

TESIS
PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN
TANAMAN HIAS *Cyperus alternifolius*, L. DALAM
SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
ALIRAN BAWAH PERMUKAAN (*SSF-Wetlands*)

Disusun oleh

Supradata
L4K 000018

Mengetahui,
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua

Dr. Ir. Purwanto, DEA

Ir. Sumarno, M.Si.

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN
TANAMAN HIAS *Cyperus alternifolius*, L. DALAM
SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
ALIRAN BAWAH PERMUKAAN (*SSF-Wetlands*)**

Disusun oleh

**Supradata
L4K 000018**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Tanggal 24 Agustus 2005
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

KETUA

Tanda tangan

Dr. Ir. Purwanto, DEA

.....

ANGGOTA :

1. Ir. Sumarno, M.Si.

.....

2. Ir. Nasrullah, MS.

.....

3. Ir. Endro Sutrisno, MS.

.....

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAKSI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Hipotesis	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
	8
2.1. Air Limbah Domestik	10
2.1.1. Karakteristik Air Limbah Domestik	13
2.1.2. Kualitas Air Limbah Domestik	16
2.2. Sistem Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetlands</i>)	
2.3. Sistem Aliran Bawah Permukaan (<i>SSF-Wetlands</i>)	19
2.3.1. Prinsip Dasar pada Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan	25
2.3.2. Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (<i>SSF-Wetlands</i>)	34
2.3.3. Permodelan <i>SSF-Wetland</i>	39
	39
	39
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	40
	40
3.1. Bahan / Materi Penelitian	40
3.2. Peralatan	40
3.3. Ruang Lingkup Penelitian	40
3.4. Variabel	42
3.4.1. Kondisi Penelitian	44
3.4.2. Ukuran Masing – Masing Bak <i>SSF-Wetland</i>	44
3.5. Cara Penelitian	44
3.5.1. Persiapan	
3.5.2. Prosedur Penelitian	

3.6. Analisis Data	46
3.6.1. Penyelesaian Model	49
3.6.2. Pengujian / Validasi Model	51
	55
	58
BAB IV. HASIL PENELITIAN.	63
4.1. Kondisi Umum Kualitas Air Limbah	
4.2. Data Parameter Uji	66
4.3. Penurunan BOD	67
4.4. Penurunan COD	
4.5. Penurunan TSS	
4.6. Waktu Tinggal Optimal	
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	
5.2. Saran	
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Kualitas Inflow IPAL Beberapa Proyek Sewerage	11
Tabel 2.2.	Klasifikasi Tingkat Pencemaran Air Limbah Domestik	12
Tabel 2.3.	Peranan Media, Tanaman dan Mikroorganisme terhadap Pengurangan Zat Polutan dalam <i>SSF-Wetlands</i>	25
	Karakteristik Media dalam <i>SSF-Wetlands</i>	
Tabel 2.4.	Kinerja Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan Berdasarkan Jenis Media yang Digunakan	26
Tabel 2.5.	Jenis Tanaman yang Digunakan pada Lahan Basah Buatan	
	Kemampuan Tanaman Air Menyerap N & P	
	Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Berdasarkan Waktu Tinggal Dalam Reaktor (t)	27
Tabel 2.6.	Data Pendukung	28
Tabel 2.7.	BOD Air Limbah Pagi Hari	31
	COD Air Limbah Pagi Hari	
Tabel 4.1.	TSS Air Limbah Pagi Hari	
		50
Tabel 4.2.		50
Tabel 4.3.		51
Tabel 4.4.		56
Tabel 4.5.		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Fluktuasi Debit Air Limbah Rumah Tangga	9
Gambar 2.2.	12
Gambar 2.3.	Komposisi Komponen Penyusun Limbah Domestik	14
Gambar 2.4.	15
Gambar 2.5.	Klasifikasi Jenis Lahan Basah (<i>Wetlands</i>)	16
Gambar 2.6.	Tipe Aliran Lahan Basah Buatan	18
Gambar 2.7.	Tipe <i>Wetlands</i> Berdasarkan Jenis Tanaman Yang Digunakan	22
Gambar 2.8.	22
Gambar 2.9.	Perbandingan Teknologi Konvensional & Teknologi Lahan Basah Dalam Mengolah Limbah Domestik	24
Gambar 2.10.	Model Aliran C Dalam Zona Rizosfer	35
Gambar 3.1.	Zona Rizosfer Akar Tanaman Akuatik	41
Gambar 4.1.	Zona Aerob dan Anaerob pada Sistem Perakaran Tanaman Air	51
Gambar 4.2.	53
Gambar 4.3.	Profil Degradasi Polutan Pada Reaktor Batch	55
Gambar 4.4.	Diagram Rangkaian Alat Percobaan	56
Gambar 4.5.	Grafik BOD Terhadap Waktu Tinggal	60
	Fase Pertumbuhan Bakteri dalam Reaktor <i>Batch</i>	
	Grafik Pertumbuhan Bakteri	
	Grafik COD Terhadap Waktu Tinggal	
	Grafik TSS Terhadap Waktu Tinggal	

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk di Indonesia yang pesat khususnya di kota-kota besar, telah mendorong peningkatan kebutuhan akan perumahan sehingga meningkatkan jumlah air limbah domestik. Meningkatnya jumlah air limbah domestik yang tidak diimbangi dengan peningkatan badan air penerima baik dari aspek kapasitas maupun kualitasnya, menyebabkan jumlah air limbah yang masuk ke dalam badan air penerima tersebut melebihi daya tampung maupun daya dukungnya. Untuk mengantisipasi potensi dampak tersebut, maka perlu upaya minimasi limbah melalui berbagai alternatif teknologi pengolahan limbah yang efektif dan efisien, salah satu alternatifnya adalah menggunakan sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*). Penggunaan tanaman hias dalam sistem tersebut dapat meningkatkan nilai estetika pada suatu kawasan perumahan atau *real-estate* dan lahan tempat pengolahan air limbah ini dapat difungsikan pula sebagai taman, sehingga dapat menghemat kebutuhan lahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) menggunakan tanaman hias jenis **Bintang air** (*Cyperus alternifolius*), sesuai dengan kondisi iklim di Indonesia (Tropis).

Penelitian dilaksanakan dengan pola aliran curah (*batch*), dengan melakukan pengumpulan data setiap hari selama penelitian dengan cara pengukuran secara langsung (*In Situ*) untuk parameter pH dan Suhu serta cuplikan sesaat (*Grab Sampling*) untuk parameter BOD₅, COD, TSS. Analisa untuk parameter BOD₅, COD, TSS dilakukan di Laboratorium Pengujian Limbah dan Lingkungan – Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan, Semarang. Analisis data menggunakan analisis regresi dengan software EXCEL dan analisis statistik uji hipotesis dengan pengujian tentang kebaikan-suai (*test of goodness of fit*) terhadap data hasil penelitian dan stimulasi model.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius* memiliki kinerja yang cukup baik dalam pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem pengolahan tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan laju penurunan BOD dengan persamaan $(BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{0,697t}$, sedangkan laju penurunan COD dengan persamaan model $COD_t = COD_0 e^{-0,6401t}$.

Penurunan konsentrasi BOD dan COD terkait dengan aktivitas mikroorganisme dalam sistem perakaran tanaman (*Rhizosfer*) yang terdapat dalam reaktor, sehingga model penurunan konsentrasi BOD maupun COD terhadap waktu tinggal membentuk model eksponensial. Sedangkan penurunan TSS lebih disebabkan oleh proses fisik (sedimentasi dan filtrasi) yang sangat dipengaruhi oleh porositas media maupun pertumbuhan akar tanaman yang memiliki bentuk perakaran yang tidak sama tiap reaktornya, sehingga hasil analisis regresi tidak signifikan.

