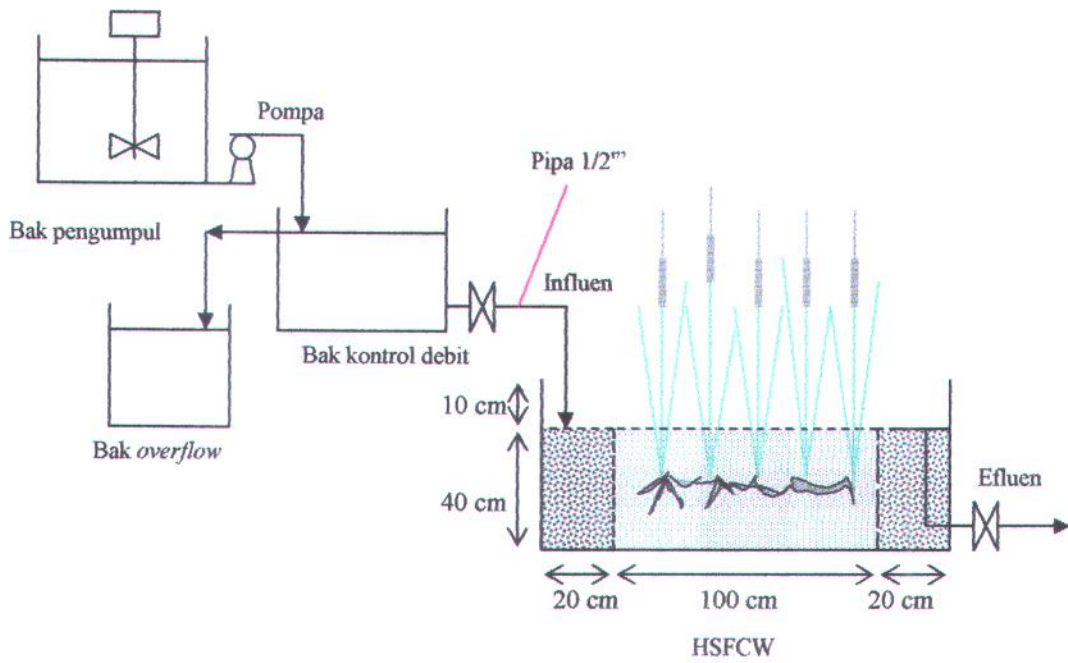


Gambar 3.6 Diagram alir rancangan penelitian bak persegi panjang

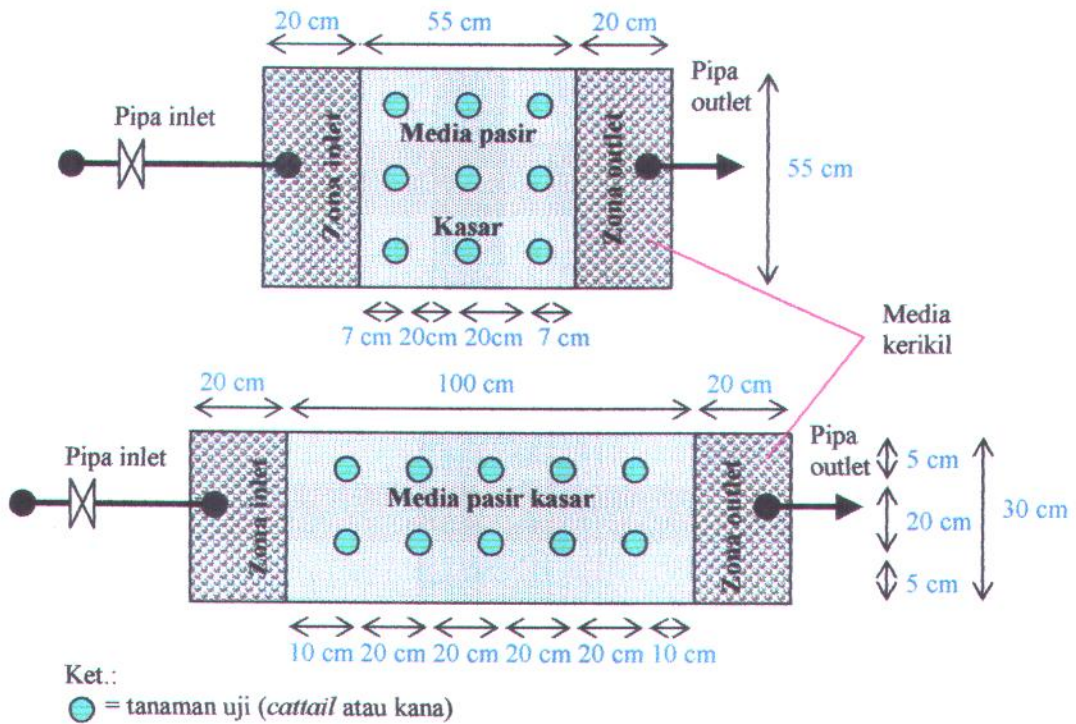


Gambar 3.7 Tampak atas reaktor bujursangkar dan persegi panjang

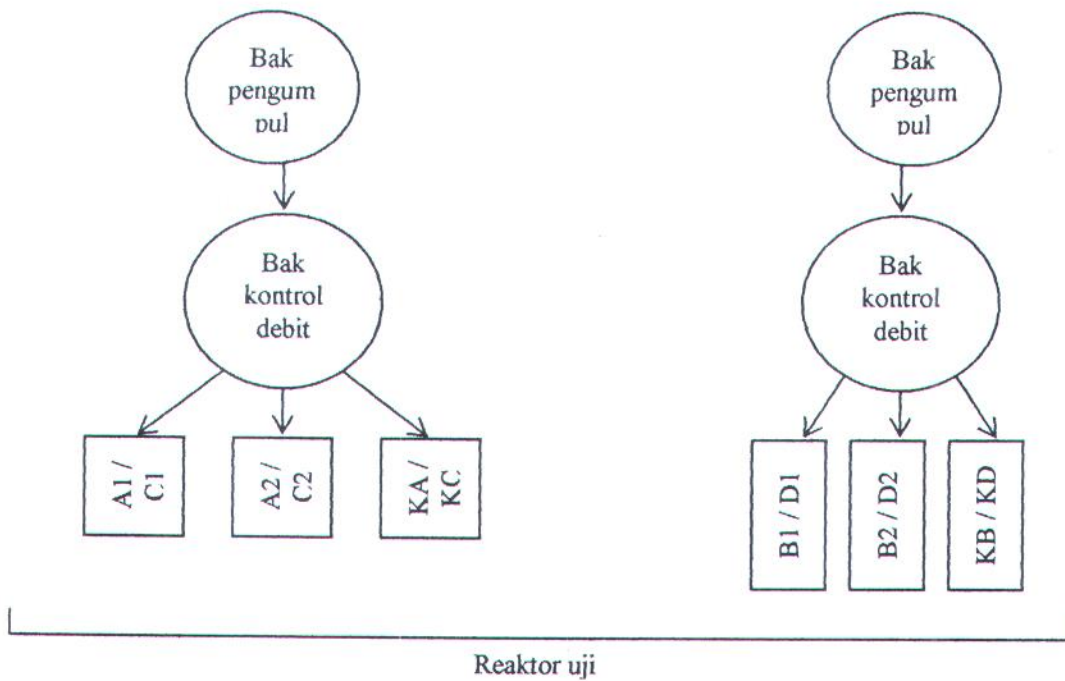




Gambar 3.6 Diagram alir rancangan penelitian bak persegi panjang



Gambar 3.7 Tampak atas reaktor bujursangkar dan persegi panjang



Gambar 3.8 Denah reaktor

Rancangan percobaan ditampilkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Rancangan penelitian

	Waktu tinggal 1 hari		Waktu tinggal 6 jam	
	Bujursangkar	Persegipanjang	Bujursangkar	Persegipanjang
<i>Cattail</i>	A1	B1	C1	D1
Kana	A2	B2	C2	D2
Kontrol	KA	KB	KC	KD

Diketahui:

Dimensi reaktor:

1. Persegipanjang: panjang ( $p$ ) = 1m; lebar ( $l$ ) = 0,3m; dalam ( $h$ ) = 0,4m

$$\text{Volume} = p \times l \times h = 1 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas permukaan (As)} = 1 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas penampang (Ac)} = 0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^2$$

$$\text{Waktu tinggal 6 jam} = \frac{1}{4} \text{ hari, tebal media (d)} = 0,4 \text{ m, porositas (n)} = 0,45$$



maka

$$\text{Debit} = \frac{As \cdot d \cdot n}{t} = \frac{0,3m^2 \times 0,4m \times 0,45}{\frac{1}{4}\text{hari}} = 0,216m^3/\text{hari}$$

$$\text{Beban hidrolis untuk reaktor} = \text{debit} / \text{luas penampang reaktor} = \frac{Q}{Ac}$$

$$\text{Beban hidrolis (HLR)} = \frac{0,216m^3/\text{hari}}{(0,3m \times 0,4m)} = 1,80 \text{ m/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Organic loading rate} &= (\text{BOD}_{\text{inf}} \times d \times n) / t \\ &= \frac{(150 \times 0,4 \times 0,45)}{0,25} = 108 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

2. Reaktor bujursangkar: panjang (p) = lebar (l) = 0,55 m; dalam (h) = 0,4 m

$$\text{Volume} = p \times l \times h = 0,55 \text{ m} \times 0,55 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} = 0,121 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas permukaan (As)} = 0,55 \text{ m} \times 0,55 \text{ m} = 0,3025 \text{ m}^2 = 0,3 \text{ m}^2$$

Waktu tinggal 6 jam =  $\frac{1}{4}$  hari, tebal media (d) = 0,4 m, porositas (n) = 0,45

maka

$$\text{Debit} = \frac{As \cdot d \cdot n}{t} = \frac{0,30m^2 \times 0,4m \times 0,45}{\frac{1}{4}\text{hari}} = 0,216m^3/\text{hari}$$

$$\text{Beban hidrolis (HLR)} = \frac{0,216m^3/\text{hari}}{(0,55m \times 0,4m)} = 0,982 \text{ m/hari.}$$

$$\text{Organic loading rate} = \frac{(150 \times 0,4 \times 0,45)}{0,25} = 108 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}$$

Hasil perhitungan ditabelkan pada Tabel 3.2 berikut ini.



Tabel 3.2 Hasil perhitungan

Bentuk reaktor	Satuan	Persegi panjang		Bujursangkar	
Dimensi (p x l x h)	m	1 x 0,3 x 0,5		0,55 x 0,55 x 0,5	
Tebal media (d)	m	0,4		0,4	
Porositas (n)	-	0,45		0,45	
BOD influen (Co)	g/m <sup>3</sup>	150		150	
BOD efluen (Ce)	g/m <sup>3</sup>	30		30	
Luas permukaan (As)	m <sup>2</sup>	0,3		0,3025	
Luas penampang (Ac)	m <sup>2</sup>	0,12		0,22	
Waktu tinggal (t)	jam	6	24	6	24
Debit (Q)	m <sup>3</sup> /hari	0,216	0,054	0,216	0,054
Beban hidrolis (HLR)	m/hari	1,8	0,45	0,982	0,246
<i>Organic loading rate</i>	g/m <sup>2</sup> .hari	108	27	108	27
	lb/ac.day	293,4	73,4	293,4	73,4

Nilai beban organik (*organic loading rate*) yang terdapat pada Tabel 3.2 ini lebih besar jika dibandingkan dengan nilai yang terdapat Tabel 2.1.

### 3.3.4 Aklimatisasi Tanaman

Tanaman uji yang dipakai adalah *cattail* dan kana. Sebelum ditanam ke dalam reaktor uji, kedua jenis tanaman air tersebut ditanam di bak plastik dan disirami dengan air bekas domestik selama 14 hari. Kegunaan dari aklimatisasi ini adalah untuk mendapatkan tanaman uji yang benar-benar dalam kondisi sehat dan segar, serta telah mengalami adaptasi dengan air bekas domestik yang nantinya akan dialirkan ke reaktor uji yang ditanam tanaman uji tersebut. Setelah waktu yang ditentukan, tanaman uji yang sehat ditanam ke reaktor uji. Pengambilan tanaman uji dari tempat aklimatisasi harus dengan tanahnya agar tidak merusak perakaran tanaman, kemudian tanah dihilangkan dari akar tanaman dengan



merendam ke dalam air sambil dilepaskan tanah yang melekat pada akarnya. Jika akar telah bersih, tanaman dapat ditanam pada media *wetland* dengan kedalaman 10 cm dari dasar (Yuanita, 2003).

### 3.3.5 Pelaksanaan Penelitian

Tanaman uji yang telah mengalami aklimatisasi ditanam ke reaktor uji dan dialiri air limbah. Jarak tanam antar tanaman 20 cm dan dari tepi 5 cm agar perakarannya dapat berkembang (Yuanita, 2003). *Cattail* yang dipakai memiliki perakaran yang sehat dan terdapat anak tunas (Koottatep *et al*, 2002). Variabel penelitian adalah jenis tanaman air, bentuk geometris reaktor dan waktu tinggal. Sistem aliran yang diterapkan pada penelitian ini adalah aliran kontinyu. Ayaz dan Akça (2000) melakukan penelitian dengan aliran kontinyu untuk mengolah limbah dengan sistem *constructed wetland*. Untuk pelaksanaan penelitian pertama dipakai variabel waktu tinggal 1 hari. Kontrol debit dilakukan sebelum reaktor dijalankan agar dapat ditentukan waktu tinggal 1 hari. Kuchler dan Schnaak (1997) menyatakan bahwa LAS cepat terbiodegradasi dalam kondisi aerobik dan diketahui waktu paruh LAS antara 3-7 hari. Pengambilan sampel dilakukan selama 8 hari, yaitu pengambilan sampel influen pada hari ke-0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan sampel efluen pada hari ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 untuk waktu tinggal 1 hari.

Selanjutnya setelah pelaksanaan penelitian dengan variabel waktu tinggal 1 hari dilanjutkan dengan waktu tinggal 6 jam. Sebelum dipakai kembali, media pasir dan kerikil dicuci dengan air agar kondisi media yang dipakai sama seperti semula. Sedangkan tanaman uji yang telah dipakai diambil untuk diganti dengan



tanaman uji yang baru. Pengambilan sampel influen pada hari ke-0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan sampel efluen pada hari ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 untuk waktu tinggal 6 jam.

Parameter yang diukur adalah COD, TS, dan MBAS. Analisis COD, TS dan MBAS air limbah didasarkan pada metode yang terdapat dalam Standard Methods 1998 untuk pengujian air dan air limbah, dan Metode Penelitian Air (Alaerts, 1989). Alat dan bahan kimia yang dipakai untuk analisa COD adalah refluks COD, erlenmeyer COD, pemanas listrik, biuret 50 ml, pipet volume,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $H_2SO_4$  pekat, reagen asam sulfat, larutan standar FAS,  $HgSO_4$ , feroin. Analisa TS dipakai oven, cawan, neraca analitis digital, desikator. Analisa deterjen memakai metode MBAS, alat dan bahan kimia yang dipakai spektrofotometer, corong pemisah, larutan standar LAS (linier alkylbenzensulfonat), indikator fenolftalin,  $H_2SO_4$ , reagen metilen blue, kloroform, larutan pencuci. Analisa laboratorium dapat dilihat pada Lampiran B.

### **3.4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan data yang diperoleh selama penelitian berlangsung, dilakukan pembahasan mengenai kemampuan tanaman dalam menurunkan COD, TS dan LAS dalam air bekas domestik. Pembahasan dan analisa mengenai penurunan ketiga parameter didasarkan hasil yang didapat yang disesuaikan dengan dasar tinjauan pustaka yang berasal dari buku teks, laporan penelitian, jurnal ilmiah, artikel ilmiah baik dari perpustakaan dan internet.



### **3.5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan merupakan pokok-pokok pikiran hasil dari seluruh penelitian didasarkan atas tujuan penelitian. Sedangkan saran merupakan suatu rekomendasi kepada pihak luar maupun yang terkait yang dapat memberikan perbaikan dan tindak lanjut terhadap penelitian ini.



## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 KARAKTERISTIK AWAL LIMBAH

Air bekas yang dipakai dari kegiatan rumah tangga berupa cuci, mandi dan dapur. Karakteristik air bekas yang diambil meliputi COD 191 – 323 mg/l, TS 754 – 1282 mg/l, MBAS 0,492 – 1,013 mg/l. Konsentrasi air bekas yang dipakai pada *wetland* masih dalam ambang batas kelas IV untuk parameter TS dan MBAS namun untuk COD melebihi ambang batas sebagaimana yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Untuk mereduksi konsentrasi ketiga parameter dipakai *wetland* dengan aliran *subsurface* memakai tanaman kana dan *cattail*.

Sistem alamiah proses yang terpenting adalah degradasi mikrobial. Swisher (1971 dalam Connell dan Miller, 1995) menjelaskan secara rinci biodegradasi terhadap surfaktan, mikroba tanah memiliki kapasitas untuk menguraikan surfaktan melalui beberapa rangkaian degradasi. Di Florence, Itali pada tahun 2000 pernah dilakukan percobaan dalam skala pilot berupa *wetland* aliran *submerged horizontal* untuk menurunkan konsentrasi LAS memakai tanaman *Phragmites australis* (Del Bubba *et al*, 2000). Inaba (1992) membuktikan linier alkilbensensulfonat (LAS) dari daerah permukiman di Jepang dapat diolah secara alami melalui *surface-flow wetland* dengan tanaman *Phragmites communis* dan *Typha latifolia*.





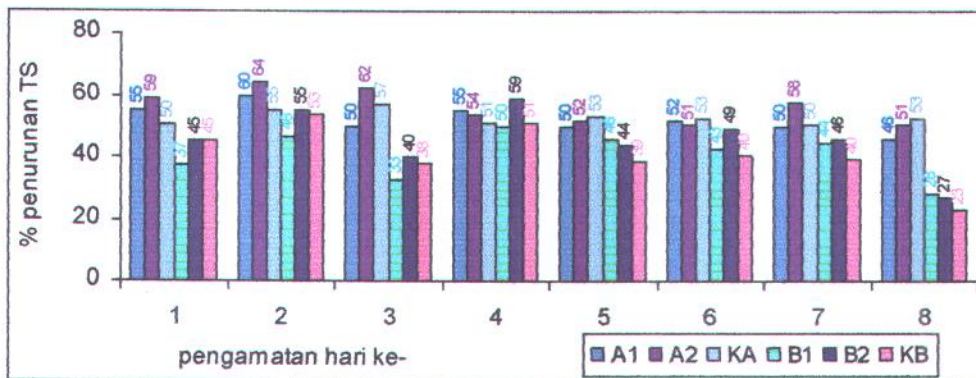
## 4.2 PENURUNAN TS

*Wetland* umumnya dipakai sebagai salah satu bagian pada sistem pengolahan. Kemampuan *wetland* dimanfaatkan secara besar dengan memahami kemampuan terpentingnya yaitu sebagai filter biologis (Campbell dan Ogden, 1999). Penurunan TS pada *wetland* terjadi melalui proses sedimentasi dan filtrasi yang kemudian dilanjutkan dengan proses adsorpsi oleh tanah, biodegradasi oleh bakteri dan absorpsi oleh tanaman (Novotny dan Olem, 1994; Sooknah dan Wilkie, 2004). Mekanisme paling utama degradasi bahan organik pada *constructed wetland* adalah reaksi simbiosis antara tanaman dan bakteri, dimana oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis maupun dipakai untuk respirasi oleh tanaman, dipakai oleh bakteri aerobik dan fakultatif dalam mendegradasi bahan organik (Polprasert *et al*, 1998). Sedangkan produk lain yang dihasilkan dari aktifitas dekomposisi oleh bakteri adalah CO<sub>2</sub> dan senyawa amonium (proses amonifikasi). Pada tanah lembab dan pH netral, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, akan dioksidasi lebih lanjut menjadi NO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam beberapa hari setelah pembentukannya. Amonium mudah terserap koloid tanah karena muatannya positif, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tidak terserap sehingga mudah tercuci. Tanaman dan banyak spesies asli menyerap nitrogen dalam bentuk NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sebab NH<sub>4</sub><sup>+</sup> segera dioksidasi menjadi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> oleh bakteri nitrifikasi. Tapi rumputan dan konifer menyerap sebagian besar nitrogen dalam bentuk NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sebab faktor lain -selain pH rendah- yang melambatkan laju nitrifikasi (Salisbury *et al*, 1992). Kontak antara akar dengan koloid tanah menyebabkan masuknya amonium ke dalam akar tanaman, karena adanya beda konsentrasi (proses difusi).