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius* memiliki kinerja yang cukup baik dalam pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*). Melalui perhitungan menggunakan persamaan model BOD, maka didapatkan ALR (*The areal Loading rate*) sebesar 16,24 g/m²/hari, dengan waktu tinggal optimal minimal 2 hari.

ABSTRACT

The fast growing of the Indonesian population especially in big cities, has encouraged the increased need for housing so that it will increase the amount of domestic waste water as well. The increase amount of domestic waste water which is incomparable with the increase of water reservoir either from capacity or quality aspects, causes the amount of waste water coming into the water reservoir exceeding its capacity or capability. To anticipate those potential impacts, the effort must be carried out to minimize the waste through various alternatives of effective and efficient waste water treatment technology. One of the alternative is the use of Constructed Wetlands. Utilizing decorated plants in that system can improve aesthetical value for the housing area or real estate and the land where the waste water is treated may also function as a park, so that it will save the need for land.

This research is aimed at knowing the model for domestic wastewater treatment by SSF-Wetlands using decorated plants like Umbrella Grass or Umbrella Palm (*Cyperus alternifolius*), which is suitable with the tropical climate in Indonesia.

The research is carried out with batch loaded, by the data collection every day during the research by direct measurement (*In situ*) for pH and temperature parameter and *Grab-sampling* for BOD₅, COD, TSS parameter. The analysis for BOD₅, COD, TSS parameter is carried out in BARISTAND-INDAG, Semarang. The data analysis uses regression analysis by EXCEL software and hypothetical testing for statistical analysis uses *test of goodness of fit*.

The research findings indicate that decorated plants like *Cyperus alternifolius* has quite good performance in the household waste water treatment whit that system. From the research findings, it is obtained that BOD rate of decrease with the equation $(BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{0,697t}$, while COD rate of decrease with the equation model $COD_t = COD_0 e^{-0,6401t}$.

The decrease of BOD and COD concentration concerns with the microorganism activity in Rhizosfer system which is in the reactor, so that the model of concentration decrease of BOD or COD toward the living period forms exponential model. Meanwhile the decrease of TSS is moreless caused by physical process (sedimentation and filtration) which is highly influenced by media porosity or the growth of plant roots which have no identical forms of roots for every reactor, so that the result of regression analysis is insignificant.

Based on the research findings, it can be concluded that decorated plants like *Cyperus alternifolius* has quite good performance in the household waste water treatment by SSF-Wetlands system. Through the calculation using equation model of BOD, it is obtained ALR (The Area Loading Rate) 16.24 g/m²/day, with the optimum living period for at least two days.

Key word : *Domestic Wastewater, SSF-Wetlands, Cyperus alternifolius.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan tingkat kepadatan penduduk dan laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, maka air limbah domestik dilingkungan pemukiman untuk masa yang akan datang potensial menjadi ancaman yang cukup serius terhadap pencemaran lingkungan perairan.

Pertumbuhan penduduk di Indonesia yang pesat khususnya di kota-kota besar, telah mendorong peningkatan kebutuhan akan perumahan. Hal tersebut mengakibatkan timbulnya permasalahan dengan lingkungan air. Meningkat jumlah air limbah domestik yang tidak diimbangi dengan peningkatan badan air penerima baik dari aspek kapasitas maupun kualitasnya, menyebabkan jumlah air limbah yang masuk ke dalam badan air tersebut dapat melebihi daya tampung maupun daya dukungnya.

Didalam dokumen Agenda-21 Indonesia disebutkan, bahwa wilayah pemukiman kota merupakan salah satu penyumbang utama terhadap pencemaran sungai, dimana sekitar 60% sampai dengan 70% pencemaran sungai disebabkan oleh limbah domestik (Anonim, 1997). Salah satu contoh kasus yang pernah dimuat pada Harian *Pikiran Rakyat* edisi 15 Oktober 1997, bahwa tingkat pencemaran air Sungai

Citarum saat ini sudah mencapai 80-100% di atas ambang batas. Penyebab utama pencemaran ini adalah limbah domestik (40%), limbah industri (30%) dan sisanya limbah pertanian, peternakan atau limbah lainnya.

Bahkan kajian yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta awal tahun 2000 di Kali Mas di Surabaya, menyebutkan bahwa sumber pencemaran terbesar berasal dari limbah cair domestik yang memberikan kontribusi pencemaran sebesar 87% baru sisanya 13% berasal dari limbah cair industri (Fakhrizal, 2004).

Berdasarkan karakteristiknya terdapat 2 (dua) jenis air limbah domestik, yaitu jenis *black water* yang berasal dari WC dan umumnya ditampung dalam septic-tank, sedangkan yang satunya adalah jenis *grey water* yang berasal dari kegiatan mencuci, mandi dan memasak, yang umumnya langsung dibuang ke saluran drainase maupun perairan umum. Walaupun air limbah jenis *grey water* sebagian besar merupakan bahan organik yang mudah terdegradasi, namun secara kuantitas cenderung semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Dari berbagai literatur menyebutkan bahwa antara 60 % - 70 % air yang digunakan oleh masyarakat kota, akan terbuang sebagai air limbah, sedangkan air limbah tersebut akan masuk ke badan sungai tanpa ada upaya pengolahan terlebih dahulu.

Berdasarkan dokumen Agenda-21 Indonesia diprediksi bahwa dengan acuan pertumbuhan penduduk kota pada tahun 1990, maka diperkirakan penduduk diwilayah perkotaan di Indonesia akan mencapai 257 juta jiwa pada tahun 2020. Dengan asumsi bahwa setiap orang akan menghasilkan limbah setiap hari sebesar 40 l/orang/hari (Sugiharto,1987), maka diperkirakan di wilayah perkotaan akan terjadi

pembuangan air limbah domestik ke sungai sebesar $\pm 10,28$ juta M^3 setiap harinya. Kondisi ini tentu akan menambah beban pencemaran di badan perairan / sungai dan apabila kemampuan pemulihan alamiah (*self-purification*) sungai terlampaui, maka akan menyebabkan pencemaran air sungai yang cukup serius.

Untuk mengantisipasi potensi dampak tersebut, maka perlu upaya minimasi limbah baik itu dari aspek kebijakan pemerintah dalam rangka menekan jumlah air limbah domestik yang dihasilkan maupun dari aspek ilmu pengetahuan dan teknologi guna mendapatkan berbagai alternatif teknologi pengolahan limbah yang efektif dan efisien.

Kecenderungan wilayah pemukiman kota besar di Indonesia relatif terkonsentrasi dalam kompleks – kompleks perumahan. Kondisi tersebut, pada satu sisi dapat memberikan kemudahan untuk upaya penanggulangan maupun pengelolaan air limbah secara terpadu, namun disisi lain banyak teknologi pengolahan air limbah (IPAL) yang berjalan kurang efektif, karena mahalnya biaya operasional dan rumitnya sistem pengoperasian. Mengingat karakteristik air limbah domestik yang banyak mengandung bahan organik, maka alternatif sistem pengolahan limbah secara biologis dapat dijadikan pilihan utama. Dengan konsentrasi bahan pencemar yang tidak terlalu besar, maka sistem pengolahan dapat dilaksanakan dengan teknologi yang sederhana dan praktis dalam pemeliharaannya. Atas dasar pertimbangan tersebut, maka diperlukan sistem pengolahan air limbah (IPAL) yang sederhana, mudah dioperasikan & murah untuk biaya pembuatan dan operasionalnya. Salah

satu alternatif sistem pengolahan air limbah tersebut adalah Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*).

Ada 2 (dua) jenis Lahan Basah Buatan, yaitu jenis aliran permukaan (*Surface Flow*) dan aliran bawah permukaan (*Sub Surface Flow*). Namun mengingat bahwa jenis aliran permukaan (*Surface Flow*) dapat meningkatkan populasi nyamuk disekitar lokasi IPAL, maka aliran bawah permukaan (*Sub Surface Flow*) lebih layak digunakan sebagai alternatif sistem pengolahan air limbah domestik di Indonesia.

Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (*Sub Surface Flow – Wetlands*) merupakan salah satu sistem pengolahan air limbah jenis Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*), dimana prinsip kerja sistem pengolahan limbah tersebut dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tanaman tersebut. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme. Setiap jenis tanaman akan memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk menghasilkan oksigen, sehingga kondisi aerob pada daerah *rhizosphere* untuk tiap-tiap jenis tanaman akan menjadi faktor pembatas terhadap kehidupan mikroorgaisme. Bagi jenis bakteri aerob, konsentrasi oksigen merupakan faktor pembatas, sehingga suasana aerob pada daerah

rhizosphere tersebut yang menyebabkan mikroorganisme yang dapat bersimbiosis dengan masing – masing jenis tanaman akan spesifik.

Berdasarkan rata-rata kondisi iklim Indonesia yang potensial untuk mendukung pertumbuhan dan transpirasi tanaman sepanjang tahun, maka pengolahan air limbah menggunakan sistem tersebut diperkirakan dapat berjalan dengan optimal. Disamping itu, murahnya biaya konstruksi maupun biaya operasional merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan upaya pengolahan air limbah secara berkelanjutan.

Dengan mempertimbangkan beberapa aspek tersebut diatas, maka sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) merupakan alternatif yang cukup baik dalam rangka mengolah air limbah domestik, terutama pada areal pemukiman di wilayah perkotaan yang relatif terkonsentrasi, seperti kompleks perumahan atau *real-estate*. Namun demikian, kebutuhan lahan yang cukup luas untuk sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) akan menjadi hambatan dalam penerapan sistem tersebut untuk pengolahan air limbah kawasan perumahan di wilayah perkotaan. Untuk itu diperlukan upaya optimalisasi penggunaan lahan, sehingga pemanfaatan lahan untuk IPAL tersebut dapat dilaksanakan secara efisien. Alternatif penggunaan tanaman hias dalam sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) merupakan salah satu upaya dalam rangka mengoptimalkan kebutuhan lahan, dimana lahan pengolah air limbah dapat dimanfaatkan juga sebagai taman, sehingga sistem pengolah air limbah tersebut

tidak perlu ditempatkan pada lahan tersendiri, namun dapat memanfaatkan lahan yang diperuntukan sebagai taman di kawasan perumahan tersebut.

1.2. Permasalahan

- a. Bagaimana model pengolahan air limbah domestik menggunakan tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius* dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) tersebut ?
- b. Apakah laju penurunan parameter uji (BOD, COD, TSS) terhadap waktu tinggal (t) akan berbentuk model eksponensial ?
- c. Berapa waktu tinggal optimal yang dibutuhkan sistem pengolah air limbah tersebut untuk mendapatkan kualitas air limbah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan ?

1.3. Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui model pengolahan air limbah domestik dengan sistem *SSF-Wetlands* menggunakan tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius*.
- b. Mengetahui laju penurunan (k) untuk parameter BOD, COD dan TSS dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) sesuai dengan kondisi iklim tropis di Indonesia.
- c. Mengetahui waktu tinggal optimal yang dibutuhkan dalam pengolahan air limbah domestik dengan tanaman *Cyperus alternifolius* pada sistem

pengolahan tersebut, sehingga kualitas air limbah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

1.4. Manfaat Penelitian

- a. Memberikan sumbangan pengetahuan dan alternatif sistem pengolahan air limbah domestik (*Grey Water*) di Indonesia, terutama untuk penggunaan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*).
- b. Memberikan alternatif penggunaan tanaman hias dalam rangka menerapkan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) untuk pengolahan air limbah kawasan perumahan di wilayah perkotaan di Indonesia.

1.5. Hipotesis

1. Tanaman *Cyperus alternifolius* dapat digunakan untuk pengolahan air limbah domestik dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) dan memiliki efisiensi yang relatif sama dengan jenis tanaman lain yang umum digunakan untuk sistem Lahan Basah Buatan (seperti *Thypha angustifolia*, *Scirpus actutus*, dan *Phragmites australis*).
2. Model penurunan parameter uji (BOD, COD & TSS) terhadap waktu tinggal air limbah dalam reaktor berbentuk eksponensial.
3. Waktu tinggal optimal yang dibutuhkan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetland*) untuk mengolah air limbah domestik adalah 3 hari. (*Tangahu & Warmadewanthi, 2001*)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah Domestik

2.1.1. Karakteristik Air Limbah Domestik

Air limbah adalah cairan buangan dari rumah tangga, industri maupun tempat – tempat umum lain yang mengandung bahan – bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain serta mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf & Eddy, 1993).

Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pada ayat 14 disebutkan bahwa Air Limbah adalah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair.

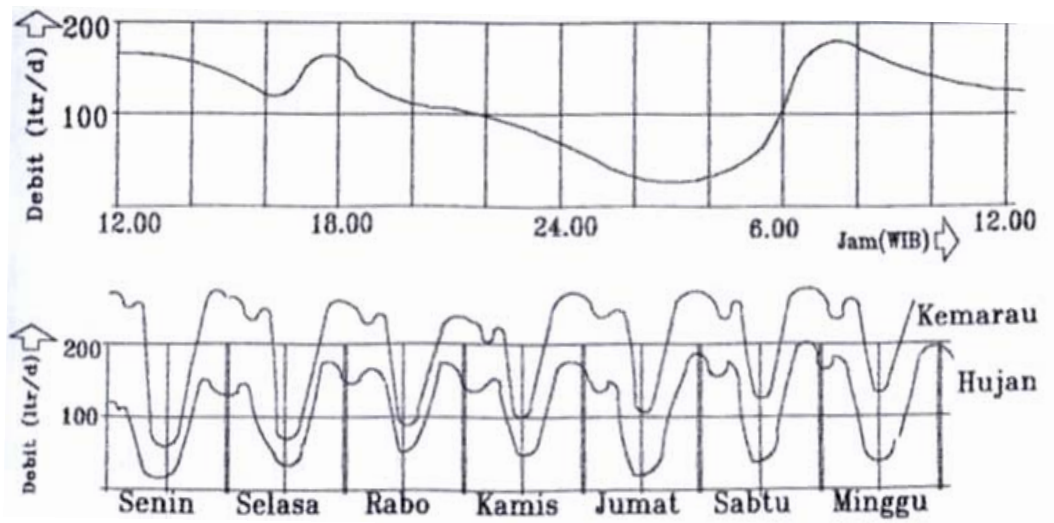
Air limbah domestik, menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan pada Pasal 1 ayat 1, bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (*restaurant*), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Menurut Hammer (1986), berdasarkan sumbernya air limbah domestik dapat berasal dari area pemukiman, motel & hotel, sekolah, restaurant, rumah sakit, terminal, perkantoran maupun bioskop.

Secara prinsip air limbah domestik terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu air limbah yang terdiri dari air buangan tubuh manusia yaitu tinja dan urine (*black water*) dan air limbah yang berasal dari buangan dapur dan kamar mandi (*gray water*), yang sebagian besar merupakan bahan organik (Veenstra, 1995).

Debit air limbah yang dihasilkan akan sangat tergantung dengan jenis kegiatan dari masing – masing sumber air limbah, sehingga flutuasi harian akan sangat bervariasi untuk masing – masing kegiatan. Sedangkan flutuasi harian pada suatu kawasan perumahan faktor yang mempengaruhi cukup kompleks, mengingat aktivitas harian pada suatu kawasan perumahan akan sangat tergantung pada sosial-budaya maupun tingkat ekonomi dari penghuninya.