### 4.2.1 Penurunan TS pada Waktu Tinggal 1 Hari

Waktu tinggal air bekas domestik dalam reaktor merupakan variasi pertama. Variasi selanjutnya adalah bentuk geometris reaktor dan jenis tanaman. Efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 1 hari dengan variasi bentuk geometris reaktor dan jenis tanaman ditampilkan pada Gambar 4.1. Efisiensi penurunan TS pada hari pertama (37-59%) dan ke-2 (45-64%) menunjukkan kenaikan, namun kemudian mengalami penurunan pada hari ke-3 (33-62%) dan cenderung naik tidak terlalu tajam pada hari ke-4 (50-59%) hingga ke-7 (50-58%) dan turun pada hari ke-8 (23-26%) pada reaktor B1, B2, KB.



**Gambar 4.1 Efisiensi Penurunan TS selama pengamatan 8 hari**

Ket.: A = reaktor bentuk bujursangkar; A1 = media+cattail; A2 = media+kana; KA = kontrol

B = reaktor bentuk persegi panjang; B1 = media+cattail; B2 = media+kana; KB = kontrol

Sumber: hasil analisa dan perhitungan

Kenaikan menunjukkan terjadinya proses sedimentasi dan filtrasi pada media yang dilanjutkan proses absorpsi oleh akar tanaman. Gambar 4.1 menunjukkan terjadinya fluktuatif pada efisiensi penurunan TS. Efisiensi penurunan TS pada reaktor A1 berkisar 46-60%, A2 51-64%, KA 50-57%, yang menunjukkan fluktuasi yang tidak terlalu besar daripada pada reaktor B1 28-50%, B2 27-59%, KB 23-53%. Efisiensi penurunan TS pada reaktor A1 hingga reaktor



Tangahu (2001) dimana efisiensi penurunan TS dalam air bekas domestik pada beban COD 150-300 mg/l dengan waktu tinggal 1 hari sebesar 45-68% dan waktu tinggal 2 hari sebesar 60-85%.

Peningkatan efisiensi penurunan TS selain dari proses fisik berupa sedimentasi dan filtrasi oleh media *wetland* (pasir) dan akar tanaman (*cattail* dan *kana*), juga proses absorpsi oleh tanaman dan degradasi biokimia aerobik terhadap bahan organik dalam air oleh bakteri. Proses fisik terjadi karena kemampuan partikel-partikel media tanam menahan partikel-partikel padatan yang ada dalam air limbah. Proses sedimentasi dapat terjadi pada media tanam yang termasuk jenis pasir kasar dengan koefisien permeabilitas rendah (0,01725 cm/det), dimana media berkoefisien permeabilitas rendah (0,01-1,0 cm/det) adalah jenis tanah yang tidak jenuh air yaitu berupa pasir kasar (diameter butiran 0,6-2 mm) (Das, 1988). Koefisien permeabilitas media yang rendah menyebabkan aliran air limbah dapat melewati pori-pori media yang mendukung proses sedimentasi dan filtrasi.

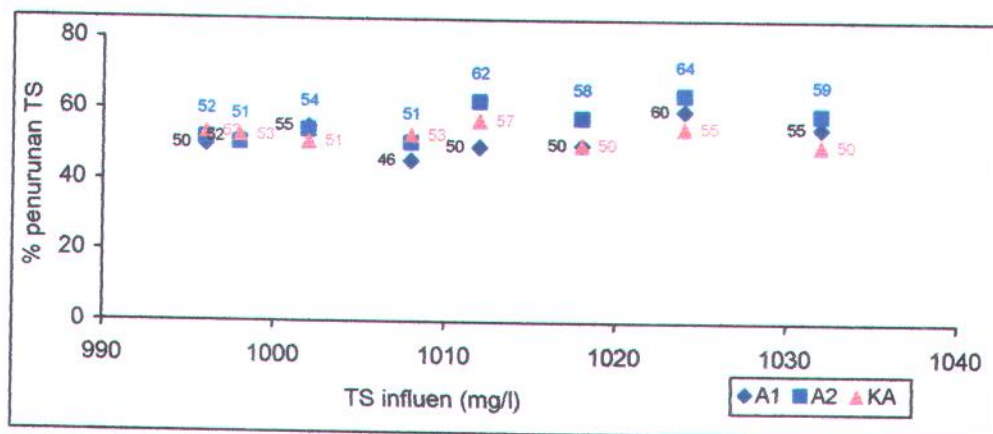
Tanaman uji dipakai untuk mempercepat proses penurunan TS, karena kemampuan tanaman dalam menahan padatan secara mekanik sehingga kecepatan aliran dapat diperkecil dan waktu tinggal dapat ditingkatkan, serta pengendapan partikel padatan lebih mudah (Tangahu, 2001).

#### A. Penurunan TS pada Reaktor Bujursangkar

Pada variasi bentuk geometris reaktor bujursangkar ini dilakukan 2 variasi lagi yaitu reaktor uji yang ditanami *cattail* (A1) dan *kana* (A2), serta reaktor kontrol (KA) sebagai pembanding. Gambar 4.2 menunjukkan konsentrasi TS pada influen dengan efisiensi penurunannya, dimana efisiensi penurunan TS pada



reaktor A1 46-60%, A2 51-64%, KA 50-57%, tidak ada beda signifikan antara reaktor tanaman (A1 dan A2) dengan reaktor kontrol, KA (Tabel Anova Lampiran E halaman L-20). Mekanisme penurunan padatan ini terjadi karena adanya pertumbuhan mikroorganisme yang menggunakan bahan organik dimana bahan organik yang telah diuraikan menjadi bentuk sederhana selanjutnya diabsorpsi oleh akar tanaman yang pada akhirnya untuk pembentukan biomassa tanaman (Novotny dan Olem, 1994). Selain itu, proses adaptasi tanaman uji terhadap air bekas domestik ditunjukkan dengan adanya beberapa tunas baru pada tanaman uji (Gambar 7 Lampiran D).



**Gambar 4.2 TS, influen vs efisiensi penurunan**

Reaktor kana, A2 memiliki efisiensi penurunan TS lebih tinggi daripada pada reaktor kontrol, KA; karena reaktor kontrol tidak terdapat tanaman yang melakukan proses sedimentasi melalui jaringan perakarannya (Mashauri *et al*, 2000). Tanaman air memiliki sistem akar rhizoma yang mengandung saluran udara tebal tempat ujung rambut menggantung dan bercabang yang tumbuh vertikal ke atas, O<sub>2</sub> dari udara diserap melalui daun diteruskan ke batang sampai ke akar kemudian O<sub>2</sub> terpencah di ujung akar membentuk film tipis mengelilingi



ke akar kemudian  $O_2$  terpencah di ujung akar membentuk film tipis mengelilingi akar. Penumpukan  $O_2$  di sekitar akar membantu pertumbuhan mikroorganisme aerobik yang ada dalam air yang membantu proses pengolahan limbah (Nurachman, 1996 dalam Prasetyo, 2002). Tanaman uji dipakai mempercepat proses penurunan TS, karena kemampuan tanaman dalam menahan padatan secara mekanik sehingga kecepatan aliran dapat diperkecil dan waktu tinggal dapat ditingkatkan, serta pengendapan partikel padatan lebih mudah (Tangahu, 2001).

Tabel 4.1 Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman(%)

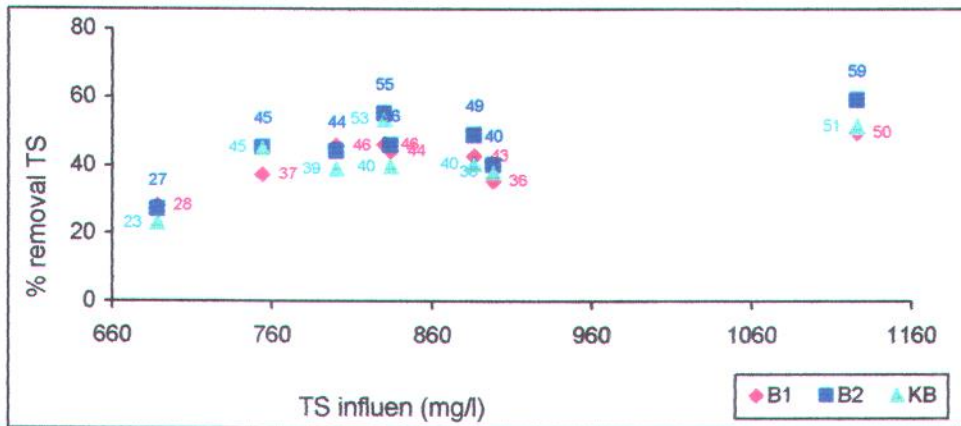
Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
A1-KA <sup>a</sup>	4.84	4.88	-7.51	4.19	-3.41	-0.60	-0.20	-7.14	-4.94	-0.62
A2-KA <sup>b</sup>	8.53	9.37	5.34	3.19	-1.61	-2.00	7.47	-2.18	28.10	3.51

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.1 menunjukkan penurunan TS oleh tanaman kana sebesar 3,51%. Penurunan TS oleh media lebih banyak yaitu 54% (Tabel 4.3), karena media yang dipakai merupakan media pasir dengan koefisien permeabilitas rendah, sehingga aliran air bekas domestik dapat melewati pori-pori pasir yang berfungsi sebagai filter dan mendukung proses sedimentasi dan filtrasi.

#### B. Penurunan TS pada Reaktor Persegipanjang

Penurunan TS reaktor persegipanjang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Efisiensi penurunan TS pada reaktor *cattail*, B1 28-50%; kana, B2 27-59% dan kontrol, KB 23-53%, dimana tidak ada beda antar kelompok (B1, B2 dan KB) sebagaimana ditampilkan dalam Tabel Anova REAKT\_B Lampiran E halaman L-



**Gambar 4.3 TS, influen vs efisiensi penurunan**

Akar tanaman juga berperan dalam menurunkan partikel padatan dalam air bekas domestik-yang telah diuraikan oleh mikroorganisme menjadi bentuk sederhana-dengan mengadsorpsi melalui akar dan rhizoma yang selanjutnya dialirkan ke batang dan diproses dalam daun dengan bantuan klorofil, sinar matahari, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Penyerapan nutrisi terjadi dalam beberapa proses yaitu pergerakan ion dari dalam tanah menuju ke permukaan akar tanaman; penimbunan ion dalam sel akar; pergerakan ion secara radial dari permukaan akar ke dalam pembuluh batang; dan pengangkutan ion dari akar, daun dan batang (Hakim, 1986). Selanjutnya ion-ion tersebut ditambah air dan CO<sub>2</sub> dipakai dalam proses fotosintesis yang menghasilkan makanan (gula) dan O<sub>2</sub>. Makanan disimpan dalam akar yang selanjutnya dipakai untuk pembentukan tunas baru (Kimball, 1983) (Lihat Gambar 7 Lampiran D).



Tabel 4.2 Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
B1-KB <sup>a</sup>	-7.96	-7.23	-5.57	-1.60	7.25	2.48	4.80	5.23	-2.59	-0.32
B2-KB <sup>b</sup>	0.27	1.69	2.23	7.82	5.50	8.58	6.47	4.07	36.62	4.58

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.2 menunjukkan efisiensi penurunan TS oleh kana 4,58% dan media hampir 53% (lihat Tabel 4.3), karena waktu tinggal 1 hari dengan beban influen 688-1126 mg/l (Bandingkan dengan Tangahu (2001) efisiensi penurunan TS 45-68% untuk waktu tinggal 1 hari dengan beban influen 480 mg/l).

### C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.3 Rata-rata efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 1 hari

Reaktor	A1	A2	KA	B1	B2	KB
Rata-rata %	52,19	56,32	52,81	40,98	45,79	41,21
Penurunan TS	53,77			42,66		

Tabel 4.3 menampilkan rata-rata efisiensi penurunan TS dengan variasi waktu tinggal 1 hari. Secara keseluruhan efisiensi penurunan TS pada reaktor bujursangkar tidak ada beda signifikan (Lampiran E-20), begitu juga pada reaktor persegi panjang tidak ada beda signifikan antara B1, B2 dan KB (Tabel Anova REAKT\_B Lampiran E halaman L-21), meskipun efisiensi penurunan pada reaktor kana (A2, B2) lebih tinggi daripada reaktor *cattail* (A1, B1) dan kontrol (KA, KB) (Lihat Tabel 4.3), karena rendahnya laju pelepasan oksigen oleh akar *cattail* mengakibatkan rendahnya ketersediaan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk degradasi polutan (Brix dan Schierup, 1990).



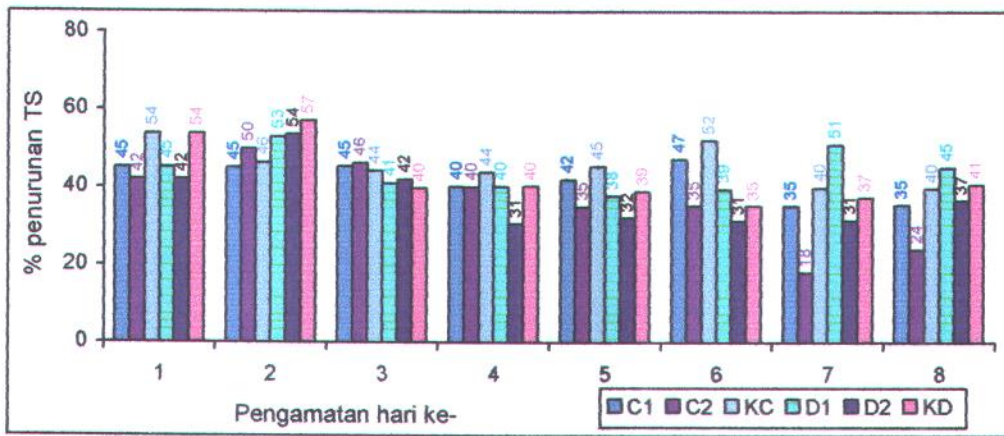
Efisiensi penurunan antara reaktor bujursangkar dengan reaktor persegi panjang ada beda signifikan (Tabel *Multiple Comparasion* Lampiran E halaman L-22), dimana reaktor bujursangkar memiliki efisiensi penurunan TS yang lebih tinggi daripada reaktor bentuk geometris persegi panjang, karena beban hidrolis reaktor persegi panjang lebih besar daripada bujursangkar (lihat Tabel 3.2; Campbell dan Ogden, 1999). Reaktor bujursangkar memiliki ukuran panjang dan lebar yang sama, dimana aspek rasio P/L kurang dari 1 menyebabkan distribusi air bekas merata sepanjang profil lebar (Vymazal, 2000), sehingga dimungkinkan proses fisik (sedimentasi dan filtrasi) pada media lebih optimal.

Penurunan TS paling baik untuk waktu tinggal 1 hari pada reaktor bujursangkar-kana (A2), karena beban hidrolisnya kecil dan kana memiliki bentuk daun yang lebih lebar daripada *cattail*, sehingga proses transpirasi dan fotosintesis pada kana lebih besar. Proses masuknya air dan mineral (unsur anorganik yang berasal dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme) ke dalam tanaman melalui rhizoma. Perpanjangan sel-sel epidermis ini berdinding lengket dan melekat kuat pada partikel media pasir menjadikan rhizoma bersentuhan langsung dengan film air yang juga melekat kuat pada partikel media pasir. Air dan mineral tersebut akan diangkut hingga ke daun. Selanjutnya air dipakai untuk fotosintesis dan evapotranspirasi, sedangkan mineral dipakai untuk fotosintesis (Kimball, 1983). Padatan dalam air bekas berbentuk terendapkan, melayang dan koloid, dimana padatan koloid diuraikan oleh aktivitas mikroorganisme dan tumbukan antar partikel padatan (gerakan inersia dan Brown) yang selanjutnya diadsorpsi





Efisiensi penurunan TS selama 8 hari pada variasi waktu tinggal 6 jam ditampilkan pada Gambar 4.4. Efisiensi penurunan TS pada reaktor *cattail* (C1, D1) lebih tinggi daripada reaktor kana (C2, D2), karena perakaran *cattail* lebih banyak daripada perakaran kana (Gambar 7 Lampiran D), dimana fungsi akar *cattail* sebagai penyedia O<sub>2</sub> bagi bakteri aerobik sekaligus tempat melekatnya bakteri. Bakteri aerobik mempercepat proses penguraian bahan organik, sehingga penurunan TS lebih besar (Polprasert, 1989).



**Gambar 4.4 Efisiensi Penurunan TS selama pengamatan 8 hari**

Ket.: C = reaktor bentuk bujursangkar; C1 = *cattail*; C2 = kana; KC = kontrol

D = reaktor bentuk persegi panjang; D1 = *cattail*; D2 = kana; KD = kontrol

Sumber: hasil analisa dan perhitungan

Efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 6 jam rata-rata lebih rendah dibandingkan efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 1 hari (Tabel 4.3), karena waktu kontak antara akar tanaman dengan partikel padatan yang singkat dan partikel padatan tidak tertahan oleh media, sehingga proses sedimentasi dan filtrasi kurang optimal, meski pada media telah terjadi penyerapan partikel padatan pada porinya. Proses penghilangan partikel padatan dengan filtrasi terjadi karena kemampuan media berpori yang dapat menyerap partikel pada porinya

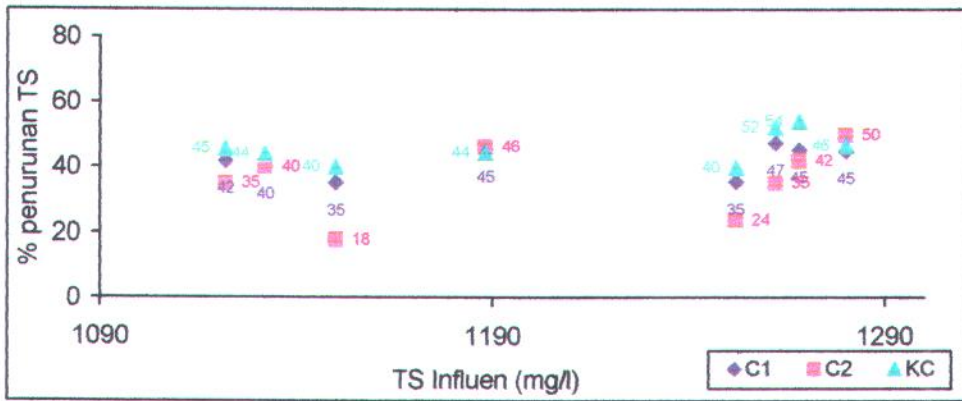


filtrasi kurang optimal, meski pada media telah terjadi penyerapan partikel padatan pada porinya. Proses penghilangan partikel padatan dengan filtrasi terjadi karena kemampuan media berpori yang dapat menyerap partikel pada porinya (Polprasert, 1989). Tanaman uji mengabsorpsi partikel padatan pada reaktor tanaman kurang karena waktu kontak yang singkat sehingga efisiensi penurunan TS pada reaktor tanaman dengan reaktor kontrol tidak ada beda signifikan (Tabel Anova Lampiran E halaman L-23).