Menurut Hindarko (2003), bahwa flutuasi harian untuk air limbah yang berasal dari perumahan juga dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan panjang jaringan pipa/saluran yang ada. Namun demikian, secara umum akan membentuk pola bahwa debit puncak terjadi 2 (dua) kali, yaitu pada saat pagi dan sore hari, seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 2.1. *Fluktuasi Debit Air Limbah Rumah Tangga*

2.1.2. Kualitas Air Limbah Domestik

Kualitas suatu air limbah akan dapat terindikasi dari kualitas parameter kunci, dimana konsentrasi parameter kunci tidak melebihi dari standard baku mutu yang ada sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Mengingat air limbah domestik kandungan terbesar adalah bahan organik, maka parameter kunci yang umum digunakan adalah BOD, COD dan lemak/minyak. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, maka parameter kunci untuk air limbah domestik adalah BOD, TSS, pH serta Lemak & Minyak.

Menurut Hammer (1986), kualitas air limbah dari masing – masing kegiatan dapat bervariasi, namun rata- rata kualitas air limbah domestik adalah sebagai berikut :

- MLSS = 240 mg/L
- Total N = 35 mg/L
- MLVSS = 180 mg/L
- Total P = 10 mg/L
- BOD = 200mg/L

Sedangkan air limbah domestik jenis *gray water* yang dibuang tanpa diolah, menurut Veenstra (1995), mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- BOD₅²⁰ = 110 – 400 mg/L
- COD = 150 – 600 mg/L
- TSS = 350 – 750 mg/L
- Tidak mengandung bahan berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia toksik.

Konsentrasi rata – rata untuk parameter tersebut menurut Sundstrom & Klei dalam Sugiharto (1987) adalah sebagai berikut :

- BOD₅²⁰ = 250 mg/L

- COD = 500 mg/L

- TSS = 500 mg/L

Dari hasil penelitian di perumahan ITS – Sukolilo-Surabaya oleh Tangahu & Warmadewanthi (2001), bahwa rata – rata karakteristik limbah rumah tangga adalah sebagai berikut :

- pH = 6,92

- BOD₅ = 195 mg/L

- COD = 290 mg/L

- TSS = 480 mg/L

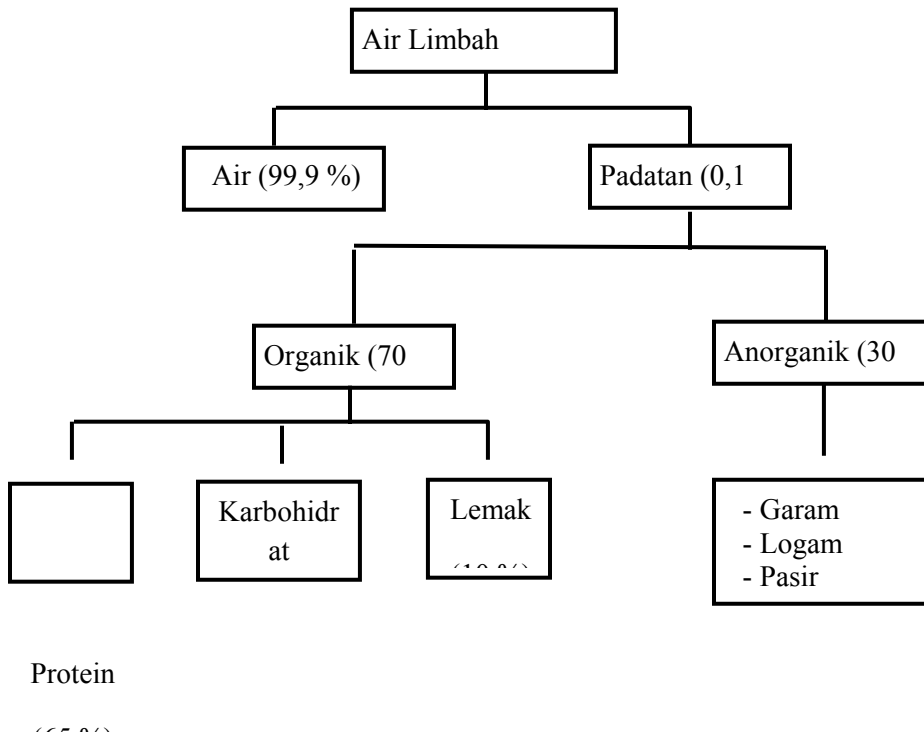
- Suhu = 29 °C

Menurut Hindarko (2003), karakteristik air limbah domestik yang akan masuk ke dalam IPAL, berdasarkan beberapa Proyek Sewerage adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1. *Kualitas Inflow IPAL beberapa Proyek Sewerage*

Parameter	Surakarta	Tangerang	Carita Bay Resort Anyer
BOD (mg/L)	373	326	375
Total Nitrogen	756	652	867
TSS (mg/L)	350	412	465
Ammoniak (NH ₃)	63	74	98
Feecal Colli (x10 ⁷)	5	6	8

Komposisi bahan organik yang terdapat dalam air limbah domestik dapat dilihat secara rinci pada gambar diagram prosentase komponen penyusun air limbah domestik berikut ini :



Gambar 2.2. *Komposisi Komponen penyusun limbah domestik*

(Tebbut dalam Effendi, H., 2003)

Menurut Rump dan Krist dalam Effendi, H. (2003), bahwa air limbah domestik dapat diklasifikasikan tingkat pencemarannya berdasarkan kualitas parameter air limbah, yaitu :

Tabel 2.2. *Klasifikasi Tingkat pencemaran Air Limbah Domestik*

Parameter	Tingkat Pencemaran		
	Berat	Sedang	Ringan
	1.000	500	200
	12	8	4
1. Padatan Total (mg/l)	300	200	100
2. Padatan Terendapkan (ml/l)	800	600	400
3. BOD (mg/l)	85	50	25
4. COD (mg/l)	30	30	15
5. N Total (mg/l)	175	100	15
6. Amonia-N (mg/l)	200	100	50
7. Klorida (mg/l)	40	20	0
8. Alkalinitas (mg/l CaCO ₃)			
9. Minyak dan Lemak			

Sumber : *Rump dan Krist (1992).*

Adapun persyaratan yang telah ditetapkan Pemerintah Indonesia sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, adalah sebagai berikut :

- pH = 6 – 9

- BOD = 100 mg/L
- TSS = 100 mg/L
- Lemak & Minyak = 10 mg/L

2.2. Sistem Lahan Basah Buatan (Constructed Wetlands)

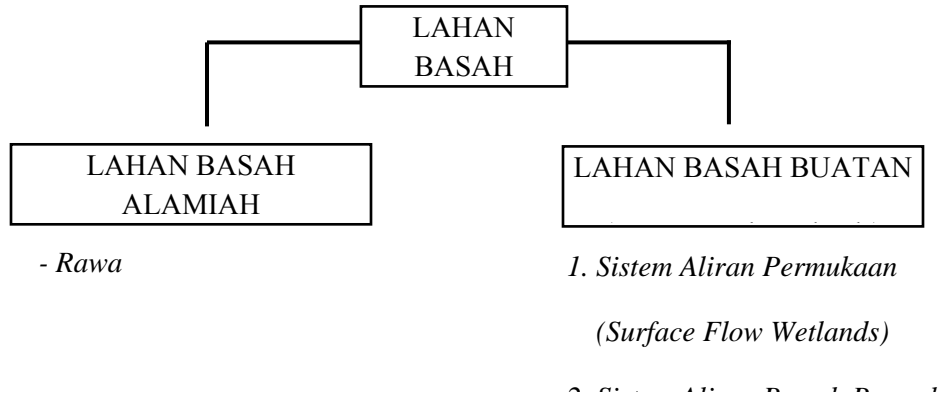
Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*) merupakan proses pengolahan limbah yang meniru/aplikasi dari proses penjernihan air yang terjadi dilahan basah/rawa (*Wetlands*), dimana tumbuhan air (*Hydrophyta*) yang tumbuh didaerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah (*self purification*).

Menurut Hammer (1986) pengolahan limbah Sistem Wetlands didefinisikan sebagai sistem pengolahan yang memasukkan faktor utama, yaitu :

- a. Area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis *hydrophyta*.
- b. Media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah).
- c. Media bisa juga bukan tanah, tetapi media yang jenuh dengan air.

Sejalan dengan perkembangan ilmu dan penelitian, maka definisi tersebut disempurnakan oleh Metcalf & Eddy (1993), menjadi “Sistem yang termasuk pengolahan alami, dimana terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologis, karena aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman”.

Pada prinsipnya Sistem Lahan Basah dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kategori dan secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3. Klasifikasi Jenis lahan Basah (Wetlands)

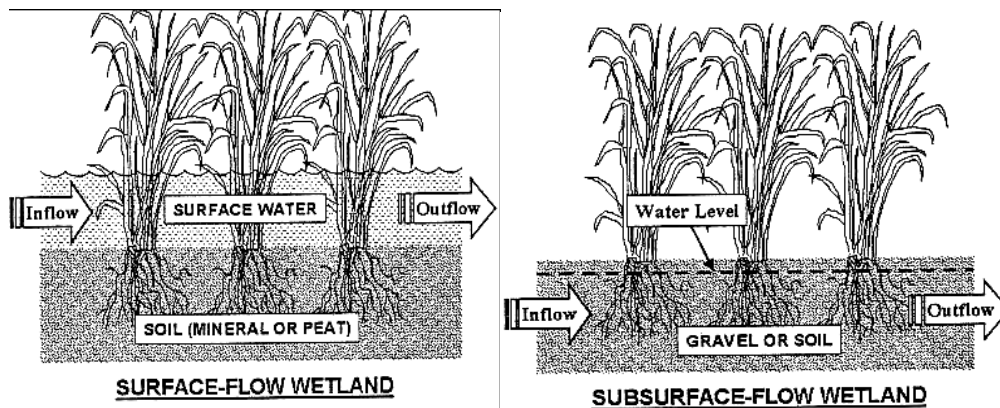
a. Lahan Basah Alamiah (*Natural Wetland*)

Sistem ini umumnya merupakan suatu sistem pengolahan limbah dalam area yang sudah ada secara alami, contohnya daerah rawa. Kehidupan biota dalam Lahan Basah Alamiah sangat beragam. Debit air limbah yang masuk, jenis tanaman dan jarak tumbuh pada masing – masing tanaman tidak direncanakan serta terjadi secara alamiah.

b. Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*)

Sistem Pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman, dll, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol/diatur sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya.

Secara umum sistem pengolahan limbah dengan Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) ada 2 (dua) tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water System*) dan sistem aliran bawah permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) atau sering dikenal dengan sistem *SSF-Wetlands* (Leady, 1997). Perbedaan sistem aliran dari kedua sistem Lahan Basah tersebut dapat dilihat secara rinci pada gambar 2.3. berikut ini :

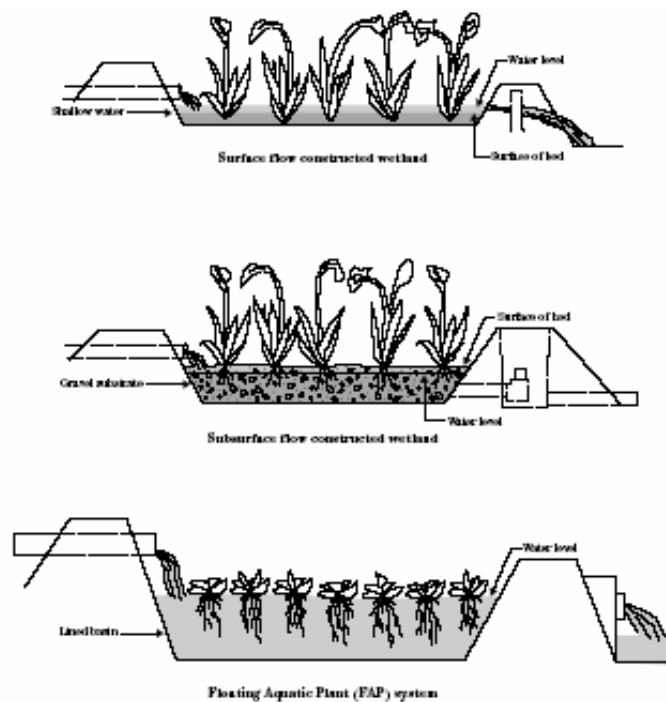


Gambar 2.4. Tipe Aliran Lahan Basah Buatan

Sedangkan klasifikasi Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*) berdasarkan jenis tanaman yang digunakan, terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu :

1. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta mengambang atau sering disebut dengan Lahan Basah sistem Tanaman Air Mengambang (*Floating Aquatic Plant System*).
2. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta dalam air (*Submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem Lahan Basah Buatan tipe Aliran Permukaan (*Surface Flow Wetlands*).
3. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta yang akarnya tenggelam atau sering disebut juga *amphibiuous plants* dan biasanya digunakan untuk Lahan Basah Buatan tipe Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow Wetlands*) SSF-Wetlands. (Suriawiria, 1993).

Pada gambar berikut ini dapat dilihat secara rinci perbedaan penggunaan tanaman dari ketiga jenis sistem Lahan Basah tersebut.



Gambar 2.5. Tipe Wetlands berdasarkan jenis tanaman yang digunakan

2.3. Sistem Aliran Bawah Permukaan (SSF – Wetland)

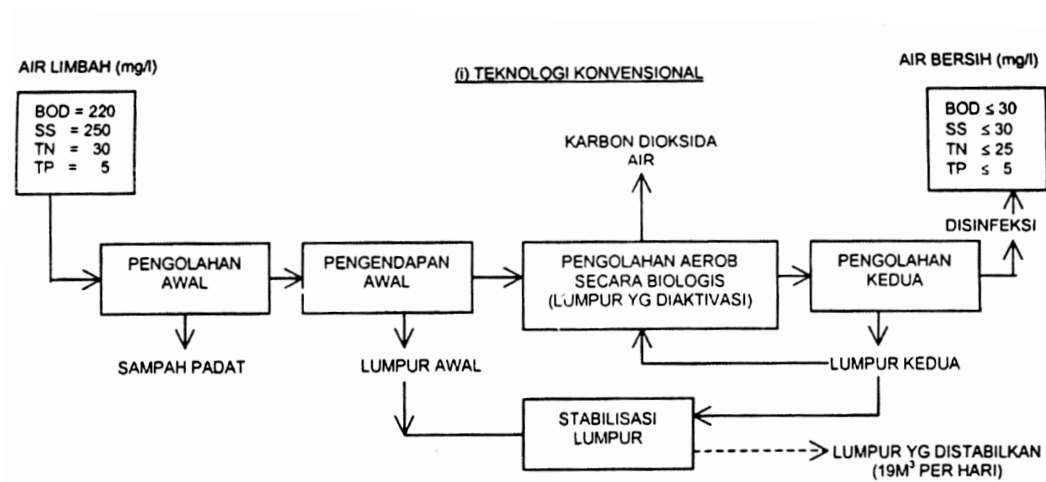
Sistem Aliran Bawah Permukaan (*Sub Surface Flow - Wetlands*) merupakan sistem pengolahan limbah yang relatif masih baru, namun telah banyak diteliti dan dikembangkan oleh banyak negara dengan berbagai alasan. Menurut Tangahu & Warmadewanthi (2001), bahwa pengolahan air limbah dengan sistem tersebut lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut :

- Dapat mengolah limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri termasuk logam berat.
- Efisiensi pengolahan tinggi (80 %).
- Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan ketrampilan yang tinggi.