#### A. Penurunan TS pada Reaktor Bujursangkar

Gambar 4.5 menunjukkan pola titik-titik yang cenderung meningkat, dimana kenaikan konsentrasi total padatan influen seiring juga dengan kenaikan efisiensi penurunannya, kecuali untuk reaktor kana, C2 terjadi fluktuatif dalam efisiensi penurunan TS. Efisiensi penurunan pada reaktor *cattail*, C1 35-47%; kana, C2 24-50% dan kontrol, KC 40-54%. Kenaikan tersebut menunjukkan bahwa proses removal dalam *constructed wetland* berjalan sesuai dengan proses yang ada yaitu proses fisik (sedimentasi dan filtrasi oleh media dan akar tanaman) dan biologis (dekomposisi oleh bakteri dan absorpsi oleh akar tanaman) (Crites dan Tchobanoglous, 1998; Novotny dan Olem, 1994).

Efisiensi penurunan pada reaktor kana (C2, D2) TS rendah karena perakaran kana lebih sedikit daripada perakaran *cattail* (Gambar 7 Lampiran D), sehingga penyediaan O<sub>2</sub> bagi bakteri aerobik yang menguraikan bahan organik lebih sedikit. Tidak ada beda signifikan antar reaktor pada waktu tinggal 6 jam (Tabel Anova REAKT\_C Lampiran E halaman L-21), karena waktu kontak yang singkat antara bahan organik dengan media, mikroorganisme dan akar tanaman.



Gambar 4.5 TS, influen vs efisiensi penurunan

Tabel 4.4 Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
C1-KC <sup>a</sup>	-8.68	-1.41	1.18	-3.71	-3.57	-4.75	-4.70	-4.15	-29.78	-3.72
C2-KC <sup>b</sup>	-11.99	3.59	2.02	-3.89	-10.52	-16.96	-21.91	-15.65	-75.30	-9.41

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

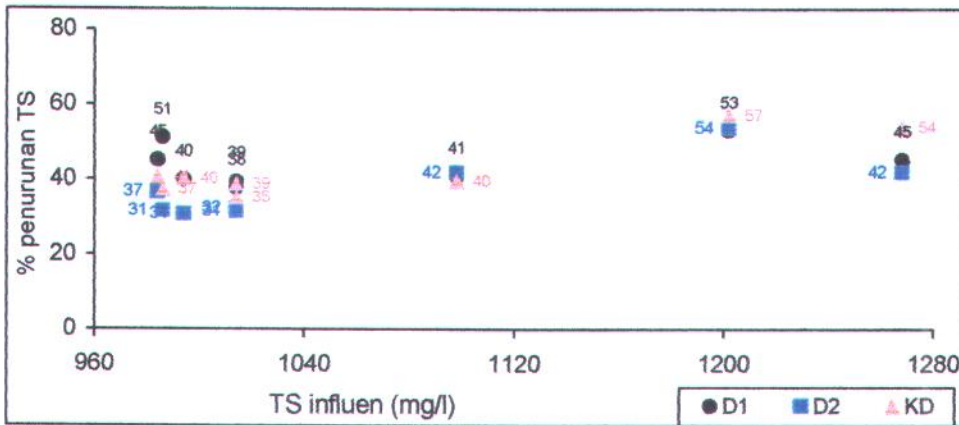
Proses penurunan padatan lebih dominan melalui proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi oleh media (Novotny dan Olem, 1994), karena media yang dipakai pasir kasar dengan koefisien permeabilitas rendah sehingga pori-pori media berfungsi sebagai filter bagi partikel padatan. Efisiensi penurunan TS paling dominan untuk waktu tinggal 6 jam terjadi pada media pasir (di atas 45%) (Lihat Tabel 4.6).

B. Penurunan TS pada Reaktor Persegipanjang

Gambar 4.6 menunjukkan pola titik-titik yang cenderung naik, dimana pada tiap kenaikan konsentrasi TS pada influen juga meningkatkan efisiensi penurunannya, kecuali pada reaktor kana, D2. Efisiensi penurunan TS pada reaktor cattail, D1 38-53%; kana, D2 31-54%; kontrol, KD 35-57% menunjukkan efisiensi penurunan TS reaktor D2 lebih rendah daripada lainnya, karena



perakaran kana lebih sedikit daripada perakaran *cattail*, sehingga proses filtrasi oleh akar dan mikroorganisme yang melekat pada akar lebih sedikit. Ketiga reaktor (D1, D2 dan KD) tidak ada beda signifikan dalam efisiensi penurunan TS (Tabel Anova REAKT\_D Lampiran E halaman L-21), karena waktu tinggal 6 jam menyebabkan kontak antara padatan dengan media, akar tanaman dan mikroorganisme lebih singkat.



Gambar 4.6 TS, influen vs efisiensi penurunan

Tabel 4.5 Selisih efisiensi penurunan TS oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
D1-KD <sup>a</sup>	-8.68	-3.99	1.28	-0.20	-1.18	4.34	13.79	4.47	9.83	1.23
D2-KD <sup>b</sup>	-11.99	-3.33	2.19	-9.66	-6.71	-3.75	-5.88	-4.07	-43.19	-5.40

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Proses penurunan padatan yang dominan adalah proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi oleh media (Novotny dan Olem, 1994; Stowell *et al*, 1980 dalam Khiatuddin, 2003). Efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 6 jam lebih banyak oleh media hingga 42,86% (Tabel 4.6).



### C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.6 Rata-rata efisiensi penurunan TS pada waktu tinggal 6 jam

Reaktor	C1	C2	KC	D1	D2	KD
Rata-rata % penurunan TS	41,96	36,27	45,69	44,09	37,46	42,86
	41,31			41,47		

Tabel 4.6 menampilkan rata-rata efisiensi penurunan TS dengan variasi waktu tinggal 6 jam. Reaktor bentuk geometris bujursangkar memiliki efisiensi penurunan TS yang kurang lebih sama dengan efisiensi penurunan pada reaktor dengan bentuk geometris persegi panjang (Tabel Anova Lampiran E halaman L-23). Beban hidrolis pada reaktor persegi panjang lebih besar dibandingkan pada reaktor bujursangkar (Lihat Tabel 3.2), namun waktu tinggal dalam reaktor yang 6 jam menyebabkan kontak antara partikel padatan dengan media dan akar tanaman singkat, sehingga efisiensi penurunan TS antara reaktor bujursangkar dengan persegi panjang tidak ada beda signifikan.

### 4.3 PENURUNAN COD

Proses penurunan bahan organik pada *constructed wetland* ini terjadi melalui proses secara fisik dan biologis (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Proses fisik yang terjadi melalui proses sedimentasi dan penangkapan bahan organik di ruang hampa pada kerikil atau media pasir. Bahan organik didegradasi oleh mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan media dan menempel pada akar tanaman, serta penetrasi rhizoma pada media (Reed, 1986 dalam Wood, 1990), selanjutnya bahan organik yang telah diuraikan menjadi bentuk sederhana diadsorpsi oleh tanaman untuk membentuk biomassa tanaman (Novotny dan



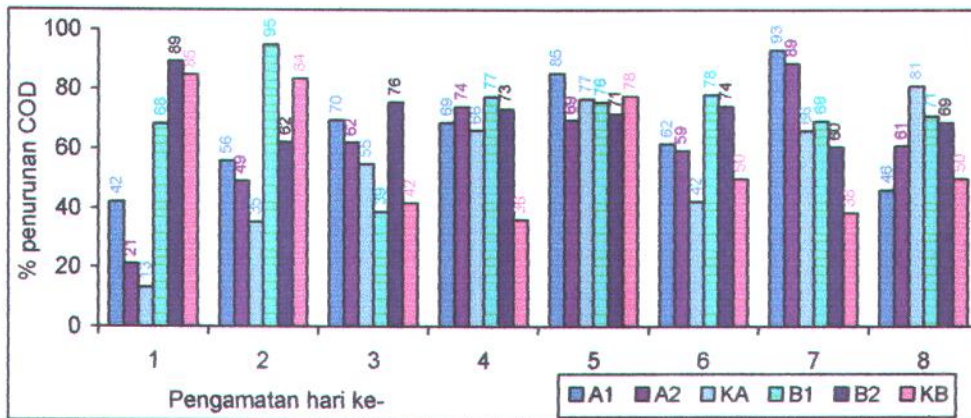
Olem, 1994). Proses masuknya air dan mineral (unsur anorganik yang berasal dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme) ke dalam tanaman melalui rhizoma. Perpanjangan sel-sel epidermis ini berdinding lengket dan melekat kuat pada partikel media pasir menjadikan rhizoma bersentuhan langsung dengan film air yang juga melekat kuat pada partikel media pasir. Mineral masuk dengan/tanpa air yang diserap akar, karena mineral masuk secara difusi akibat beda konsentrasi yaitu dari konsentrasi rendah (media pasir) ke konsentrasi tinggi (sel-sel akar). Air dan mineral tersebut akan diangkut hingga ke daun. Selanjutnya air dapat dipakai untuk fotosintesis dan evapotranspirasi (Kimball, 1983). COD berhubungan dengan padatan yang dapat mengendap dalam air bekas yang diturunkan konsentrasinya melalui sedimentasi. Sisa COD koloid dan terlarut diturunkan konsentrasinya melalui aktivitas mikroorganisme dan interaksi fisikokimia antara zona akar dengan matriks substrat (Wood, 1990). Pemakaian bahan organik oleh mikroorganisme dan akar tanaman menyebabkan bahan organik dalam air bekas akan berkurang, dan tanaman memakainya untuk proses pertumbuhan (adanya tunas baru) (Lihat Gambar 7 Lampiran D).

#### **4.3.1 Penurunan COD pada Waktu Tinggal 1 Hari**

Gambar 4.7 menunjukkan efisiensi penurunan COD pada hari ke-1 dan 2 pada reaktor persegi panjang (62-96%) lebih tinggi daripada pada reaktor bujursangkar (13-56%), sedangkan hari selanjutnya cenderung hampir sama. Analisa statistik menunjukkan tidak ada beda signifikan antar ketiga reaktor (Tabel Anova Lampiran E halaman L-26). Penurunan bahan organik dalam *constructed wetland* terjadi melalui proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi.



Proses sedimentasi terjadi karena air limbah melewati jaringan akar tanaman yang cukup panjang sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap (Wood, 1990). Waktu tinggal yang lebih panjang, padatan berkesempatan lebih besar untuk mengendap. Penghilangan padatan dengan filtrasi terjadi karena air limbah melewati media yang berpori sehingga padatan tertahan dalam pori-pori media tersebut. Proses yang terjadi adalah adsorpsi padatan pada pori-pori media. Akar tanaman yang menyediakan O<sub>2</sub> bagi bakteri aerobik untuk menguraikan bahan organik (Polprasert, 1989), selanjutnya bahan organik yang diuraikan menjadi bentuk sederhana dipakai oleh tanaman untuk membentuk biomassa (Novotny dan Olem, 1994).



**Gambar 4.7 Efisiensi Penurunan COD selama pengamatan 8 hari**

Ket.: A = reaktor bentuk bujursangkar; A1 = *cattail*; A2 = kana; KA = kontrol

B = reaktor bentuk persegi panjang; B1 = *cattail*; B2 = kana; KB = kontrol

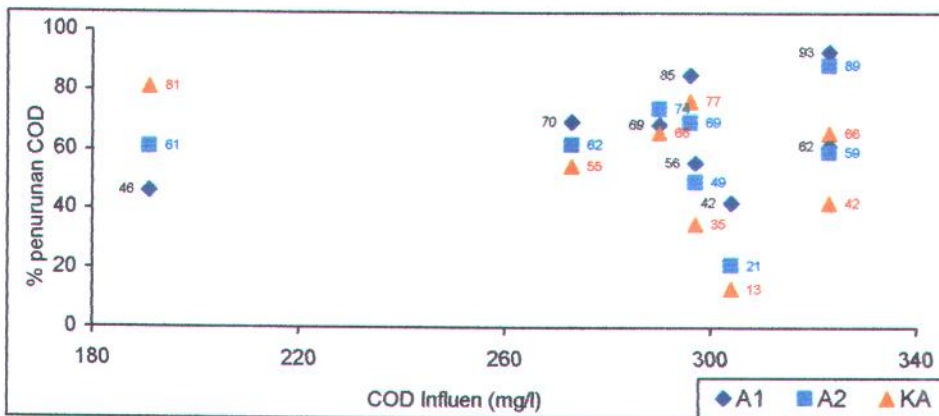
Sumber: hasil analisa dan perhitungan

#### A. Penurunan COD pada Reaktor Bujursangkar

Gambar 4.8 menunjukkan efisiensi penurunan dibandingkan dengan konsentrasi influen. Efisiensi penurunan pada reaktor kontrol, KA (13-81%) lebih rendah daripada kedua jenis reaktor tanaman yaitu reaktor *cattail*, A1 (42-93%)



dan kana, A2 (21-89%), karena tanaman memiliki fungsi sebagai tempat hidup mikroorganisme air yang juga berperan dalam mendegradasi bahan organik. Keberadaan akar tanaman juga sebagai penyedia oksigen yang berguna bagi kelangsungan bakteri aerobik (Polprasert, 1989), sekaligus sebagai adsorber bahan organik yang telah diuraikan oleh mikroorganisme yang selanjutnya dipakai tanaman untuk pembentukan biomassa tanaman (Novotny dan Olem, 1994).



Gambar 4.8 COD, influen vs efisiensi penurunan

Proses penurunan bahan organik pada reaktor kontrol tetap terjadi dengan adanya media pasir dengan koefisien permeabilitas rendah (0,01725 cm/detik), sehingga pori-pori media pasir berfungsi sebagai filter terhadap partikel-partikel padatan dan mendukung proses filtrasi dan sedimentasi. Rata-rata efisiensi penurunan COD yang paling baik pada reaktor *cattail*, A1 sebesar 65%, karena perakaran *cattail* lebih banyak daripada kana (Gambar 7 Lampiran D) dimana proses masuknya air dan mineral (bahan anorganik) terjadi melalui rhizoma yang selanjutnya diangkut ke batang dan daun (Kimball, 1983). Makin banyak perakaran, makin banyak air dan mineral yang terangkut, sehingga kadar bahan organik makin sedikit.





Tabel 4.7 Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
A1-KA <sup>a</sup>	28.91	20.51	14.95	2.61	8.66	19.25	27.18	-34.83	87.22	10.90
A2-KA <sup>b</sup>	7.89	14.03	7.33	7.82	-7.13	17.05	22.60	-20.06	49.52	6.19

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

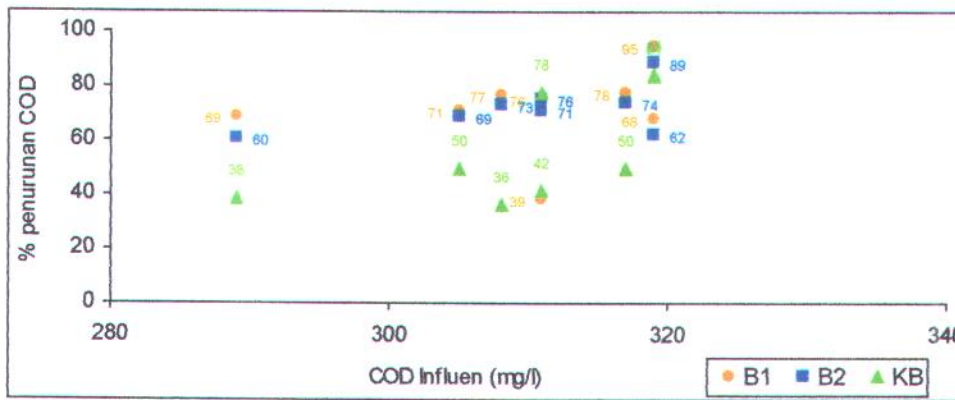
Tabel 4.7 menunjukkan efisiensi penurunan COD oleh *cattail* sebesar 10,9% dan kana 6,19%, serta media sekitar 54,34% (Tabel 4.9). Efisiensi penurunan COD lebih dominan pada media daripada pada tanaman.

#### B. Penurunan COD pada Reaktor Persegipanjang

Gambar 4.9 menunjukkan efisiensi penurunan dibandingkan dengan konsentrasi COD influen, dimana efisiensi penurunan COD pada reaktor kontrol, KB (36-85%) lebih rendah daripada reaktor *cattail*, B1 (39-95%) dan kana, B2 (60-89%); karena proses penurunan bahan organik tidak hanya oleh media tetapi oleh tanaman. Semakin lama jumlah mikroorganisme dalam reaktor semakin bertambah sehingga penguraian padatan juga semakin besar. Penambahan jumlah mikroorganisme ini terkait dengan semakin berkembangnya tanaman di dalam reaktor. Tanaman juga berfungsi sebagai adsorber bahan organik, penyedia oksigen bagi mikroorganisme sekaligus tempat melekatnya mikroorganisme pengurai (Polprasert, 1989; Novotny dan Olem, 1994). Akar tanaman yang semakin banyak meningkatkan suplai oksigen ke dalam reaktor, memperluas zone rizhosfer dan mampu memperluas area permukaan lekat mikroorganisme yang berperan dalam penguraian padatan (Polprasert *et al*, 1998). Peningkatan efisiensi penurunan bahan organik juga terkait dengan proses filtrasi dan sedimentasi di



mana perkembangan tanaman uji mampu meningkatkan efisiensi proses sedimentasi. Semakin banyaknya akar membantu mencegah terjadinya *clogging* pada proses filtrasi. Media pasir kasar memiliki koefisien permeabilitas rendah (antara 0,1-0,01 cm/detik) tidak jenuh air (Das *et al*, 1988), sehingga pori-pori mediana berfungsi sebagai filter bagi partikel padatan, sehingga proses fisik dapat berlangsung baik.



Gambar 4.9 COD, influen vs efisiensi penurunan

Tabel 4.8 Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
B1-KB <sup>a</sup>	-16.46	11.39	-3.06	41.24	-2.04	28.00	30.77	20.83	110.67	13.83
B2-KB <sup>b</sup>	4.43	-21.34	33.67	37.11	-6.12	24.00	21.98	18.75	112.48	14.06

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.8 menunjukkan efisiensi penurunan COD oleh *cattail* 13,83% dan kana 14,06%, serta media sebesar hampir 58% (Tabel 4.9). Rata-rata efisiensi penurunan COD antara kana dan *cattail* tidak beda, meski lebih tinggi kana (0,23%), karena dengan waktu tinggal yang lama ada proses absorpsi oleh tanaman, selain bakteri. Proses penurunan COD oleh media paling dominan,



karena waktu tinggal yang 1 hari, seperti halnya Tangahu (2001) untuk waktu tinggal 1 hari efisiensi penurunan COD sebesar 45-60% dengan beban COD influen 150-300 mg/l.

C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.9 Rata-rata efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 1 hari

Reaktor	A1	A2	KA	B1	B2	KB
Rata-rata % penurunan COD	65,27	60,56	54,34	71,62	71,85	57,79
	60,07			67,08		

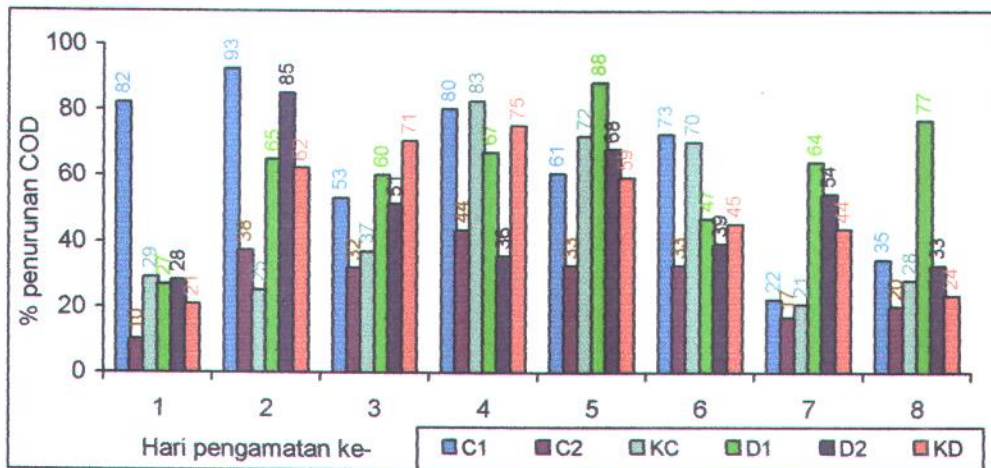
Tabel 4.9 menunjukkan efisiensi penurunan COD tidak ada beda signifikan antara bentuk bujursangkar dengan persegi panjang (Tabel Anova Lampiran E halaman L-26), karena waktu tinggal yang lama yaitu 1 hari menyebabkan padatan yang dapat mengendap dan melayang dalam air bekas dapat disisihkan dengan sedimentasi, dan padatan koloid juga disisihkan dengan adanya pertumbuhan mikroorganisme dan interaksi fisikokimia antara zona akar dengan matriks substrat (Wood, 1990). Bahan organik yang telah diuraikan menjadi bentuk sederhana akan diabsorpsi oleh akar tanaman untuk pertumbuhan tanaman (Kimball, 1983; Novotny dan Olem, 1994), yang ditunjukkan dengan adanya tunas baru (Gambar 7 Lampiran D).