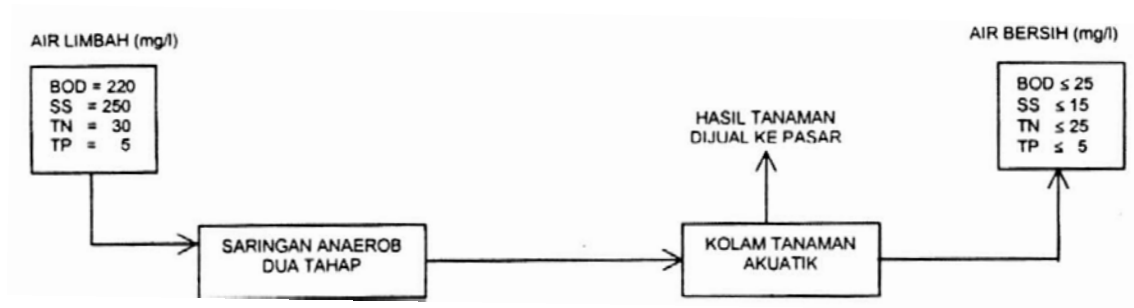
Alasan lain yang lebih teknis dikemukakan oleh Haberl dan Langergraber (2002), bahwa berdasarkan pendekatan teknis maupun efektivitas biaya, sistem tersebut lebih banyak dipilih dengan alasan sebagai berikut :

- Sistem wetlands seringkali pembangunannya lebih murah dibandingkan dengan alternatif sistem pengolahan limbah yang lainnya.
- Biaya operasional dan pemeliharaan yang rendah dan waktu operasionalnya secara periodik, tidak perlu secara kontinyu.
- Sistem Wetlands ini mempunyai toleransi yang tinggi terhadap fluktuasi debit air limbah.
- Mampu mengolah air limbah dengan berbagai perbedaan jenis polutan maupun konsentrasinya.
- Memungkinkan untuk pelaksanaan pemanfaatan kembali & daur ulang (reuse & recycling) airnya.

Kemampuan teknologi Lahan Basah Buatan dalam mengolah limbah domestik sama efektifnya dengan teknologi konvensional dengan sistem lumpur aktif. Penelitian yang dilakukan Jewell *dalam* Khiatuddin (2003) dengan membandingkan teknologi konvensional dan teknologi Lahan Basah untuk mengolah air limbah sebanyak 3.790 M³/hari yang dihasilkan dari 10.000 penduduk, maka dihasilkan effluent air limbah dengan kualitas sebagaimana tersaji pada gambar diagram berikut ini :



(2) Teknologi Lahan Basah



Sumber : Khatuddin, M. (2003)

Gambar 2.6. Perbandingan Teknologi Konvensional & teknologi Lahan Basah

Dalam Mengolah Limbah Domestik

2.3.1. Prinsip Dasar pada Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan

Mengacu dari definisi *Wetlands* dari *Met Calf & Eddy* (1993), maka proses pengolahan limbah pada Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) dapat terjadi secara fisik, kimia maupun biologi. Proses secara fisik yang terjadi adalah proses sedimentasi, filtrasi, adsorpsi oleh media tanah yang ada. Menurut Wood dalam Tangahu & Warmadewanthi (2001), dengan adanya proses secara fisik ini hanya dapat mengurangi konsentrasi COD & BOD solid maupun TSS, sedangkan COD & BOD terlarut dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas mikroorganisme maupun tanaman.

Hal tersebut dinyatakan juga oleh Haberl dan Langergraber (2002), bahwa proses eliminasi polutan dalam air limbah terjadi melalui proses secara fisik, kimia dan biologi yang cukup kompleks yang terdapat dalam asosiasi antara media, tumbuhan makrophyta dan mikroorganisme, antara lain :

- Pengendapan untuk zat padatan tersuspensi
- Filtrasi dan pretipitasi kimia pada media
- Transformasi kimia
- Adsorpsi dan pertukaran ion dalam permukaan tanaman maupun media
- Transformasi dan penurunan polutan maupun nutrient oleh mikroorganisme maupun tanaman
- Mengurangi mikroorganisme pathogen

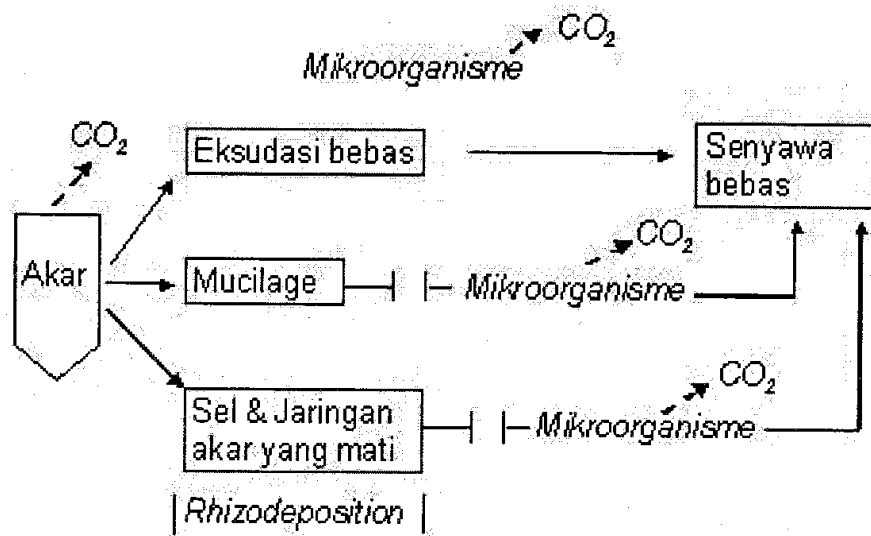
Mekanisme penyerapan polutan pada Lahan Basah Buatan, menurut USDA and ITRC *dalam* Halverson (2004) menyebutkan bahwa secara umum melalui proses abiotik (Fisik dan kimia) atau biotik (mikrobia dan tanaman) dan gabungan dari kedua proses tersebut. Proses pengolahan awal (primer) secara abiotik, antara lain melalui :

- Settling & sedimentasi, efektif untuk menghilangkan partikulat dan padatan tersuspensi.
- Adsorpsi dan absorpsi, merupakan proses kimiawi yang terjadi pada tanaman, substrat, sediment maupun air limbah, yang berkaitan erat dengan waktu retensi air limbah.
- Oksidasi dan reduksi, efektif untuk mengikat logam-logam B₃ dalam Lahan Basah Buatan.
- Photodegradasi/oksidasi, degradasi (penurunan) berbagai unsur polutan yang berkaitan dengan adanya sinar matahari.
- Volatilisasi, penurunan polutan akibat menguap dalam bentuk gas.