4.3.2 **Penurunan COD pada Waktu Tinggal 6 Jam**

Gambar 4.10 menunjukkan efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 6 jam berkisar 10-90%. Efisiensi penurunan COD pada hari pertama untuk semua reaktor cenderung rendah (10-29%), kecuali reaktor bujursangkar-cattail, C1 (82%). Hari ke-2 efisiensi penurunan COD pada semua reaktor cenderung naik



(62-93%), kecuali reaktor kana, C2 (38%) dan reaktor kontrol, KC (26%). Nilai efisiensi penurunan yang rendah ini karena proses penurunan bahan organik terjadi melalui proses fisik (sedimentasi dan filtrasi) oleh media pasir, dan pertumbuhan mikroorganismenya yang masih sedikit menyebabkan penguraian secara biologis juga kecil. Terkadang kadar polutan lebih tinggi dalam efluen dibandingkan dalam influen, karena polutan yang ada dalam *wetland* malah masuk dan terlarut ke dalam air, bukannya *wetland* yang menyerap polutan yang ada dalam air, sehingga kinerja *wetland* terkadang menjadi negatif (Khatuddin, 2003).



**Gambar 4.10 Efisiensi Penurunan COD selama pengamatan 8 hari**

Ket.: C = reaktor bentuk bujursangkar; C1 = *cattail*; C2 = kana; KC = kontrol

D = reaktor bentuk persegi panjang; D1 = *cattail*; D2 = kana; KD = kontrol

Sumber: hasil analisa dan perhitungan

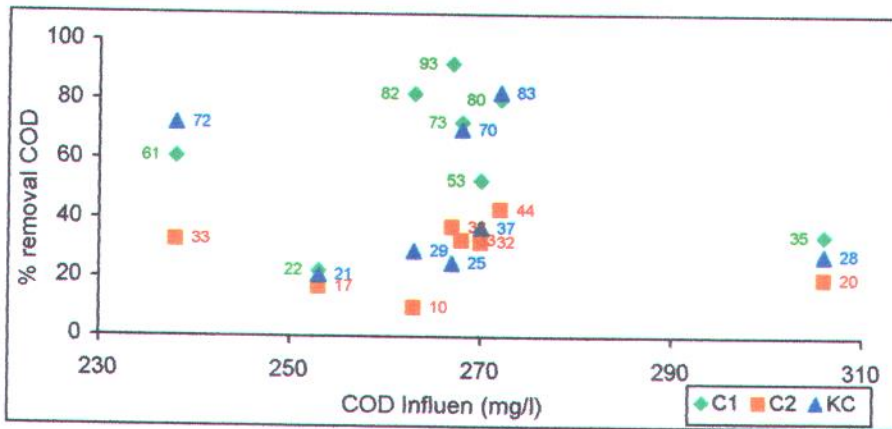
Hari ke-3 hingga ke-6 menunjukkan kenaikan efisiensi penurunan COD, kecuali pada reaktor kana, C2 (32-44%). Kenaikan ini menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri pengurai bahan organik disamping melalui proses fisik (sedimentasi dan filtrasi oleh media pasir). Hari ke-7 dan ke-8 hampir semua reaktor mengalami penurunan efisiensi, kecuali reaktor *cattail*, D1 (64-77%), hal



ini menunjukkan *cattail* memiliki biomassa yang besar, jaringan tanaman yang tumbuh horisontal dan vertikal yang menciptakan matriks yang ekstensif dalam mengikat partikel tanah, serta luas permukaan besar yang mampu mengambil nutrisi dan ion (Shutes, 2001).

#### A. Penurunan COD pada Reaktor Bujursangkar

Efisiensi penurunan COD pada reaktor bentuk geometris bujursangkar dibandingkan konsentrasi efluen COD ditampilkan pada Gambar 4.11, dimana, efisiensi penurunan COD pada reaktor kana, C2 paling rendah (10-44%) dibandingkan reaktor *cattail*, C1 (22-93%) dan reaktor kontrol, KC (21-83%).



Gambar 4.11 COD, influen vs efisiensi penurunan

Analisa statistik menunjukkan ada beda signifikan antara reaktor C1 dengan C2 (Tabel Anova Lampiran E halaman L-24), karena perakaran *cattail* lebih banyak daripada perakaran kana (Gambar 7 Lampiran D), akar *cattail* menyediakan tempat hidup mikroorganisme (Polprasert, 1989), dimana mikroorganisme bertugas menguraikan polutan dari bentuk kompleks menjadi lebih sederhana yang memudahkan akar untuk mengadsorbsinya. Akar tanaman yang semakin banyak meningkatkan suplai oksigen ke dalam reaktor, memperluas



zone rizhosfer dan mampu memperluas area permukaan lekat mikroorganisme yang berperan dalam penguraian padatan (Polprasert *et al*, 1998). Peningkatan efisiensi penurunan bahan organik juga terkait dengan proses filtrasi dan sedimentasi di mana perkembangan tanaman uji mampu meningkatkan efisiensi proses sedimentasi (Tangahu, 2001). Secara keseluruhan proses yang terjadi dalam penurunan polutan pada *wetland* dalam Novotny dan Olem (1994) meliputi proses fisik (sedimentasi dan filtrasi) dan proses fisik-kimia (adsorpsi polutan pada tanaman, tanah dan substrat organik), serta proses biokimia (degradasi biokimia secara aerobik oleh bakteri dalam air, yang melekat pada tanaman, batang dan zona aerobik dekat akar dan rhizoma tanaman).

Tabel 4.10 Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
C1-KC <sup>a</sup>	53.16	67.50	16.05	-2.45	-11.22	2.49	1.49	6.54	133.57	16.70
C2-KC <sup>b</sup>	-18.99	12.50	-4.94	-39.26	-39.26	-37.32	-3.96	-7.85	-139.08	-17.38

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

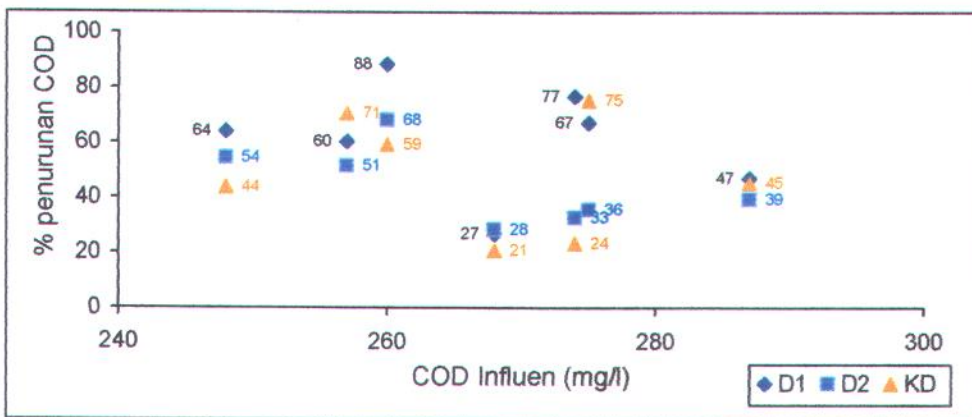
Dengan adanya tanaman, proses degradasi polutan lebih cepat dibandingkan tanpa tanaman, karena fungsi tanaman sebagai adsorber polutan, sekaligus tempat melekatnya bakteri pengurai, dimana *cattail* menurunkan COD 16,7% (Tabel 4.10) dan media 45,62% (Tabel 4.12).

#### B. Penurunan COD pada Reaktor Persegipanjang

Gambar 4.12 menunjukkan efisiensi penurunan COD pada reaktor *cattail*, D1 (27-88%), reaktor kana, D2 (28-68%) dan reaktor kontrol, KD (21-75%), dimana reaktor D1 memiliki efisiensi penurunan COD lebih tinggi daripada



perakaran kana (Gambar 7 Lampiran D), akar *cattail* menyediakan tempat hidup mikroorganisme (Polprasert, 1989), dimana mikroorganisme bertugas menguraikan polutan dari bentuk kompleks menjadi lebih sederhana yang memudahkan akar untuk mengadsorbsinya. Akar tanaman yang semakin banyak meningkatkan suplai oksigen ke dalam reaktor, memperluas zone rizhosfer dan mampu memperluas area permukaan lekat mikroorganisme yang berperan dalam penguraian padatan (Polprasert *et al*, 1998). Peningkatan efisiensi penurunan bahan organik juga terkait dengan proses filtrasi dan sedimentasi di mana perkembangan tanaman uji mampu meningkatkan efisiensi proses sedimentasi (Tangahu, 2001). Peningkatan ini dapat disebabkan karena mikroorganisme dalam air telah terbentuk dan ikut andil dalam biodegradasi bahan organik, selain dari proses adsorpsi bahan organik oleh akar tanaman dan penyediaan oksigen dari akar tanaman untuk mikroorganisme dalam air.



Gambar 4.12 COD, influen vs efisiensi penurunan



Tabel 4.11 Selisih efisiensi penurunan COD oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
D1-KD <sup>a</sup>	5.97	2.70	-10.29	-8.22	28.99	1.52	20.18	53.31	94.14	11.77
D2-KD <sup>b</sup>	7.46	22.91	-19.12	-39.73	8.70	-6.06	10.53	9.27	-6.04	-0.75

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.11 menunjukkan efisiensi penurunan COD oleh *cattail* 11,77%.

Efisiensi penurunan oleh media 50,16% (Tabel 4.12)

### C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.12 Rata-rata efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 6 jam

Reaktor	C1	C2	KC	D1	D2	KD
Rata-rata %	62,32	28,24	45,62	61,93	49,41	50,16
penurunan COD	45,39			53,83		

Tabel 4.12 menunjukkan efisiensi penurunan COD pada waktu tinggal 6 jam antara reaktor bujursangkar (C1, C2, dan KC) dengan reaktor persegi panjang (D1, D2 dan KD) ada beda signifikan (Lampiran E halaman L-26, L-27) yaitu reaktor C2 dengan C1 dan D1; karena perakaran pada *cattail* lebih banyak daripada perakaran kana (Gambar 7 Lampiran D). Akar *cattail* sebagai penyedia O<sub>2</sub> dan pelekatan mikroorganisme air yang menguraikan bahan organik (Polprasert, 1989). Penghilangan COD dalam bentuk koloid dan terlarut melalui aktivitas mikroorganisme dan ikatan fisikokimia antara zona akar dengan substrat (Wood, 1990). Analisa statistik menunjukkan tidak ada beda signifikan antara reaktor yang ditanami dengan tidak ditanami untuk dua macam bentuk geometris reaktor, dan antara bentuk persegi panjang dengan bujursangkar, kecuali reaktor C2 dengan C1 dan D1; karena waktu tinggal 6 jam menyebabkan kontak bahan





organik dengan media, akar tanaman, mikroorganisme singkat, sehingga bahan organik yang diturunkan juga lebih sedikit.

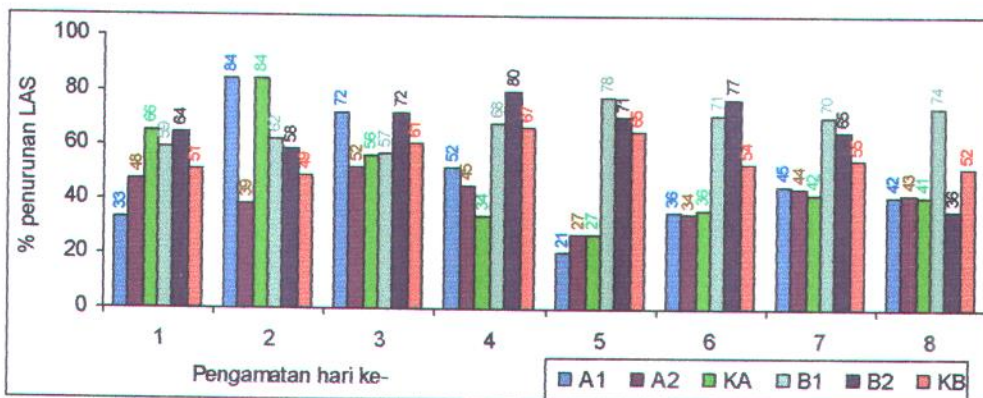
#### 4.4 PENURUNAN LAS

Surfaktan merupakan senyawa sintetis organik yang menyebabkan turunnya tegangan permukaan zat cair, utamanya air, sehingga menyebabkan terjadinya pembentukan gelembung dan pengaruh permukaan lainnya yang memungkinkan zat ini berfungsi sebagai zat pembersih. Deterjen adalah surfaktan dengan berbagai tambahan bahan lain untuk membantu proses pembersihan seperti *builder*, parfum, pemutih dan sebagainya (Connell dan Miller, 1995). Deterjen anionik sering digunakan secara luas (Sawyer, 1993). LAS merupakan salah satu deterjen anionik yang pemakaiannya di atas 25% formula deterjen dan pemakaiannya untuk kebutuhan domestik dan industri seperti industri cat, fotografi, polimer dan pemrosesan tekstil. (USA, 2003). Berth dan Jeschke (1989 dalam Takada *et al*, 1994) menyatakan  $\pm 1,8$  juta ton LAS diproduksi pertahun di dunia. LAS memasuki sungai di perkotaan secara langsung baik melalui proses pengolahan maupun tidak. Lewis (1991 dalam Takada *et al*, 1994) membuktikan LAS beracun bagi biota perairan dan keracunan akut terjadi jika konsentrasinya di perairan melebihi 0,1 mg/l. Penghilangan LAS dari perairan pernah dilakukan dengan *wetland* oleh Inaba *et al* (1988 dalam Takada *et al*, 1994). Inaba (1992) juga membuktikan adanya proses purifikasi secara alami di *wetland* terhadap LAS. MBAS merupakan suatu analisa yang menentukan kadar LAS yang tertinggal dalam air limbah (Kimerle dan Swisher, 1977).



#### 4.4.1 Penurunan LAS pada Waktu Tinggal 1 Hari

Gambar 4.13 menggambarkan efisiensi penurunan deterjen terhadap waktu dengan waktu tinggal 1 hari, menunjukkan efisiensi yang dicapai berada dalam kisaran 20-80%. Efisiensi penurunan LAS pada reaktor bujursangkar-*cattail*, A1 21-84%; kana, A2 27-46%; kontrol, KA 36-84%; dan reaktor persegi panjang-*cattail*, B1 59-78%; kana, B2 36-80%; kontrol, KB 49-67%. Efisiensi penurunan LAS cenderung sama selama 8 hari pengamatan, tetapi ada beda signifikan antara reaktor bujursangkar dengan reaktor persegi panjang (Tabel Anova Lampiran E halaman L-30). Reaktor persegi panjang memberikan efisiensi penurunan LAS lebih tinggi daripada reaktor bujursangkar. Terkadang kadar polutan lebih tinggi dalam efluen daripada dalam influen, karena polutan yang ada dalam *wetland* malah masuk dan terlarut ke dalam air, bukannya *wetland* yang menyerap polutan yang ada dalam air, sehingga kinerja *wetland* kadang-kadang menjadi negatif (Khatuddin, 2003).



**Gambar 4.13 Efisiensi Penurunan LAS selama pengamatan 8 hari**

Ket.: A = reaktor bentuk bujursangkar; A1 = *cattail*; A2 = kana; KA = kontrol

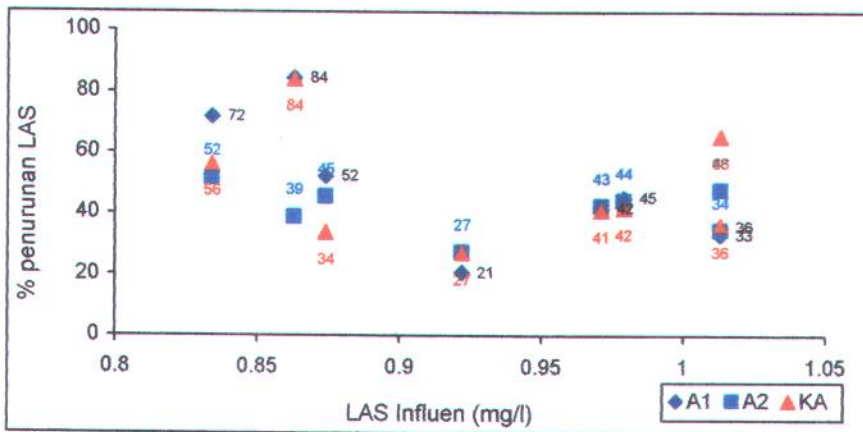
B = reaktor bentuk persegi panjang; B1 = *cattail*; B2 = kana; KB = kontrol

Sumber: hasil analisa dan perhitungan



A. Penurunan LAS pada Reaktor Bujursangkar

Gambar 4.14 menampilkan efisiensi penurunan LAS pada reaktor bujursangkar dibandingkan dengan konsentrasi LAS influen. Efisiensi penurunan LAS pada reaktor kana, A2 27-52%; *cattail*, A1 21-84%; kontrol, KA 21-84%. Secara statistik tidak ada beda signifikan antar reaktor dalam penurunan LAS (Tabel Anova REAKTR\_A Lampiran E halaman L-29), menunjukkan terjadinya penurunan LAS dalam air bekas domestik melalui proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi oleh media pasir (Kuchler dan Schnaak, 1997), adsorpsi oleh media pasir (Inaba, 1992) dan biodegradasi secara aerobik oleh mikroorganisme dan adsorpsi unsur anorganik oleh akar tanaman. Degremont (1991) menyatakan bahwa asam lemak yang dihasilkan dari proses penguraian deterjen adalah sumber makanan bagi bakteri, yang dipakai oleh bakteri untuk pembentukan biomasnya dan bahan anorganik.



Gambar 4.14 Deterjen, influen vs efisiensi penurunan



Tabel 4.13 Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)

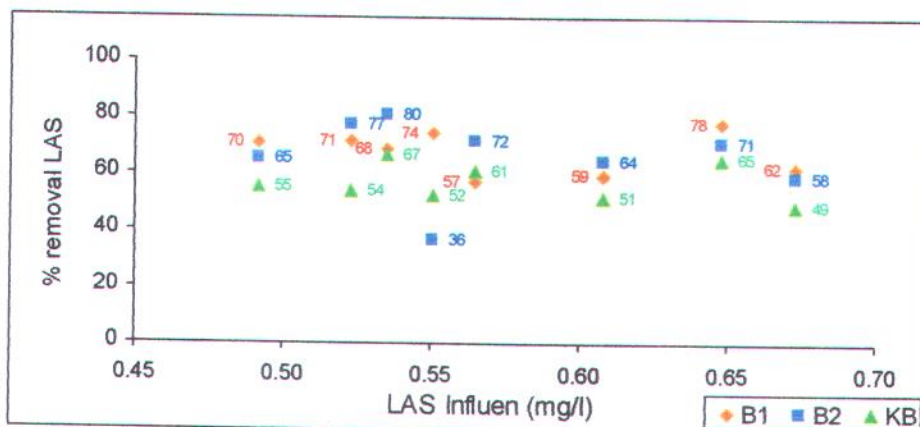
Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
A1-KA	-32.43	0.14	15.74	18.47	-6.52	-0.74	3.23	0.52	-1.59	-0.20
A2-KA	-17.79	-45.51	-4.53	11.74	0.00	-1.79	2.40	1.22	-54.26	-6.78

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Penurunan LAS pada reaktor bujursangkar lebih banyak oleh media 48,28% (Tabel 4.15), karena pasir adalah media yang tak jenuh air dan berpori banyak sehingga efektif sebagai filter air bekas.

### B. Penurunan LAS pada Reaktor Persegipanjang

Gambar 4.15 tampak efisiensi penurunan LAS berkisar 40-80%. Efisiensi penurunan LAS antara reaktor tanaman (cattail, B1 dan kana, B2) dengan reaktor kontrol, KB tidak ada beda signifikan (Tabel Anova REAKTR\_B Lampiran E halaman L-29), karena degradasi LAS lebih cepat jika terjadi melalui adsorpsi oleh media dan biodegradasi oleh bakteri dalam kondisi aerobik dengan waktu tinggal yang lama, sehingga dapat terjadi mineralisasi yang dapat menurunkan LAS (Moreno *et al*, 1994).



Gambar 4.15 LAS, influen vs efisiensi penurunan



Tabel 4.14 Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
B1-KB	7.82	13.49	-3.65	1.64	12.95	17.83	15.78	22.39	88.23	11.03
B2-KB	12.86	9.49	10.85	13.68	5.70	23.69	10.20	-15.55	70.93	8.87

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Waktu tinggal 1 hari menyebabkan kontak antara air bekas yang mengandung LAS dengan media pasir, mikroorganisme (dalam hal ini bakteri aerobik) lebih lama. Penurunan LAS oleh cattail 11,03%, kana 8,87% dan media 56,56% (Tabel 4.15).

### C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.15 Rata-rata efisiensi penurunan LAS pada waktu tinggal 1 hari

Reaktor	A1	A2	KA	B1	B2	KB
Rata-rata % penurunan LAS	48,08	41,50	48,28	67,59	65,43	56,56
	45,96			63,19		

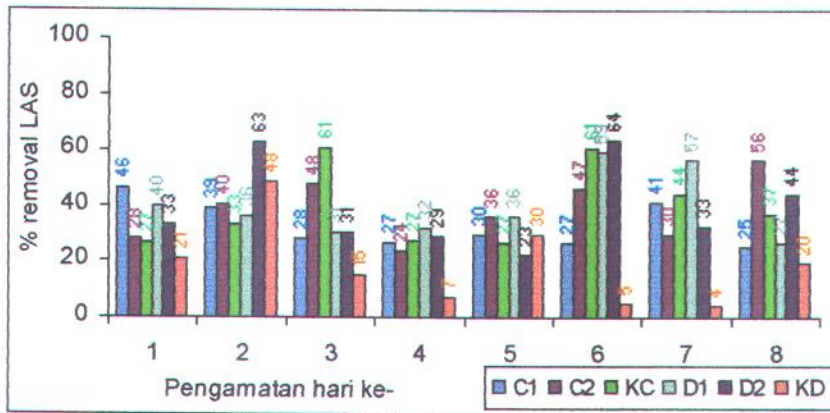
Efisiensi penurunan LAS pada reaktor persegi panjang (B1, B2 dan KB) lebih tinggi daripada reaktor bujur sangkar (A1, A2 dan KA) untuk waktu tinggal 1 hari. LAS diturunkan melalui mineralisasi selama waktu tinggal yang tinggi dimana selama itu terjadi proses fisik yaitu sedimentasi dan filtrasi oleh media pasir (Kuchler dan Schnaak, 1997), adsorpsi oleh media pasir (Inaba, 1992). LAS yang lambat didegradasi (*nondegradable*) meninggalkan sistem melalui adsorpsi oleh media dan biodegradasi lebih lanjut secara aerobik (Moreno *et al*, 1994).

Tabel 4.15 menunjukkan efisiensi penurunan LAS dengan waktu tinggal 1 hari pada reaktor bujur sangkar 41,5-48,28% (penurunan LAS yang utama oleh media) dan reaktor persegi panjang 56,56-67,59% (penurunan LAS oleh tanaman



8,87-11,03% dan media 56,56%), yang nilainya lebih rendah daripada yang dilakukan oleh Del Bubba *et al* (2000) untuk waktu tinggal 5 hari pada *constructed wetland* aliran *subsurface* penurunan LAS hingga 94%, karena waktu tinggal yang lebih pendek (1 hari) sedangkan LAS dapat disisihkan dari sistem secara mineralisasi oleh bakteri dalam waktu tinggal yang lama (Moreno *et al*, 1994).

#### 4.4.2 Penurunan LAS pada Waktu Tinggal 6 Jam



**Gambar 4.16 Efisiensi Penurunan LAS selama pengamatan 8 hari**

Ket.: C = reaktor bentuk bujursangkar; C1 = *cattail*; C2 = kana; KC = kontrol

D = reaktor bentuk persegi panjang; D1 = *cattail*; D2 = kana; KD = kontrol

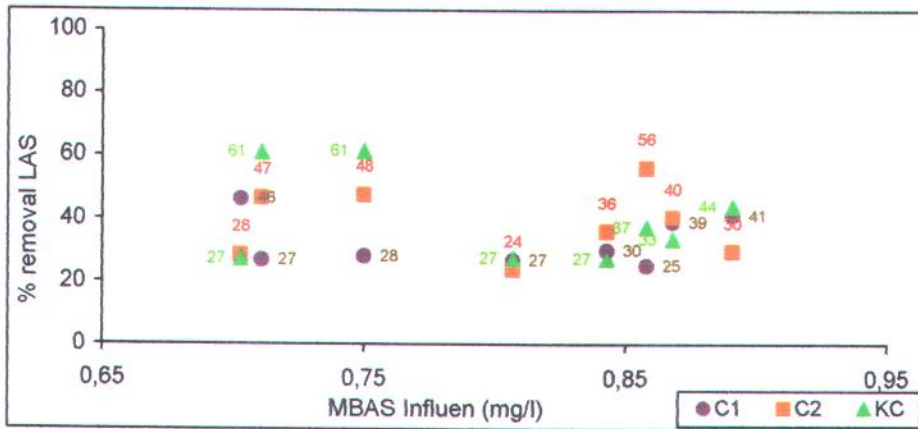
Sumber: hasil analisa dan perhitungan

Gambar 4.16 menampilkan efisiensi penurunan 6 reaktor yaitu 2 reaktor uji *cattail* (C1, D1), 2 reaktor uji kana (C2, D2) dan 2 reaktor kontrol (KC, KD) selama 8 hari pengamatan. Efisiensi penurunan LAS untuk reaktor uji berkisar antara 22-64%, untuk reaktor kontrol 4-61%. Degradasi LAS terjadi secara cepat jika kondisi aerobik, dimana oksigen dipakai oleh mikroorganisme untuk mendegradasi LAS. Proses degradasi LAS yang utama adalah adsorpsi oleh media (Inaba, 1992) dan biodegradasi oleh mikroorganisme secara aerobik (Moreno *et al*, 1994).



### A. Penurunan LAS pada Reaktor Bujursangkar

Gambar 4.17 menampilkan efisiensi penurunan LAS pada 2 reaktor uji (C1, C2) dan reaktor kontrol (KC). Efisiensi penurunan LAS berkisar 20-60% (termasuk rendah), karena waktu tinggal yang singkat yaitu 6 jam, sehingga adsorpsi LAS oleh media singkat, sehingga proses adsorpsi LAS oleh media sedikit dibandingkan waktu tinggal 1 hari.



Gambar 4.17 LAS, influen vs efisiensi penurunan

Tabel 4.16 Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)

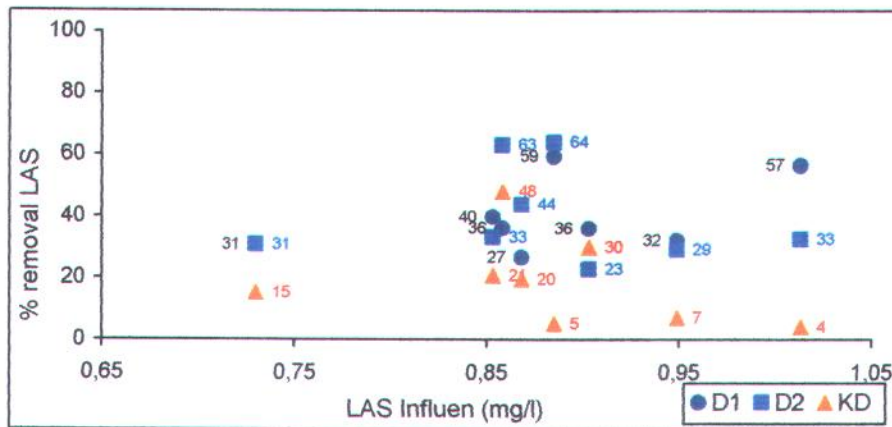
Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
C1-KC <sup>a</sup>	19.33	5.60	-33.26	-0.47	2.82	-33.95	-2.72	-12.03	-54.68	-6.83
C2-KC <sup>b</sup>	1.42	7.15	-13.61	-3.41	8.83	-14.25	-14.28	19.14	-9.01	-1.13

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.16 menunjukkan penurunan LAS yang utama oleh media sebesar 39,73%; karena waktu tinggal yang singkat menyebabkan kontak air bekas domestik yang mengandung LAS dengan akar tanaman dan mikroorganisme lebih singkat, dan ketebalan pasir 40 cm dengan koefisien permeabilitas rendah menyebabkan pasir berfungsi sebagai filter.



B. Penurunan LAS pada Reaktor Persegipanjang



Gambar 4.18 LAS, influen vs efisiensi penurunan

Gambar 4.18 menunjukkan efisiensi penurunan LAS untuk tiap-tiap reaktor, dimana efisiensi penurunan yang dicapai berkisar 4-60%. Rendahnya efisiensi penurunan pada reaktor kontrol (KD) disebabkan waktu tinggal yang singkat, sehingga proses adsorpsi LAS oleh media lebih kecil. Selain itu, tidak adanya tanaman sebagai penyedia oksigen dan tempat melekatnya mikroorganisme menyebabkan penurunan LAS pada reaktor kontrol lebih rendah dibandingkan pada reaktor uji. Tanaman air memiliki sistem akar rhizoma yang mengandung saluran udara tebal tempat ujung rambut menggantung dan bercabang yang tumbuh vertikal ke atas dari rhizoma. Oksigen dari udara diserap melalui daun diteruskan ke batang sampai ke akar, kemudian oksigen terpecah di ujung akar membentuk film tipis yang mengelilingi akar. Penumpukan oksigen di daerah akar membantu pertumbuhan mikroorganisme aerobik yang ada dalam air (Nurachman, 1996 dalam Prasetyo, 2002).





Tabel 4.17 Selisih efisiensi penurunan LAS oleh tanaman (%)

Hari	1	2	3	4	5	6	7	8	Jumlah	rerata
D1-KD <sup>a</sup>	18.99	-12.17	15.52	24.92	6.03	54.07	52.51	6.99	166.85	20.86
D2-KD <sup>b</sup>	12.32	14.72	15.52	21.82	-7.21	58.73	28.41	24.21	168.53	21.07

Ket.: a = selisih efisiensi penurunan TS media+cattail dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol ; b = selisih efisiensi penurunan TS media+kana dikurangi efisiensi penurunan TS reaktor kontrol; Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.17 menunjukkan penurunan LAS oleh cattail 20,86%, kana 21,07%; dan media 18,87% (Tabel 4.18).

### C. Perbandingan Penurunan TS untuk Variasi Bentuk Geometris Reaktor

Tabel 4.18 Rata-rata efisiensi penurunan LAS pada waktu tinggal 6 jam

Reaktor	C1	C2	KC	D1	D2	KD
Rata-rata %	32,89	38,60	39,73	39,72	39,93	18,87
penurunan LAS	37,07			32,84		

Tabel 4.18 menunjukkan efisiensi penurunan LAS antara reaktor bujursangkar dengan reaktor persegi panjang tidak ada beda signifikan (Tabel Anova Lampiran E halaman L-32), kecuali pada reaktor kontrol, D0 (Tabel *Multiple Comparasion* Lampiran E halaman L-32), karena beban hidrolis pada reaktor persegi panjang lebih besar daripada reaktor bujursangkar (Tabel 3.2), juga pada reaktor kontrol, KD proses penurunan LAS hanya melalui adsorpsi media (Inaba, 1992), dimana degradasi LAS lebih cepat dalam kondisi aerobik (Moreno *et al*, 1994), sedangkan tanpa adanya akar tanaman yang menyediakan oksigen bagi bakteri aerobik, maka proses degradasi LAS oleh bakteri lebih lambat.

Efisiensi penurunan LAS pada reaktor uji kana (C2, D2) sedikit tinggi daripada cattail (C1, D1), karena bentuk daun kana lebih lebar (Gambar 7 Lampiran D), sehingga proses transpirasi oleh kana lebih besar menyebabkan



tanaman kekurangan air dan untuk mengatasinya tanaman akan menyerap air sebagai gantinya. Air yang terserap ikut melarutkan unsur anorganik dalam air bekas. Difusi menyebabkan air mengalir dari media *wetland* masuk ke akar, selanjutnya air dan unsur anorganik terbawa untuk proses fotosintesis dan evapotranspirasi, sehingga konsentrasi LAS pada efluen lebih rendah.

#### 4.5 HUBUNGAN ANTAR PARAMETER

Setelah penelitian dilakukan, maka hubungan antar parameter dianalisa yaitu COD, TS dan LAS. COD berhubungan dengan padatan yang dapat mengendap -dalam air bekas- yang dapat disisihkan dengan proses pengendapan. COD yang tertinggal dalam bentuk koloid dan terlarut dalam air bekas tersebut disisihkan oleh aktivitas mikrobial dan melalui ikatan fisikokimia antara matriks substrat dengan zona akar (Wood, 1990).

Penghilangan padatan terjadi dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) yang lama, sehingga padatan yang dapat mengendap dan melayang dalam air bekas dapat disisihkan. Padatan koloid juga disisihkan dengan adanya pertumbuhan mikroorganisme (Wood, 1990). Penghilangan LAS dapat terjadi dengan cepat dalam kondisi aerobik. Penghilangan LAS secara biodegradasi dipengaruhi mikroorganisme (Kimerle dan Swisher, 1977) dan suhu, sedangkan adsorpsi oleh media tidak dipengaruhi suhu (Inaba, 1992). Konsentrasi LAS juga diturunkan melalui biodegradasi yang diakibatkan mineralisasi selama waktu tinggal yang tinggi. LAS yang lambat didegradasi (dianggap sebagai ABS) meninggalkan sistem melalui adsorpsi oleh media dan biodegradasi lebih lanjut secara aerobik (Moreno *et al*, 1994).



Penurunan TS mempengaruhi penurunan COD, karena COD berhubungan dengan padatan yang dapat mengendap -dalam air bekas- yang dapat disisihkan dengan proses pengendapan. COD yang tertinggal dalam bentuk koloid dan terlarut dalam air bekas tersebut disisihkan oleh aktivitas mikrobia dan melalui ikatan fisikokimia antara matriks substrat dengan zona akar (Wood, 1990). Namun terkadang penurunan COD tidak disertai dengan penurunan TS.

Degremont (1991) menyatakan bahwa kombinasi polifosfat dengan surfaktan dalam deterjen akan meningkatkan kandungan fosfat dalam air. Surfaktan dalam deterjen ikut menyumbangkan sebagian dari kandungan fosfat dalam air bekas dan juga meningkatkan substrat dalam air bekas berupa garam-garaman jika ada ion logam (Wood, 1990). Penurunan LAS tidak mempengaruhi secara langsung penurunan COD dan TS, karena penurunan COD dan TS terjadi akibat proses sedimentasi dan filtrasi, biodegradasi oleh mikroorganisme, juga absorpsi oleh akar tanaman. Sedangkan penurunan LAS diakibatkan mineralisasi oleh bakteri selama waktu tinggal yang lama, proses adsorpsi oleh media dan biodegradasi aerobik lebih lanjut (Inaba, 1992; Moreno *et al*, 1994).

#### 4.6 RINGKASAN HASIL PENELITIAN

Pengolahan air bekas domestik dengan *constructed wetland* aliran *subsurface* didapatkan efisiensi penurunan TS, COD dan deterjen (LAS):

- Waktu tinggal 1 hari pada reaktor bujursangkar-*cattail* sebesar 52%; 65%; 48%; reaktor bujursangkar-kana sebesar 56%; 61%; 42%; reaktor bujursangkar-kontrol sebesar 52,81%; 54,37%; 48,28%.



- Waktu tinggal 1 hari pada reaktor persegi panjang-*cattail* sebesar 41%; 72%; 68%; reaktor persegi panjang-kana sebesar 46%; 72%; 65%; reaktor persegi panjang-kontrol sebesar 41,21%; 57,79%; 56,56%.
- Waktu tinggal 6 jam pada reaktor bujur sangkar-*cattail* sebesar 42%; 62%; 33%; reaktor bujur sangkar-kana sebesar 36%; 28%; 39%; reaktor bujur sangkar kontrol sebesar 45,69%; 45,62%; 39,72%.
- Waktu tinggal 6 jam pada reaktor persegi panjang-*cattail* sebesar 44%; 62%; 40%; reaktor persegi panjang-kana dengan waktu tinggal 6 jam sebesar 37%; 49%; 40%; reaktor persegi panjang-kontrol sebesar 42,86%; 50,16%; 18,87%.
- Penurunan TS tertinggi oleh media 52,81%; *cattail* 1,23%; 4,58%. Penurunan COD tertinggi oleh media 57,79%; *cattail* 13,83%; kana 14,06%. Penurunan LAS tertinggi oleh media sebesar 56,56%; *cattail* 20,86%; kana 21,07%.
- Efisiensi penurunan TS tertinggi pada reaktor bujur sangkar-kana dengan waktu tinggal 1 hari sebesar 56%.
- Efisiensi penurunan COD tertinggi pada reaktor persegi panjang-kana dengan waktu tinggal 1 hari sebesar 72%.
- Efisiensi penurunan LAS tertinggi pada reaktor persegi panjang-*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari sebesar 68%.
- Penurunan COD, LAS yang tertinggi pada reaktor persegi panjang-*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 72%; 68%.
- Penurunan TS yang tertinggi pada reaktor bujur sangkar-kana dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 56%.



- Penurunan TS, COD, LAS yang cukup tinggi pada reaktor bujursangkar-*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 52%; 65%; 48%.
- Media pasir berkedalaman 40 cm menyebabkan proses penurunan TS, COD dan LAS lebih banyak melalui proses fisik (filtrasi dan sedimentasi) oleh media daripada penurunan oleh tanaman (*cattail* dan kana).
- Penurunan TS untuk waktu tinggal 1 hari yang baik pada reaktor bujursangkar, sedangkan waktu tinggal 6 jam yang baik pada reaktor persegi panjang.
- Penurunan COD untuk waktu tinggal 1 hari dan 6 jam yang baik pada reaktor persegi panjang.
- Penurunan LAS untuk waktu tinggal 1 hari yang baik pada reaktor persegi panjang, sedangkan waktu tinggal 6 jam yang baik pada reaktor bujursangkar.
- Waktu tinggal yang lama berpengaruh terhadap penurunan TS, COD dan LAS pada air bekas domestik.
- Kelemahan dalam penelitian ini:
  - Tidak mengukur secara terinci kondisi tanaman uji di awal (jumlah daun, jumlah akar, tinggi tanaman, panjang akar, jumlah rhizoma).
  - Tidak mengukur pengaruh mikroorganisme dalam penurunan TS, COD dan LAS dalam air bekas domestik.
  - Tidak memakai kontrol hidroponik untuk mengetahui penurunan konsentrasi TS, COD dan LAS pada air bekas domestik.