Proses secara biotik, seperti biodegradasi dan penyerapan oleh tanaman juga merupakan bentuk pengurangan polutan seperti halnya pada proses abiotik. Beberapa proses pengurangan polutan yang dilakukan oleh mikrobia dan tanaman dalam Lahan Basah, antara lain sebagai berikut :

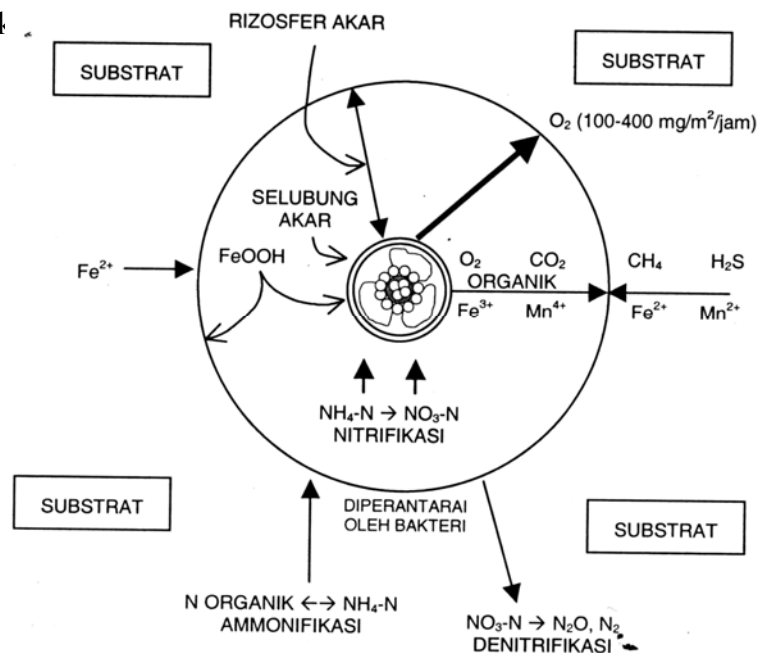
- Biodegradasi secara Aerobik/anaerobik, merupakan proses metabolisme mikroorganisme yang efektif menghilangkan bahan organik dalam Lahan Basah
- Phyto-akumulasi, proses pengambilan dan akumulasi bahan anorganik oleh tanaman.
- Phyto-stabilisasi, merupakan bentuk kemampuan sebagian tanaman untuk memisahkan bahan anorganik pada akar tanaman.
- Phyto-degradasi, tanaman dapat menghasilkan enzim yang dapat memecah bahan organik maupun anorganik dari polutan sebelum diserap, selama proses transpirasi.
- Rhizo-degradasi, akar tanaman dapat melakukan penyerapan bahan polutan dari hasil degradasi bahan organik yang dilakukan oleh mikrobia.
- Phyto-volatilisasi / evapotranspirasi, penyerapan dan transpirasi pada daun tanaman terhadap bahan-bahan yang bersifat volatil.

Proses penurunan polutan dalam bentuk bahan organik tinggi, merupakan nutrient bagi tanaman. Melalui proses dekomposisi bahan organik oleh jaringan akar tanaman akan memberikan sumbangan yang besar terhadap penyediaan C, N, dan energi bagi kehidupan mikrobia (Handayanto, E. dan Hairiah, K., 2007). Pada gambar 2.7. dibawah ini merupakan gambaran secara skematis tentang model aliran C dalam zona rhizosphere :



Gambar 2.7. Model aliran C dalam Zona Rizosfer.

Adapun gambaran umum tentang mekanisme pergerakan senyawa kimia antara akar tanaman, zona rizosfer dan substrat disekelilingnya, menurut Faulkner dan Richardson *dalam* Khiatuddin, (2003), adalah sebagai berikut .



Gambar 2.8. *Zona Rizosfer akar tanaman akuatik.*

Aktivitas mikroorganisme maupun tanaman dalam penyediaan oksigen yang terdapat dalam sistem pengolahan limbah Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) ini, secara prinsip terjadi akibat adanya proses fotosintesis maupun proses respirasi.

Menurut Brix *dalam* Khiatuddin (2003), menyatakan bahwa dibawah permukaan tanah, akar tumbuhan akuatik mengeluarkan oksigen, sehingga terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan rambut akar. Oksigen tersebut mengalir keakar melalui batang setelah berdifusi dari atmosfer melalui pori-pori daun. Pendapat tersebut diperkuat dengan pernyataan Tangahu dan Warmadewanthi (2001), bahwa pelepasan oksigen di sekitar akar (rizosfer) tersebut sangat dimungkinkan karena jenis tanaman *hydrophyta* mempunyai ruang antar sel atau lubang saluran udara

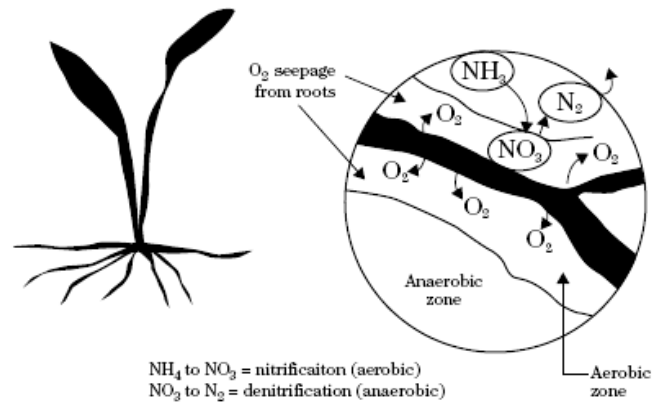
(*aerenchyma*) sebagai alat transportasi oksigen dari atmosfer ke bagian perakaran.

Menurut Reed, et al. dalam Khiatuddin, M (2003), diperkirakan, oksigen yang dilepas oleh akar tanaman air dalam 1 hari berkisar antara 5 hingga 45 mg/M² luas akar tanaman.

Percobaan yang dilakukan oleh Brix, et al. di Australia menemukan bahwa tanaman-tanaman air mampu memasok oksigen ke dalam tanah dibawah permukaan air dalam kisaran antara 0,2 – 10 cm³ O₂ /menit tiap batangnya (Khiatuddin, M., 2003).

Menurut Amstrong dalam Tangahu dan Warmadewanthi, (2001), menyebutkan bahwa jumlah oksigen yang dilepaskan oleh tanaman *Hydrophyta* sebesar 12 g O₂/m²/hari, dengan sistem perakaran tiap batangnya mempunyai 10 akar adventif, dimana tiap akar adventif berisi 600 akar lateral. Sedangkan menurut Hindarko (2003), menyebutkan bahwa berdasarkan pengalaman, kadar oksigen yang dipasok melalui daun, batang maupun akar tanaman yang terdapat dalam *SSF-Wetlands* rata-rata sebesar 20 g O₂/m²/hari.

Pada gambar 2.9. berikut ini dapat dilihat secara rinci bahwa sistem perakaran tanaman air (*Rhizosfer*) yang menghasilkan oksigen akan membentuk zona aerob dan yang jauh dari sistem perakaran tersebut akan membentuk zona anaerob.



Gambar 2.9. Zona Aerob dan anaerob pada sistem perakaran tanaman air

Pelepasan oksigen oleh akar tanaman air menyebabkan air/tanah disekitar rambut akar memiliki oksigen terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan air/tanah yang tidak ditumbuhi tanaman air, sehingga memungkinkan organisme mikro pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan lahan basah yang berkondisi anaerob (Khatuddin, 2003).

Menurut Suriawiria (1993), kelompok mikroorganisme yang berada di daerah rhizosphere atau sering disebut *mikroba rhizosfera*, tidak hanya jenis bakteri, namun juga beberapa jenis dari kelompok jamur. Mikroba rhizosfera

ini hidup secara simbiosis disekitar akar tanaman dan kehadirannya secara khas tergantung pada akar tanaman tersebut.

Peranan media, tanaman maupun mikroorganisme yang terdapat dalam sistem pengolahan limbah SSF-Wetlands tersebut, berdasarkan 3 (tiga) komponen utama zat polutan dapat digambarkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.3. *Peranan Media, Tanaman dan Mikroorganisme terhadap pengurangan zat polutan dalam SSF-Wetlands.*

Polutan	Lokasi	Proses
BOD ₅	Akar Media Media	Peruraian oleh mikrobia Peruraian oleh mikrobia Pengendapan
Nitrogen	Daun Algae di saluran air Akar tanaman Tanah, Media	Volatilisasi (sbg N ₂ dan N ₂ O) Nitrifikasi Denitrifikasi Pengendapan
Phospor	Akar Akar Media Media	Peruraian oleh mikrobia Penyerapan Sedimentasi Adsorpsi

Sumber : Anonim, 1998

2.3.2. Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands).