- Media *wetland* yang lebih dominan dalam menurunkan TS, COD dan LAS daripada tanaman uji (*cattail* dan *kana*).



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian adalah:

1. Efisiensi penurunan TS, COD dan LAS untuk waktu tinggal 1 hari pada reaktor bujursangkar-*cattail* sebesar 52%; 65%; 48%; dan reaktor bujursangkar-kana sebesar 56%; 61%; 42%; reaktor persegi panjang-*cattail* sebesar 41%; 72%; 68%; dan reaktor persegi panjang-kana sebesar 46%; 72%; 65%.
2. Efisiensi penurunan TS, COD dan LAS untuk waktu tinggal 6 jam pada reaktor bujursangkar-*cattail* sebesar 42%; 62%; 33%; dan reaktor bujursangkar-kana sebesar 36%; 28%; 39%; reaktor persegi panjang-*cattail* sebesar 44%; 62%; 40%; dan reaktor persegi panjang-kana dengan waktu tinggal 6 jam sebesar 37%; 49%; 40%.
3. Penurunan TS tertinggi oleh media 52,81%; *cattail* 1,23%; 4,58%. Penurunan COD tertinggi oleh media 57,79%; *cattail* 13,83%; kana 14,06%. Penurunan LAS tertinggi oleh media 56,56%; *cattail* 20,86%; kana 21,07%.
4. Penurunan COD, LAS yang tertinggi pada reaktor persegi panjang-*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 72%; 68%.
5. Penurunan TS yang tertinggi pada reaktor bujursangkar-kana dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 56%.
6. Penurunan TS, COD, LAS yang cukup tinggi pada reaktor bujursangkar-*cattail* dengan waktu tinggal 1 hari yaitu sebesar 52%; 65%; 48%.



7. Waktu tinggal yang lama berpengaruh terhadap penurunan TS, COD dan LAS pada air bekas domestik.

## 5.2 SARAN

Adapun saran dalam penelitian adalah:

1. Media pasir sesuai diterapkan pada sistem *subsurface constructed wetland* yang mengolah air bekas domestik, karena memiliki porositas dan memudahkan akar tanaman berkembang.
2. Kana dan *cattail* dapat dipakai menurunkan konsentrasi TS, COD dan LAS pada air bekas domestik, selain nilai estetika yang dimiliki kedua tanaman tersebut.
3. Monitoring terhadap pengaruh mikroorganisme perlu dilakukan dan pengukuran oksigen yang dilepaskan oleh akar tanaman uji, agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap penurunan polutan pada *wetland*.
4. Kontrol hidroponik perlu dicoba agar diketahui penurunan konsentrasi TS, COD dan LAS oleh tanaman saja.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Ayaz, S.C. and Akça, L. 2000. *Treatment garden: a recirculating constructed wetland for individual houses*. Proceedings of 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland System for Water Pollution Control (Lake Buena Vista, Florida). November 11-16 pp.1061-1069.
- Brix, H. and Schierup, H.H. 1990. *Soil oxygenation in construction reed beds: the role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport*. Proceedings of the Int.Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control. (Cambridge, UK). September 24-28.pp.53-66.
- Campbell, C.S. and Ogden, M.H. 1999. *Constructed wetlands in sustainable landscape*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. Canada.
- Connel, D.W., Miller, G.J., Koestoer, Y. dan Sahati (ed). 1995. *Kimia dan ekotoksikologi pencemaran*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Crites, R. and Tchobanoglous, G. 1998. *Small decentralized wastewater management system*. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- Das, B.M., Endah, N. dan Mochtar, I.B. 1988. *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*. Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
- Degremont. 1991. *Water treatment book*. A Halsted Press Book. John Wiley & Sons. New York.
- Del Bubba, M., Lepri, L., Cincinelli, A., Griffini, O. and Tabani, F. 2000. *Linear alkylbenzenesulfonates (LAS) removal in a pilot submerged horizontal flow constructed wetland*. Proceedings of 7<sup>th</sup> International Conference on



- Wetland System for Water Pollution Control (Lake Buena Vista, Florida).  
November 11-16 pp.919-925.
- Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okun, D. 1968. *Water and Wastewater Engineering, vol. 2: Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*. John Wiley, New York
- Hakim, N. 1986. *Dasar-dasar ilmu tanah*. Universitas Lampung.
- Inaba, K. 1992. *Quantitative assessment of natural purification in wetland for linear alkylbenzenesulfonates*. *Wat.Res.* 26 (7) pp.893-898.
- Khiatuddin, M. 2003. *Melestarikan Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa Buatan*. Gajah Mada University Pers. Yogyakarta.
- Kimball, J. , Tjirosomo, S.S., dan Sugiri, N.(ed). 1983. *Biologi*. Jilid 2 Edisi V. Erlangga. Jakarta.
- Koottatep, T., Polprasert, C.N., Oanh, T.K., Surinkul, N., Montangero, A., and Strauss, M. 2002. *Constructed wetlands for septage treatment*. Paper presented at the IWA 8<sup>th</sup> Int. Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control (Arusha, Tanzania). September 15-19.
- Kuchler, T. and Schnaak, W. 1997. *Behaviour of linear alkylbenzenesulfonates (LAS) in sandy soils with low amounts of organic matter*. *Chemosphere*. 35 (1-2) pp.153-167.
- Kusuma, R.T. 2005. *Studi penurunan kandungan COD dan BOD<sub>5</sub> air limbah domestik dengan menggunakan tanaman kana (Canna sp.) dalam sistem sub-surface flow constructed wetland (studi kasus gedung Teknik*



- Lingkungan ITS Surabaya). Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Larson, R.J. and Maki, A.W. 1982. *Effect of LAS on the structure and function of microbial communities in model ecosystem*. ASTM STP. 766 pp.120-136.
- Mashauri, D.A., Mulungu, D.M.M. and Abdulhussein, B.S. 2000. *Constructed wetland at The University of Dar Es Salaam*. Wat. Res. 1.34 (4) pp.1135-1144.
- Mayangriani, T. 2005. *Studi penurunan total suspended solid (TSS), kekeruhan dan MBAS air limbah domestik dengan menggunakan subsurface flow constructed wetland – Studi kasus di kampus Teknik Lingkungan ITS*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Metcalf & Eddy 1991. *Wastewater engineering: treatment, reuse and disposal*. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill. Singapore.
- Moreno, A., Ferrer, J., Bevia, F.R., Prats, D., Vazquez, B. and Zarzo, D. 1994. *LAS monitoring in a lagoon treatment plant*. Wat.Res.28 (10) pp.2183-2189.
- Mukhlis. 2003. *Studi Kemampuan Tumbuhan Air Reed (Phragmites australis) dan Cattail (Typha angustifolia) dalam Sistem Constructed Wetland untuk Menurunkan COD dan TSS Air Limbah*. Thesis. Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Novotny, V., and Olem, H. 1994. *Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*. Van Nostrand Reinhold. New York.



- Pastor, R., Benqlilou, C., Pas, D., Cardenas, G., Espuña A. and Puigjaner, L. 2003. *Design optimisation of constructed wetlands for wastewater treatment*. Resources, Conservation & Recycling. 37 pp.193-204.
- Poh, S.C. 2003. *Assessment of constructed wetland system in Nepal*. Final presentation. Clean Water for Nepal Inc. MA. USA.
- Polprasert, C. 1989. *Organic waste recycling*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Polprasert, C., Khatiwada, N.R. and Bhurtel, J. 1998. *Design model for COD removal in constructed wetland based on biofilm activity*. Journal of Env.Eng. 124 (9) pp.838-843.
- Prasetyo, E.N. 2002. *Pemanfaatan reaktor sistem zona akar untuk menyisihkan pencemar limbah cair domestik dan pengaruhnya pada ketahanan padi (Oryza sativa L.) terhadap penyakit*. Tesis. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Riemer, D.N. 1993. *Introduction to freshwater vegetation*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida.
- Rukmana, R. 1997. *Bunga kana*. Seri tanaman hias. Kanisius. Jakarta.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W., Lukman, D.R. dan Sumaryono (ed). 1992. *Fisiologi Tumbuhan*. Penerbit ITB. Bandung.
- Shutes, R.B.E. 2001. *Artificial wetlands and water quality improvement*. Environmental International. 26 pp.441-447.
- Sooknah, R.D. and Wilkie, A.C. 2004. *Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater*. Ecological Engineering. 22 pp.27-42.



- Takada, H., Mutoh, K., Tomita, N., Miyadzu, T. and Ogura, N. 1994. *Rapid removal of linear alkylbenzenesulfonates (LAS) by attached biofilm in an urban shallow stream*. *Wat.Res.* 28 (9) pp.1953-1960.
- Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. *Pengolahan limbah rumah tangga dengan memanfaatkan tanaman cattail (Typha angustifolia) dalam sistem constructed wetland*. *Jurnal Purifikasi*. 2 (3) pp.127-132.
- Tanner, C.C. 2000. *Plants as ecosystem engineers in subsurface flow treatment wetlands*. *Proceedings of 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland System for Water Pollution Control (Lake Buena Vista, Florida)*. November 11-16 pp.13-22
- Tjitrosoepomo, G. 2000. *Taksonomi tumbuhan (Spermatophyta)*. UGM Press. Yogyakarta.
- Vymazal, J. 2002. *The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience*. *Ecological Engineering*. 18 pp.633-646
- Wood, A. 1990. *Constructed wetland for wastewater treatment – engineering and design consideration*. *Proceedings of the Int.Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. (Cambridge, UK). September 24-28. pp.481-494.
- [www.ct-botanical-society.org-galle](http://www.ct-botanical-society.org-galle)
- Yuanita, C. 2003. *Pengaruh variasi media tanam terhadap penurunan kandungan organik (PV) dan TSS pada pengolahan efluen IPLT Keputih, Sukolilo Surabaya dengan memanfaatkan tanaman cattail (Typha latifolia)*



*menggunakan sistem constructed wetlands.* Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.



LAMPIRAN A

DATA HASIL LABORATORIUM

1. ANALISA COD

1.1 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

Sampel	COD (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A0	296	320	256	288	287	317	302	190
	313	272	288	288	302	325	338	186
rerata	304	297	274	290	297	324	324	192
A1	160	128	80	82	42	117	24	105
	192	134	86	100	45	132	20	101
rerata	176	131	83	91	44	124	22	103
A2	224	115	80	75	82	124	24	73
	256	186	128	75	100	139	50	77
rerata	240	150	104	75	91	132	37	75
KA	256	186	128	91	63	178	120	40
	272	198	120	106	75	196	100	32
rerata	264	192	124	98	69	187	110	36

1.2 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

Sampel	COD (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B0	315	311	315	305	317	324	286	311
	323	327	307	311	305	311	292	298
rerata	319	319	311	308	311	317	289	305
B1	105	16	184	57	73	67	83	86
	97	16	197	83	79	73	95	92
rerata	101	16	190	70	76	70	89	89
B2	36	124	73	79	86	89	114	102
	32	117	79	86	92	76	114	89
rerata	34	121	76	83	89	83	114	95
KB	57	57	175	194	60	165	184	140
	40	48	187	200	79	152	171	165
rerata	48	53	181	197	70	159	178	152



### 1.3 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

Sampel	COD (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C0	267	267	273	264	234	264	257	302
	260	267	267	279	242	272	249	309
rerata	263	267	270	272	238	268	253	306
C1	53	13	120	40	93	87	181	192
	40	27	133	67	93	60	211	208
rerata	47	20	127	53	93	73	196	200
C2	240	160	187	147	167	187	213	248
	233	173	180	160	153	173	207	240
rerata	237	167	183	153	160	180	210	244
KC	180	207	173	47	60	80	207	208
	193	193	167	47	73	80	193	232
rerata	187	200	170	47	67	80	200	220

### 1.4 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

Sampel	COD (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D0	264	272	264	272	257	279	252	270
	272	288	249	279	264	294	243	278
rerata	268	280	257	275	260	287	248	274
D1	200	106	98	94	26	157	96	67
	192	91	106	87	34	148	83	60
rerata	196	98	102	91	30	152	89	63
D2	200	38	136	181	75	165	113	187
	184	45	113	174	91	183	113	181
rerata	192	42	125	177	83	174	113	184
KD	208	106	83	60	106	157	139	206
	216	106	68	75	106	157	139	213
rerata	212	106	75	68	106	157	139	210





## 2. ANALISA TOTAL SOLID

### 2.1 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

sampel	Total Solid (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A0	1028	1024	1008	1004	1000	996	1020	1008
	1036	1024	1016	1000	992	1000	1016	1008
rerata	1032	1024	1012	1002	996	998	1018	1008
A1	500	432	512	448	520	480	524	552
	424	388	508	452	476	480	492	544
rerata	462	410	510	450	498	480	508	548
A2	472	316	332	460	500	504	528	504
	376	412	428	460	460	484	332	492
rerata	424	364	380	460	480	494	430	498
KA	480	484	432	488	464	488	512	476
	544	436	436	496	464	460	500	476
rerata	512	460	434	492	464	474	506	476

### 2.2 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

sampel	Total Solid (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B0	752	828	880	1152	720	928	788	808
	756	832	916	1100	880	844	880	568
rerata	754	830	898	1126	800	886	834	688
B1	480	444	664	580	416	508	480	500
	468	448	548	552	448	504	448	488
rerata	474	446	606	566	432	506	464	494
B2	420	364	516	460	472	444	436	508
	404	380	556	460	420	460	464	496
rerata	412	372	536	460	446	452	450	502
KB	348	392	520	552	492	532	504	528
	480	380	592	544	488	524	504	532
rerata	414	386	556	548	490	528	504	530



### 2.3 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

sampel	Total Solid (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C0	1268	1280	1176	1128	1120	1264	1148	1252
	1268	1280	1200	1136	1124	1260	1152	1252
rerata	1268	1280	1188	1132	1122	1262	1150	1252
C1	676	700	640	676	648	660	728	768
	712	708	656	680	656	668	764	848
rerata	694	704	648	678	652	664	746	808
C2	740	632	636	680	728	816	972	920
	732	648	640	680	732	820	916	984
rerata	736	640	638	680	730	818	944	952
KC	572	688	668	632	612	604	664	752
	596	684	656	640	612	604	720	760
rerata	584	686	662	636	612	604	692	756

### 2.4 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

sampel	Total Solid (mg/l)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
D0	1268	1208	1120	996	1004	1016	988	988
	1268	1196	1076	992	1024	1012	984	980
rerata	1268	1202	1098	994	1014	1014	986	984
D1	676	572	640	600	632	680	444	500
	712	556	656	592	632	548	520	580
rerata	694	564	648	596	632	614	482	540
D2	740	552	636	688	684	668	672	624
	732	560	640	692	692	724	680	624
rerata	736	556	638	690	688	696	676	624
KD	572	500	668	592	632	652	628	580
	596	532	656	596	608	664	608	588
rerata	584	516	662	594	620	658	618	584



### 3. ANALISA MBAS

#### 3.1 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

Sampel	MBAS (Absorbansi,%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A0	1,523	1,284	1,237	1,301	1,377	1,523	1,4685	1,456
A1	0,987	0,12	0,280	0,572	1,072	0,948	0,762	0,807
A2	0,75	0,75	0,550	0,666	0,976	0,965	0,775	0,796
KA	0,462	0,122	0,490	0,830	0,976	0,936	0,812	0,815

Sampel	MBAS (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A0	1,013	0,863	0,834	0,874	0,922	1,013	0,979	0,971
A1	0,678	0,135	0,235	0,418	0,731	0,653	0,537	0,565
A2	0,529	0,529	0,404	0,477	0,671	0,664	0,545	0,558
KA	0,349	0,136	0,366	0,579	0,671	0,646	0,568	0,570

#### 3.2 WAKTU TINGGAL 1 HARI DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

Sampel	MBAS (Absorbansi,%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B0	0,876	0,979	0,807	0,760	0,939	0,740	0,690	0,785
B1	0,301	0,31	0,292	0,175	0,134	0,143	0,136	0,131
B2	0,252	0,353	0,161	0,072	0,209	0,094	0,180	0,465
KB	0,377	0,455	0,259	0,189	0,268	0,292	0,260	0,328

Sampel	MBAS (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B0	0,608	0,673	0,565	0,535	0,648	0,523	0,492	0,551
B1	0,248	0,254	0,243	0,169	0,144	0,149	0,145	0,142
B2	0,218	0,281	0,161	0,105	0,191	0,119	0,173	0,351
KB	0,296	0,345	0,222	0,178	0,228	0,243	0,223	0,265



### 3.3 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR BUJURSANGKAR

Sampel	MBAS (Absorbansi,%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C0	1,027	1,292	1,102	1,194	1,252	1,041	1,328	1,276
C1	0,507	0,752	0,767	0,848	0,848	0,735	0,742	0,932
C2	0,708	0,730	0,532	0,886	0,767	0,511	0,907	0,504
KC	0,724	0,830	0,369	0,842	0,886	0,349	0,703	0,767

Sampel	MBAS (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C0	0,703	0,868	0,750	0,807	0,843	0,711	0,891	0,858
C1	0,377	0,531	0,540	0,591	0,591	0,520	0,524	0,643
C2	0,503	0,517	0,393	0,614	0,540	0,380	0,627	0,376
KC	0,513	0,579	0,291	0,587	0,614	0,278	0,500	0,540

### 3.4 WAKTU TINGGAL 6 JAM DAN REAKTOR PERSEGIPANJANG

Sampel	MBAS (Absorbansi,%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D0	1,268	1,276	1,071	1,420	1,347	1,319	1,523	1,292
D1	0,724	0,780	0,712	0,932	0,827	0,479	0,606	0,921
D2	0,815	0,411	0,712	0,979	1,018	0,413	0,996	0,682
KD	0,983	0,613	0,893	1,310	0,914	1,244	1,456	1,018

Sampel	MBAS (mg/l)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D0	0,853	0,858	0,730	0,949	0,903	0,885	1,013	0,868
D1	0,513	0,548	0,505	0,643	0,577	0,360	0,439	0,636
D2	0,570	0,317	0,505	0,673	0,697	0,318	0,683	0,487
KD	0,675	0,444	0,619	0,880	0,632	0,838	0,971	0,697



## LAMPIRAN B

### ANALISA LABORATORIUM

#### 1. ANALISA TOTAL SOLID

##### A. Prosedur Analisa Total Solid

- Membersihkan dan memanaskan pada 105° C selama 1 jam cawan penguap kosong.
- Mendinginkan cawan yang telah dipanaskan selama 15 menit dalam desikator, kemudian menimbanginya (= a gram).
- Mengocok sampel secara merata dan menuangkannya ke dalam cawan.
- Mengatur volume sampel (= c ml) sehingga berat residu 25-250 mg.
- Memasukkan cawan berisi sampel ke oven 105° C selama 24 jam.
- Mendinginkan cawan yang berisi sampel dalam desikator 15 menit, kemudian menimbanginya (= b gram).

##### B. Rumus

$$\text{Total solid (mg/l)} = (a - b) / c \times 1000 \times 1000$$

#### 2. ANALISA COD

##### A. Pembuatan Reagen COD

###### a. Larutan Standar Kalium dikromat 0,1 N

Menimbang 4,936 g  $K_2Cr_2O_7$  dan melarutkannya dalam 1 liter aquades

###### b. Larutan standar FAS 0,05 N

Menimbang 39,2 g  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  dan 8 ml  $H_2SO_4$  pekat, kemudian mengencerkannya dengan 1 liter aquades



c. Reagen asam sulfat

Melarutkan  $\pm 10$  g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  per 1 liter  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat selama 1-2 hari

d. Indikator Fenantrolin fero sulfat (feroin)

- Melarutkan 1,1 fenantrolin monohidrat sebanyak 1,485 g ke dalam labu takar 100 ml dan 695 mg  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dengan sedikit aquades.
- Mengencerkan aquades sampai 100 ml.

B. Prosedur Analisa COD

- Memasukkan 0,3 g kristal  $\text{HgSO}_4$  ke dalam masing-masing COD.
- Menuangkan 10 ml air sampel dan 10 ml aquades sebagai blanko ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Menambahkan 5 ml larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,1 N.
- Menambahkan 15 ml reagen asam sulfat.
- Mengalirkan air pendingin pada kondensor dan memasang erlenmeyer COD.
- Menyalakan alat pemanas dan merefluks larutan tersebut selama 2 jam.
- Membiarkan erlenmeyer dingin dan menambahkan aquades melalui kondensor sampai volume 75 ml.
- Melepaskan erlenmeyer dari kondensor dan menunggu hingga dingin.
- Menambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
- Menitrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga warnanya menjadi merah kecoklatan.
- Mencatat volume titran FAS yang dipakai untuk blanko (=a ml) dan untuk sampel (= b ml).



C. Rumus

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{Vol.sampel}} \times f \times p$$

Dimana: N = normalitas larutan FAS

F = faktor koreksi (10 : a)

P = faktor pengenceran

3. ANALISA MBAS

A. Pembuatan Reagen

a. Larutan stok LAS

- Menimbang 20 mg NaLAS
- Melarutkan 20 mg NaLAS dalam 1000 mL aquades

b. Larutan standar LAS

- Membuat larutan LAS dengan konsentrasi 0,8; 1,2; 2; 2,5; 3; 4 mg/l
- Mengencerkan 1; 1,5 ; 2,5 ; 3,1; 3,75 ; 5 ml larutan stok dalam 25 ml aquades

c. Indikator Phenolphthaliene

Melarutkan 0,35 gram pp dalam 100 ml alkohol (ethanol 70%)

d. Larutan Pencuci

- Memasukkan 41 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 N ke dalam 500 ml aquades
- Menambahkan 50 gram NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O dan mengocok sampai terlarut
- Mengencerkan dengan aquades sampai dengan 1000 ml

e. Metilen Blue

- Melarutkan 0,1 gram MB dalam 100 ml air



- Mengambil 30 ml dan memasukkannya ke dalam labu ukur 1000 ml
- Menambahkan 500 ml aquades
- Menambahkan 41 ml  $H_2SO_4$  6N dan 50 gram  $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$
- Mengocok sampai terlarut dan mengencerkan hingga 1000 ml

f. Larutan NaOH 1 N

Mengencerkan NaOH 32% ke dalam 200 ml aquades

g. Larutan  $H_2SO_4$  1 N

Mengencerkan 2,8 ml  $H_2SO_4$  36 N ke dalam 100 ml aquades

B. Prosedur Analisa MBAS

- Mengambil 25 ml sampel
- Menetesi dengan 3-4 tetes indikator pp
- Menambahkan larutan NaOH 1 N sampai berubah warna
- Menetesi dengan  $H_2SO_4$  sampai warna merah muda hilang
- Menambahkan 10 ml MB, jika warna hilang sampel dibuang dan dibuat pengenceran sesuai dengan tabel pengenceran dalam standar metode
- Menambahkan 10ml chlorofom,  $CHCl_3$ , dan mengocok selama  $\pm 30$  detik, sesekali dibuang uapnya
- Memasukkan ke dalam corong pemisah dan membiarkannya sampai terjadi pemisahan fase
- Mengeluarkan lapisan bawah setelah terjadi pemisahan fase dalam corong pemisah untuk diekstraksi lagi
- Menambahkan 10 ml  $CHCl_3$  kemudian mengocoknya selama  $\pm 30$  detik, sesekali dibuang uapnya

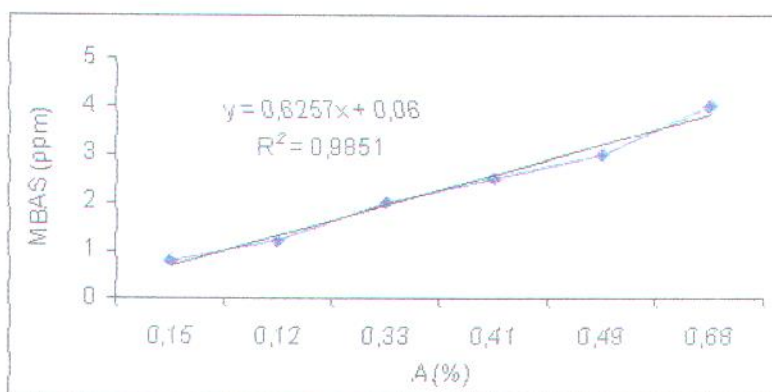




- Memasukkan ke dalam corong pemisah dan membiarkannya sampai terjadi pemisahan fase, kemudian menampung fase terbawah yang telah terpisah
- Menambahkan 25 ml larutan pencuci dan mengocoknya selama  $\pm 30$  detik dan sesekali dibuang uapnya
- Memasukkan ke dalam corong pemisah dan membiarkannya sampai terjadi pemisahan fase
- Mengambil fase terbawah dan mengencerkannya dengan  $\text{CHCl}_3$  sampai batas volume 25 ml
- Menganalisa dengan spektrofotometer panjang gelombang 650nm.

Kurva kalibrasi didapatkan dari 6 kali pengukuran.

MBAS (mg/l)	A (%)
0,8	0,15
1,2	0,12
2	0,33
2,5	0,41
3	0,49
4	0,68





LAMPIRAN C

HASIL ANALISA MEDIA



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL RI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 PROGRAM STUDI TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL  
**LABORATORIUM GEOLOGI DAN MEKANIKA TANAH**  
 Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62 - JEMBER 68111 Telp. (0331) 484977

RANGKUMAN HASIL UJI LABORATORIUM

PROJECT : DATE : Juli 2005  
 LOCATION : TESTED BY : HS

<b>NOMOR SAMPLE</b>		No. :	
<b>BORROW PIT AND DEPTH</b>		m	
<b>OBSERVATION</b>			
<b>PROPERTIES</b>			
Berat isi air	$\gamma_w$ (gr/cm <sup>3</sup> )		1
Kadar air	w (%)		4.25%
Berat jenis	GS		2.86
Berat isi tanah asli	$\gamma_t$ (gr/cm <sup>3</sup> )		1.65
Berat isi tanah jenuh	$\gamma_{sat}$ (gr/cm <sup>3</sup> )		2.08
Berat isi tanah kering	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		1.58
Angka pori	e		0.81
Porositas	n (%)		44.66%
Derajat kejenuhan	S (%)		15.06%
<b>KONSISTENSI</b>			
Batas Cair	L.L (%)		-
Batas Plastis	P.L (%)		-
Indeks Plastis	P.I (%)		-
Batas Susut	S.L		-
Klasifikasi Tanah			
<b>SHEARING RESISTANCE</b>			
Direct shear compression	Kohesi	(kg/cm <sup>2</sup> )	
	Sudut Geser Dalam	$\phi^0$	
Coeff. of permeability	K	(cm/sec)	0.01725

Catatan :



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL RI  
UNIVERSITAS JEMBER  
PROGRAM STUDI TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL  
**LABORATORIUM GEOLOGI DAN MEKANIKA TANAH**  
Alamat: Jl. Slamet Riyadi No. 62 - JEMBER 69111 Telp. (0331) 484977

### KADAR AIR

No. Contoh		1	2	3
Berat Cawan + Tanah Basah	gr	79,73	83,05	85,37
Berat Cawan + Tanah Kering	gr	77,25	79,25	82,1
Berat Air	gr	2,48	3,80	3,27
Berat Cawan	gr	3,67	5,58	4,52
Berat Kering	gr	74,77	75,45	78,83
Kadar Air	%	3,37	5,16	4,22
Rata-rata	%	4,25		

### BERAT ISI

No. Contoh	Berat Cincin (gr)	Berat Tanah + Cincin (gr)	Berat Tanah (gr)	Isi Cincin (cm <sup>3</sup> )	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )
1	56,36	160,05	103,69	62,91	1,65	1,65
2	56,36	160,59	104,23	62,91	1,66	
3	56,36	160,67	104,31	62,91	1,66	

### SPECIFIC GRAFITY

No. Contoh		1	2	3
No. Picnometer		3	4	5
Berat Picnometer	gr	67,18	67,01	67,04
Berat Picnometer + Tanah	gr	117,18	117,01	117,04
Berat Tanah	gr	50,00	50,00	50,00
Berat Picnometer + air + tanah	gr	199,86	199,69	199,72
Berat Picnometer + air	gr	167,31	167,18	167,15
Suhu	°C	31,00	31,00	31,00
Specific Grafity		2,87	2,86	2,87
Rata-rata Specific Grafity,	Gs	2,86		



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN RI  
UNIVERSITAS JEMBER  
PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL  
**LABORATORIUM GEOLOGI DAN MEKANIKA TANAH**  
Alamat : Jl. Slamet Rivadi No. 62 - JEMBER 68111 Telp. (0331) 484977

### PERMEABILITY TEST

No.	Test No.	1	2	3
1	Permeameter			
	Diameter, D, (cm)	5,500	5,500	5,500
	Area, A (cm <sup>2</sup> )	5,942	5,942	5,942
2	Stand Pipe			
	Diameter, d, (cm)	1,500	1,500	1,500
	Height (cm)	68,000	68,000	68,000
	Area, a (cm <sup>2</sup> )	0,442	0,442	0,442
3	Sample length, L (cm)	6,0	6,0	6,0
4	Q, quantity of fluid flow (cm <sup>3</sup> )	640,0	640,0	640,0
5	Temperature T, (°C)	31	31	31
6	Elapsed Time for Flow			
	from h <sub>0</sub> to h (sec)	554	535	565
7	Permeability at T oC (cm/sec)	1,72E-02	1,78E-02	1,68E-02
8	Average Coefficient of Permeability	1,725E-02		



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL RI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 PROGRAM STUDI TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 LABORATORIUM GEOLOGI DAN MEKANIKA TANAH  
 Alamat: Jl. Shmadi Raya No. 02 - Jember 68111 Telp. (0331) 484977

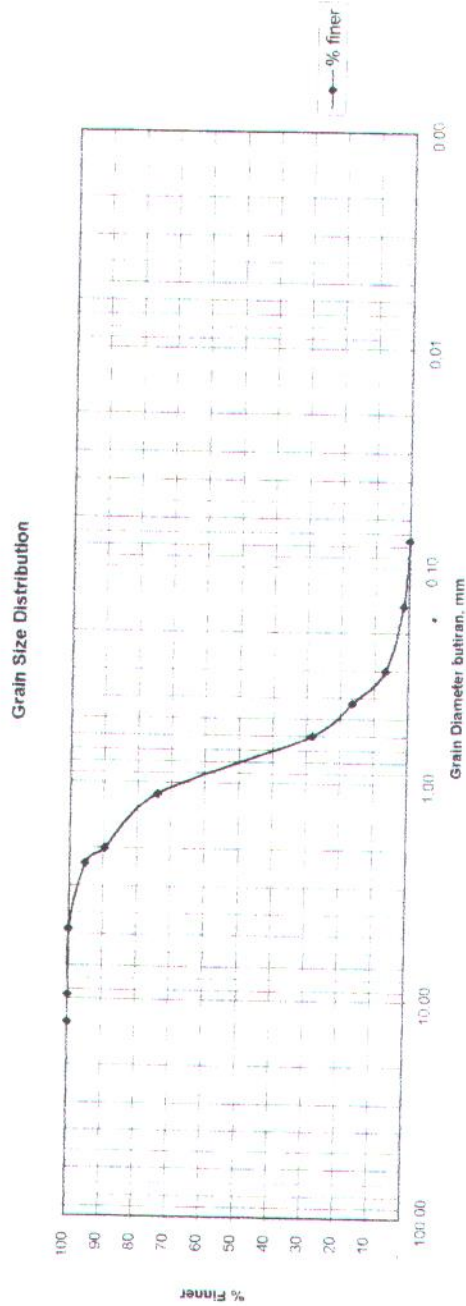


### GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

PROJECT LOCATION  
 DEPTH  
 BOR

DATE TESTED BY  
 Juli 2005 HS

Grain Diameter	=	2
- D 90	=	1
- D 65	=	0.8
- D 50	=	1.27
- D Mean	=	
Discription of Soil	=	
Coarse Agger	=	10.40
Coarse Sand	=	64.60
Fine Sand	=	25.00
Silt	=	
Clay	=	



Coarse Aggregat	Coars e Sand	Fine Sand	Silt	Clay
Soil Binder				

Jember, 3 Juli 2005  
 Kepala Laboratoric

*(Signature)*

Indra N. ST., MT  
 Nip. 132 210 53



LAMPIRAN D

FOTO-FOTO PENELITIAN



Gambar 1. Reaktor persegi panjang



Gambar 2. Reaktor bujursangkar



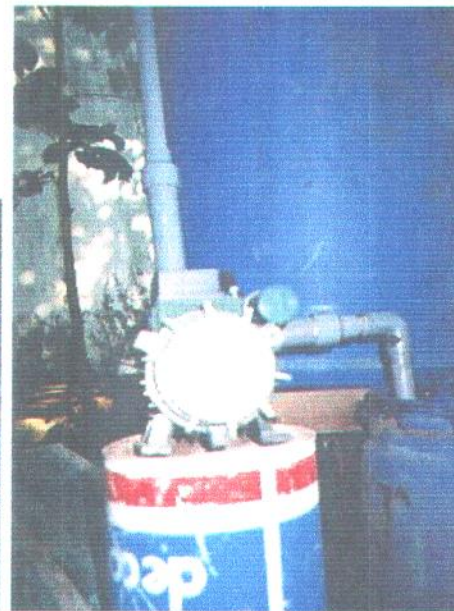
Gambar 3. Zona inlet - reaktor persegi panjang



Gambar 4. Zona reaksi reaktor kontrol - bujursangkar



Gambar 5. Bak pengumpul dan pompa



Gambar 6. Bak kontrol debit



(i)

(ii)

(iii)

(iv)

Gambar 7. Perakaran tanaman uji: (i) *cattail* sebelum perlakuan; (ii) *cattail* setelah perlakuan; (iii) *kana* sebelum perlakuan; (iv) *kana* setelah perlakuan

Ket.: a = tunas; b = tumbuhan baru; c = rambut akar; d = batang; e = daun



## LAMPIRAN E

### ANALISA STATISTIK

#### *Kolmogorov-Smirnov Test*

Hipotesis:

$H_0$  : data berdistribusi normal

$H_1$  : data tak berdistribusi normal

$\alpha = 0,05$

Pengambilan keputusan:

- Peluang (Sig.)  $> \alpha$ , maka terima  $H_0$
- Peluang (Sig.)  $< \alpha$ , maka tolak  $H_0$

Keputusan:

- Terima  $H_0$  berarti data berdistribusi normal
- Tolak  $H_0$  berarti data tak berdistribusi normal

#### *ANOVA (Analysis of Variance)*

Hipotesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1$  : minimal ada satu  $\mu \neq \mu_3$

$\alpha = 0,05$

Pengambilan keputusan:

- Peluang (Sig.)  $> \alpha$ , maka terima  $H_0$
- Peluang (Sig.)  $< \alpha$ , maka tolak  $H_0$

Keputusan:





- Terima  $H_0$  berarti tidak ada beda mean yang signifikan antar kelompok
- Tolak  $H_0$  berarti ada beda mean yang signifikan antar kelompok

### ***Post Hoc Test***

Setelah diketahui ada beda signifikan di antara kelompok, maka tes ini untuk menentukan kelompok mana saja yang berbeda.

Hipotesis:

$H_0$  = semua rata-rata populasi adalah identik

$H_1$  = minimal salah satu rata-rata populasi adalah tidak identik

Pengambilan keputusan:

- Peluang (Sig.)  $> \alpha$ , maka terima  $H_0$
- Peluang (Sig.)  $< \alpha$ , maka tolak  $H_0$

Keputusan:

- Terima  $H_0$  berarti semua rata-rata populasi adalah identik
- Tolak  $H_0$  berarti semua rata-rata populasi adalah tidak identik

Keterangan: jika ada tanda ‘\*’ pada kolom ‘Mean Difference’ berarti ada beda signifikan.

### ***Homogeneous Subset***

Adalah mencari kelompok mana saja yang memiliki beda rata-rata yang tidak berbeda secara signifikan.



1. TS

Uji distribusi data dipakai *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test*.

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			REAKT A	REAKT B	REAKT C	REAKT D
N			24	24	24	24
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		53,7729	42,6329	41,3071	41,4725
	Std. Deviation		4,47597	8,83191	8,14861	7,59909
Most Extreme Differences	Absolute		,134	,114	,168	,183
	Positive		,129	,090	,103	,183
	Negative		-,134	-,114	-,168	-,106
Kolmogorov-Smirnov Z			,656	,560	,823	,895
Asymp. Sig. (2-tailed)			,783	,912	,507	,399

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.

Nilai asymptot sign (2-tailed) > 0,05 ( $\alpha$ ), maka menunjukkan bahwa data memiliki distribusi normal. Selanjutnya dilakukan analisa varians (Anova) dengan *One-way ANOVA*. Analisa data dengan ANOVA dilakukan pada reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 1 hari (REAKT\_A); reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 1 hari (REAKT\_B); reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 6 jam (REAKT\_C) dan reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 6 jam (REAKT\_D). Hasilnya berikut ini.

ANOVA

REAKT_A					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	79,466	2	39,733	2,188	,137
Within Groups	381,322	21	18,158		
Total	460,788	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.



## ANOVA

REAKT\_B

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	118,053	2	59,026	,740	,489
Within Groups	1676,006	21	79,810		
Total	1794,059	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## ANOVA

REAKT\_C

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	359,630	2	179,815	3,234	,060
Within Groups	1167,567	21	55,598		
Total	1527,197	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## ANOVA

REAKT\_D

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	198,880	2	99,440	1,849	,182
Within Groups	1129,281	21	53,775		
Total	1328,162	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

**Pengujian data untuk waktu tinggal 1 hari**

## ANOVA

RMVL\_TS1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1686,714	5	337,343	6,887	,000
Within Groups	2057,328	42	48,984		
Total	3744,042	47			



Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak  $H_0$ , berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.

### Post Hoc Test

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: RMVL\_TS1

Tukey HSD

(I) TS 1hari	(J) TS 1hari	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol A0	reaktor A1	,6200	3,49943	1,000	-9,8267	11,0667
	reaktor A2	-3,5125	3,49943	,914	-13,9592	6,9342
	kontrol B0	11,5975*	3,49943	,022	1,1508	22,0442
	reaktor B1	11,8863*	3,49943	,018	1,4396	22,3329
	reaktor B2	7,0438	3,49943	,353	-3,4029	17,4904
reaktor A1	kontrol A0	-,6200	3,49943	1,000	-11,0667	9,8267
	reaktor A2	-4,1325	3,49943	,843	-14,5792	6,3142
	kontrol B0	10,9775*	3,49943	,034	,5308	21,4242
	reaktor B1	11,2663*	3,49943	,028	,8196	21,7129
	reaktor B2	6,4237	3,49943	,455	-4,0229	16,8704
reaktor A2	kontrol A0	3,5125	3,49943	,914	-6,9342	13,9592
	reaktor A1	4,1325	3,49943	,843	-6,3142	14,5792
	kontrol B0	15,1100*	3,49943	,001	4,6633	25,5567
	reaktor B1	15,3988*	3,49943	,001	4,9521	25,8454
	reaktor B2	10,5563*	3,49943	,046	,1096	21,0029
kontrol B0	kontrol A0	-11,5975*	3,49943	,022	-22,0442	-1,1508
	reaktor A1	-10,9775*	3,49943	,034	-21,4242	-,5308
	reaktor A2	-15,1100*	3,49943	,001	-25,5567	-4,6633
	reaktor B1	,2887	3,49943	1,000	-10,1579	10,7354
	reaktor B2	-4,5538	3,49943	,783	-15,0004	5,8929
reaktor B1	kontrol A0	-11,8863*	3,49943	,018	-22,3329	-1,4396
	reaktor A1	-11,2663*	3,49943	,028	-21,7129	-,8196
	reaktor A2	-15,3988*	3,49943	,001	-25,8454	-4,9521
	kontrol B0	-,2887	3,49943	1,000	-10,7354	10,1579
	reaktor B2	-4,8425	3,49943	,736	-15,2892	5,6042
reaktor B2	kontrol A0	-7,0438	3,49943	,353	-17,4904	3,4029
	reaktor A1	-6,4237	3,49943	,455	-16,8704	4,0229
	reaktor A2	-10,5563*	3,49943	,046	-21,0029	-,1096
	kontrol B0	4,5538	3,49943	,783	-5,8929	15,0004
	reaktor B1	4,8425	3,49943	,736	-5,6042	15,2892

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



## RMVL\_TS1

Tukey HSD <sup>a</sup>

TS 1hari	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
reaktor B1	8	40,9225		
kontrol B0	8	41,2112		
reaktor B2	8	45,7650	45,7650	
reaktor A1	8		52,1888	52,1888
kontrol A0	8		52,8088	52,8088
reaktor A2	8			56,3213
Sig.		,736	,353	,843

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

## Pengujian data untuk waktu tinggal 6 jam

## ANOVA

RMVL\_TS6

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	558,838	5	111,768	2,044	,092
Within Groups	2296,849	42	54,687		
Total	2855,687	47			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## 2. COD

## NPar Tests

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Statistics			REAK A	REAK B	REAK C	REAK D
N			24	24	24	24
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		60,0658	67,0842	45,3950	53,8317
	Std. Deviation		19,87792	16,58318	24,76703	19,55439
Most Extreme Differences	Absolute		,110	,197	,208	,112
	Positive		,067	,103	,208	,074
	Negative		-,110	-,197	-,133	-,112
Kolmogorov-Smirnov Z			,537	,966	1,021	,551
Asymp. Sig. (2-tailed)			,935	,309	,248	,922

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.



Nilai *asymptot sig.* (2-tailed)  $> 0,05$  ( $\alpha$ ), maka menunjukkan bahwa data memiliki distribusi normal. Selanjutnya dilakukan analisa varians (Anova) dengan *One-way* ANOVA. Analisa data dengan ANOVA dilakukan pada reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 1 hari (REAK\_A); reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 1 hari (REAK\_B); reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 6 jam (REAK\_C) dan reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 6 jam (REAK\_D). Hasilnya berikut ini.

## ANOVA

REAK\_A

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	478,359	2	239,179	,583	,567
Within Groups	8609,671	21	409,984		
Total	9088,030	23			

Nilai Sig.  $> 0,05$  ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## ANOVA

REAK\_B

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1037,901	2	518,951	2,061	,152
Within Groups	5287,144	21	251,769		
Total	6325,045	23			

Nilai Sig.  $> 0,05$  ( $\alpha$ ), sehingga terima  $H_0$ , berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## ANOVA

REAK\_C

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4646,754	2	2323,377	5,157	,015
Within Groups	9461,579	21	450,551		
Total	14108,333	23			



Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak  $H_0$ , berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: REAK\_C

Tukey HSD

(I) cod_c	(J) cod_c	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	reaktor c1	-16,6975	10,61310	,279	-43,4486	10,0536
	reaktor c2	17,3837	10,61310	,252	-9,3673	44,1348
reaktor c1	kontrol	16,6975	10,61310	,279	-10,0536	43,4486
	reaktor c2	34,0813*	10,61310	,011	7,3302	60,8323
reaktor c2	kontrol	-17,3837	10,61310	,252	-44,1348	9,3673
	reaktor c1	-34,0813*	10,61310	,011	-60,8323	-7,3302

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

Dari analisa data didapatkan bahwa terdapat beda signifikan dalam removal COD antara reaktor kana dengan reaktor *cattail* pada variasi waktu tinggal 6 jam dengan bentuk reaktor bujursangkar.

### Homogeneous Subsets

REAK\_C

Tukey HSD <sup>a</sup>

cod_c	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
reaktor c2	8	28,2400	
kontrol	8	45,6237	45,6237
reaktor c1	8		62,3213
Sig.		,252	,279

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

### ANOVA

REAK\_D

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	789,011	2	394,505	1,035	,373
Within Groups	8005,596	21	381,219		
Total	8794,607	23			



Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima Ho, berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

**Pengujian data untuk waktu tinggal 1 hari**

**ANOVA**

COD\_1hari

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2107,344	5	421,469	1,274	,293
Within Groups	13896,815	42	330,877		
Total	16004,159	47			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima Ho, berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

**Pengujian data untuk waktu tinggal 6 jam**

**ANOVA**

COD\_6jam

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6289,893	5	1257,979	3,025	,020
Within Groups	17467,175	42	415,885		
Total	23757,068	47			

Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak Ho, berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.





## Post Hoc Test

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD\_6jam

Tukey HSD

(I) COD_6jam	(J) COD_6jam	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol C0	reaktor C1	-16,6975	10,19663	,579	-47,1370	13,7420
	reaktor C2	17,3837	10,19663	,536	-13,0557	47,8232
	kontrol D0	-4,5350	10,19663	,998	-34,9745	25,9045
	reaktor D1	-16,3050	10,19663	,604	-46,7445	14,1345
	reaktor D2	-3,7838	10,19663	,999	-34,2232	26,6557
reaktor C1	kontrol C0	16,6975	10,19663	,579	-13,7420	47,1370
	reaktor C2	34,0813*	10,19663	,020	3,6418	64,5207
	kontrol D0	12,1625	10,19663	,838	-18,2770	42,6020
	reaktor D1	,3925	10,19663	1,000	-30,0470	30,8320
	reaktor D2	12,9138	10,19663	,801	-17,5257	43,3532
reaktor C2	kontrol C0	-17,3837	10,19663	,536	-47,8232	13,0557
	reaktor C1	-34,0813*	10,19663	,020	-64,5207	-3,6418
	kontrol D0	-21,9188	10,19663	,283	-52,3582	8,5207
	reaktor D1	-33,6888*	10,19663	,022	-64,1282	-3,2493
	reaktor D2	-21,1675	10,19663	,319	-51,6070	9,2720
kontrol D0	kontrol C0	4,5350	10,19663	,998	-25,9045	34,9745
	reaktor C1	-12,1625	10,19663	,838	-42,6020	18,2770
	reaktor C2	21,9188	10,19663	,283	-8,5207	52,3582
	reaktor D1	-11,7700	10,19663	,855	-42,2095	18,6695
	reaktor D2	,7513	10,19663	1,000	-29,6882	31,1907
reaktor D1	kontrol C0	16,3050	10,19663	,604	-14,1345	46,7445
	reaktor C1	-,3925	10,19663	1,000	-30,8320	30,0470
	reaktor C2	33,6888*	10,19663	,022	3,2493	64,1282
	kontrol D0	11,7700	10,19663	,855	-18,6695	42,2095
	reaktor D2	12,5213	10,19663	,821	-17,9182	42,9607
reaktor D2	kontrol C0	3,7838	10,19663	,999	-26,6557	34,2232
	reaktor C1	-12,9138	10,19663	,801	-43,3532	17,5257
	reaktor C2	21,1675	10,19663	,319	-9,2720	51,6070
	kontrol D0	-,7513	10,19663	1,000	-31,1907	29,6882
	reaktor D1	-12,5213	10,19663	,821	-42,9607	17,9182

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

**Homogenous Subsets**

COD\_6jam

Tukey HSD <sup>a</sup>

COD_6jam	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
reaktor C2	8	28,2400	
kontrol C0	8	45,6237	45,6237
reaktor D2	8	49,4075	49,4075
kontrol D0	8	50,1588	50,1588
reaktor D1	8		61,9288
reaktor C1	8		62,3213
Sig.		,283	,579

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

**3. LAS****NPar Tests****One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		REAKTR_A	REAKTR_B	REAKTR_C	REAKTR_D
N		24	24	24	24
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	45,9558	63,1942	37,0708	32,8387
	Std. Deviation	16,51898	10,56666	11,39032	16,96467
Most Extreme Differences	Absolute	,179	,088	,192	,131
	Positive	,179	,052	,192	,131
	Negative	-,093	-,088	-,123	-,086
Kolmogorov-Smirnov Z		,875	,433	,940	,640
Asymp. Sig. (2-tailed)		,428	,992	,340	,807

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Nilai *asymptot sig. (2-tailed)* > 0,05 ( $\alpha$ ), maka menunjukkan bahwa data memiliki distribusi normal. Selanjutnya dilakukan analisa varians (Anova) dengan *One-way ANOVA*. Analisa data dengan ANOVA dilakukan pada reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 1 hari (REAKTR\_A); reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 1 hari (REAKTR\_B); reaktor bujursangkar dengan waktu tinggal 6 jam (REAKTR\_C) dan reaktor persegi panjang dengan waktu tinggal 6 jam (REAKTR\_D). Inilah hasilnya.



ANOVA

REAKTR\_A

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	238,278	2	119,139	,414	,666
Within Groups	6037,888	21	287,518		
Total	6276,166	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima Ho, berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

ANOVA

REAKTR\_B

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	546,674	2	273,337	2,840	,081
Within Groups	2021,373	21	96,256		
Total	2568,047	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima Ho, berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

ANOVA

REAKTR\_C

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	214,815	2	107,407	,815	,456
Within Groups	2769,189	21	131,866		
Total	2984,004	23			

Nilai Sig. > 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga terima Ho, berarti tidak ada perbedaan signifikan antar kelompok.

ANOVA

REAKTR\_D

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2342,941	2	1171,471	5,753	,010
Within Groups	4276,459	21	203,641		
Total	6619,400	23			

Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak Ho, berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.

**Post Hoc Tests****Multiple Comparisons**

Dependent Variable: REAKTR\_D

Tukey HSD

(I) mbas_d	(J) mbas_d	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	reaktor d1	-20,8550*	7,13514	,021	-38,8396	-2,8704
	reaktor d2	-21,0625*	7,13514	,020	-39,0471	-3,0779
reaktor d1	kontrol	20,8550*	7,13514	,021	2,8704	38,8396
	reaktor d2	-,2075	7,13514	1,000	-18,1921	17,7771
reaktor d2	kontrol	21,0625*	7,13514	,020	3,0779	39,0471
	reaktor d1	,2075	7,13514	1,000	-17,7771	18,1921

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

Dari analisa data didapatkan bahwa terdapat beda signifikan dalam removal LAS antara reaktor kontrol dengan reaktor tanaman pada variasi waktu tinggal 6 jam dengan bentuk reaktor persegi panjang.

**Homogeneous Subsets****REAKTR\_D**Tukey HSD<sup>a</sup>

mbas_d	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
kontrol	8	18,8663	
reaktor d1	8		39,7213
reaktor d2	8		39,9288
Sig.		1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

**Pengujian data untuk waktu tinggal 1 hari****ANOVA**

RMVL\_MB1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4350,874	5	870,175	4,535	,002
Within Groups	8059,261	42	191,887		
Total	12410,135	47			

Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak  $H_0$ , berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.



**Post Hoc Test**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: RMVL\_MB1  
Tukey HSD

(I) MBAS 1hari	(J) MBAS 1hari	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol A0	reaktor A1	,1988	6,92617	1,000	-20,4776	20,8751
	reaktor A2	6,7813	6,92617	,922	-13,8951	27,4576
	kontrol B0	-8,2787	6,92617	,837	-28,9551	12,3976
	reaktor B1	-19,3100	6,92617	,079	-39,9863	1,3663
	reaktor B2	-17,1463	6,92617	,155	-37,8226	3,5301
reaktor A1	kontrol A0	-,1988	6,92617	1,000	-20,8751	20,4776
	reaktor A2	6,5825	6,92617	,931	-14,0938	27,2588
	kontrol B0	-8,4775	6,92617	,823	-29,1538	12,1988
	reaktor B1	-19,5088	6,92617	,074	-40,1851	1,1676
	reaktor B2	-17,3450	6,92617	,146	-38,0213	3,3313
reaktor A2	kontrol A0	-6,7813	6,92617	,922	-27,4576	13,8951
	reaktor A1	-6,5825	6,92617	,931	-27,2588	14,0938
	kontrol B0	-15,0600	6,92617	,271	-35,7363	5,6163
	reaktor B1	-26,0913*	6,92617	,006	-46,7676	-5,4149
	reaktor B2	-23,9275*	6,92617	,015	-44,6038	-3,2512
kontrol B0	kontrol A0	8,2787	6,92617	,837	-12,3976	28,9551
	reaktor A1	8,4775	6,92617	,823	-12,1988	29,1538
	reaktor A2	15,0600	6,92617	,271	-5,6163	35,7363
	reaktor B1	-11,0313	6,92617	,608	-31,7076	9,6451
	reaktor B2	-8,8675	6,92617	,794	-29,5438	11,8088
reaktor B1	kontrol A0	19,3100	6,92617	,079	-1,3663	39,9863
	reaktor A1	19,5088	6,92617	,074	-1,1676	40,1851
	reaktor A2	26,0913*	6,92617	,006	5,4149	46,7676
	kontrol B0	11,0313	6,92617	,608	-9,6451	31,7076
	reaktor B2	2,1637	6,92617	1,000	-18,5126	22,8401
reaktor B2	kontrol A0	17,1463	6,92617	,155	-3,5301	37,8226
	reaktor A1	17,3450	6,92617	,146	-3,3313	38,0213
	reaktor A2	23,9275*	6,92617	,015	3,2512	44,6038
	kontrol B0	8,8675	6,92617	,794	-11,8088	29,5438
	reaktor B1	-2,1637	6,92617	1,000	-22,8401	18,5126

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

**Homogenous Subsets**

RMVL\_MB1

Tukey HSD <sup>a</sup>

MBAS 1hari	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
reaktor A2	8	41,5013	
reaktor A1	8	48,0837	48,0837
kontrol A0	8	48,2825	48,2825
kontrol B0	8	56,5612	56,5612
reaktor B2	8		65,4288
reaktor B1	8		67,5925
Sig.		,271	,074

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.



## Pengujian data untuk waktu tinggal 6 jam

## ANOVA

RMVL\_MB6

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2772,683	5	554,537	3,306	,013
Within Groups	7045,647	42	167,754		
Total	9818,330	47			

Nilai Sig. < 0,05 ( $\alpha$ ), sehingga tolak  $H_0$ , berarti ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: RMVL\_MB6

Tukey HSD

(I) MBAS 6jam	(J) MBAS 6jam	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol C0	reaktor C1	6,8338	6,47598	,896	-12,4987	26,1662
	reaktor C2	1,1250	6,47598	1,000	-18,2074	20,4574
	kontrol D0	20,8575*	6,47598	,028	1,5251	40,1899
	reaktor D1	,0025	6,47598	1,000	-19,3299	19,3349
	reaktor D2	-,2050	6,47598	1,000	-19,5374	19,1274
reaktor C1	kontrol C0	-6,8338	6,47598	,896	-26,1662	12,4987
	reaktor C2	-5,7088	6,47598	,949	-25,0412	13,6237
	kontrol D0	14,0238	6,47598	,275	-5,3087	33,3562
	reaktor D1	-6,8313	6,47598	,896	-26,1637	12,5012
	reaktor D2	-7,0388	6,47598	,884	-26,3712	12,2937
reaktor C2	kontrol C0	-1,1250	6,47598	1,000	-20,4574	18,2074
	reaktor C1	5,7088	6,47598	,949	-13,6237	25,0412
	kontrol D0	19,7325*	6,47598	,043	,4001	39,0649
	reaktor D1	-1,1225	6,47598	1,000	-20,4549	18,2099
	reaktor D2	-1,3300	6,47598	1,000	-20,6624	18,0024
kontrol D0	kontrol C0	-20,8575*	6,47598	,028	-40,1899	-1,5251
	reaktor C1	-14,0238	6,47598	,275	-33,3562	5,3087
	reaktor C2	-19,7325*	6,47598	,043	-39,0649	-,4001
	reaktor D1	-20,8550*	6,47598	,028	-40,1874	-1,5226
	reaktor D2	-21,0625*	6,47598	,026	-40,3949	-1,7301
reaktor D1	kontrol C0	-,0025	6,47598	1,000	-19,3349	19,3299
	reaktor C1	6,8313	6,47598	,896	-12,5012	26,1637
	reaktor C2	1,1225	6,47598	1,000	-18,2099	20,4549
	kontrol D0	20,8550*	6,47598	,028	1,5226	40,1874
	reaktor D2	-,2075	6,47598	1,000	-19,5399	19,1249
reaktor D2	kontrol C0	,2050	6,47598	1,000	-19,1274	19,5374
	reaktor C1	7,0388	6,47598	,884	-12,2937	26,3712
	reaktor C2	1,3300	6,47598	1,000	-18,0024	20,6624
	kontrol D0	21,0625*	6,47598	,026	1,7301	40,3949
	reaktor D1	,2075	6,47598	1,000	-19,1249	19,5399

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



### Homogenous Subsets

RMVL\_MB6

Tukey HSD<sup>a</sup>

MBAS 6jam	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
kontrol D0	8	18,8663	
reaktor C1	8	32,8900	32,8900
reaktor C2	8		38,5988
reaktor D1	8		39,7213
kontrol C0	8		39,7238
reaktor D2	8		39,9288
Sig.		,275	,884

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.


## BERITA ACARA UJIAN THESIS

Pada  
 Hari, tanggal : Rabu, 01 Februari 2005  
 Jam : 09.00 - 10.30  
 Tempat : Ruang Sidang Jurusan Teknik Lingkungan

telah dilaksanakan Ujian Thesis :

Judul : Pengolahan Air Bekas Domestik Dengan Sistem  
 Constructed Wetland Aliran Subsurface Untuk  
 Menurunkan COD, TS dan Deterjen

Nama Mahasiswa : Yeny Dhokhikah  
 Nrp. : 3303 201 010  
 Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS  
 Bidang Keahlian : Magister Teknik Lingkungan

Tanda tangan : 

Dari hasil pengujian dinyatakan :


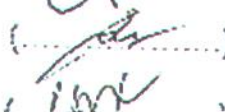
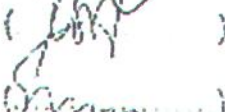

1. LULUS DENGAN PERBAIKAN MINOR\*)
2. TIDAK LULUS

**Saran-saran perbaikan :**


- Penulisan SYOK (Subyek, Predikat, Obyek, Keterangan)
- Ditinjau parameter / tanaman shg spt Mhel tan tlg bar
- Ditinjau sbr penyeras bubas domestik
- Ditinjau / dibahas mekanisme pemukiman mikroba ( $NO_2$  &  $O_2$  (respirasi / fot) tan → selapas
- Is lain lihat di draft tesis
- 1. Ditinjau lagi catrival untuk tanaman dan media
- 2. Jurnal gambar 4.1 dst diperbaiki
- 3. Ditulis / dibahas komponen tanaman di dalam media dan hasilnya
- 4. Ditulis / dibahas kelemahan penelitian ini dan sarannya
- ① Kesimpulannya didempurnakan
- ② Pembahasan fungsi tanaman, media realistik di pertaja
- ③ Tanaman di bahasakan juga keefektifannya
- ④ Pengalasan hal 43-44 dan shg

Razif  
 06  
 06  
 02  
 Don  
 06  
 06

Tim Penguji :

- |   |  |
|---|--|
| Nama<br>1. Ir. Agus Slamet, MSc<br>2. Ir. Razif, MTM.<br>3. Ir. Elina S. Pandebesie, MT.<br>4. Dra. Enny Zulaika, MP. | (tanda tangan)<br><br><br><br> |
|---|--|

Pembimbing.

  
 (Dr. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc)

\* Coref yang tidak sesuai