Dalam proses pengolahan air limbah dengan Sistem ini, terdapat 4 (empat) faktor / komponen yang mempengaruhi kinerja sistem tersebut, yaitu :

1. Media

Media yang digunakan dalam reaktor Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) secara umum dapat berupa tanah, pasir, batuan atau bahan – bahan lainnya, namun khusus pada penelitian ini menggunakan batuan pasir. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah, serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Wood *dalam* Tangahu & Warmadewanthi, 2001).

Pada tabel dibawah ini, disajikan karakteristik media yang umum digunakan pada sistem Lahan Basah Buatan Aliran bawah Permukaan yang terbagi menjadi 5 (lima) tipe, yaitu :

Tabel 2.4. *Karakteristik media dalam SSF-Wetlands*

Tipe Media	Diameter butiran (mm)	Porositas (η)	Konduktivitas Hidrolik (ft/d)
1. Medium sand	1	0,30	1640

2. Coarse sand	2	0,32	3280
3. Gravelly sand	8	0,35	16.400
4. Medium gravel	32	0,40	32.800
5. Coarse gravel	128	0,45	328.000

Sumber : Crites & Tchobanoglous (1998).

Peranan utama dari media pada Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) tersebut adalah :

- Tempat tumbuh bagi tanaman
- Media berkembang-biaknya mikroorganisme
- Membantu terjadinya proses sedimentasi.
- Membantu penyerapan (adsorpsi) bau dari gas hasil biodegradasi

Sedangkan peranan lainnya adalah tempat terjadinya proses transformasi kimiawi, tempat penyimpanan bahan – bahan nutrien yang dibutuhkan oleh tanaman.

Menurut Watson, et. All *dalam* Khatuddin, M. (2003) menyebutkan bahwa kinerja SSF wetlands berdasarkan media yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5. *Kinerja Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan berdasarkan jenis media yang digunakan*

No.	Jenis Media	Prosentase Pengurangan Polutan		
		BOD	SS	Coliform
1.	Kerikil	55 – 96	51 – 98	99
2.	Tanah	62 – 85	49 – 85	-
3.	Pasir	96	94	100
4.	Tanah Liat	92	91	-

Sumber : *Khiatuddin, M. (2003).*

2. Tanaman

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan adalah jenis tanaman air atau tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*Submerged plants* atau *amphibiuous plants*).

Pada umumnya tanaman air tersebut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) tipe / kelompok, berdasarkan area pertumbuhannya didalam air. Adapun ketiga tipe tanaman air tersebut adalah sebagai berikut :

- a. **Tanaman yang mencuat ke permukaan air**, merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran pada tanah di dasar perairan dan daun berada jauh diatas permukaan air.
- b. **Tanaman yang mengambang dalam air**, merupakan tanaman air yang seluruh tanaman (akar, batang, daun) berada didalam air.

- c. **Tanaman yang mengapung di permukaan air**, merupakan tanaman air yang akar dan batangnya berada dalam air, sedangkan daun diatas permukaan air.

Dari ketiga tipe tanaman air tersebut, yang umum digunakan untuk Lahan Basah Buatan, adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6. *Jenis Tanaman yang digunakan pada Lahan Basah Buatan*

Tanaman yang mencuat di permukaan air	Tanaman yang Mengambang dalam air	Tanaman yang mengapung di permukaan air
<i>Scirpus robustus</i>	<i>Potamogeton spp.</i>	<i>Lagorosiphon major</i>
<i>Scirpus lacustris</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Salvinia rotundifolia</i>
<i>Scirpus validus</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>
<i>Scirpus pungens</i>	<i>Elodea nuttallii</i>	<i>Pistia stratoites</i>
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Phragmites australis</i>	<i>Algae</i>	<i>Eichornia crassipes</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>		<i>Wolffia arrhiza</i>
<i>Thypha domingensis</i>		<i>Azolla caroliniana</i>
<i>Thypha latifolia</i>		<i>Hydrocotyle umbellata</i>
<i>Thypha orientalis</i>		<i>Lemna gibba</i>
<i>Canna flaccida</i>		<i>Ludwigia spp.</i>
<i>Cyperus pappirus</i>		

<i>Cyperus alternifolius</i>		
<i>Iris pseudoacorus</i>		
<i>Glyceria maxima</i>		
<i>Eleocharis sphacelata</i>		
<i>Colocasia esculenta</i>		
<i>Zantedeschia aethiopica</i>		
<i>Acorus calamus</i>		
<i>Peltandra virginica</i>		
<i>Sagittaria latifolia</i>		
<i>Saururus cernuus</i>		
<i>Andropogon virginianus</i>		
<i>Polygonum spp.</i>		
<i>Alternanthera spp.</i>		

Sumber : Khiatuddin, M. (2003).

Menurut Reed dalam Leady (1997), tanaman yang sering digunakan dalam Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) adalah jenis tanaman *amphibiuous plants* antara lain “cattails” (*Thypha angustifolia*), “bulrushes” (*Scirpus actutus*), “reeds” (*Phragmites australis*), “rushes” (*Juncus articulatus*) dan “sedges” (*Carex aquatilis*).

Namun demikian, jenis tersebut merupakan tanaman semak yang kurang mempunyai nilai estetika, sehingga apabila diaplikasikan untuk pengolahan

air limbah, tidak dapat memberi nilai lebih terhadap aspek keindahan sehingga kurang representatif digunakan untuk pengolahan limbah bentuk taman.

Dari beberapa jenis tanaman *amphibious plants* tersebut yang merupakan tanaman hias dan memiliki nilai estetika. Salah satunya adalah "Bintang Air" (*Cyperus alternifolius*), sehingga penerapan terhadap jenis tersebut untuk pengolahan limbah sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai taman atau sering disebut sebagai Taman Pengolah Limbah (*Waste water Garden*).

Adapun klasifikasi tanaman "Bintang Air" (*Cyperus alternifolius*) adalah sebagai berikut :



- Divisi : *Tracheophyta*
- Klas : *Angiospremae*
- Sub-Klas : *Monocotyledoneae*
- Familia : *Cyperaceae*
- Genus : *Cyperus*
- Spesies : *Cyperus alternifolius*, L.

Tanaman ini mempunyai tangkai berbentuk segitiga, dengan panjang batang dewasa 0,5 - 1,5 meter. Tangkai menyangga daun yang berbentuk sempit & datar, mengelilingi ujung tangkai secara simetris membentuk pola melingkar mirip cakram. Panjang daun antara 12 – 15 Cm dan pada bagian tengah – tengah daun tumbuh bunga-bunga kecil bertangkai, berwarna kehijauan (Lukito A. Marianto, 2004).

Menurut Lemke, C. (1999) menyebutkan bahwa tanaman tersebut merupakan tanaman hias yang berasal dari Madagaskar dan merupakan jenis lain dari tanaman Papyrus yang berasal dari sungai Nil. Dapat tumbuh cepat di lingkungan basah (berair), dengan variasi ketinggian tanaman antara 0,5 – 1,5 meter. Berkembang biak setiap bulan secara vegetatif melalui sistem perakaran maupun secara generatif melalui biji yang terletak diujung batang pada pangkal daun.

Cyperus alternifolius paling praktis diperbanyak dengan cara memisahkan rumpun-rumpunnya, namun juga dapat diperbanyak dengan cara pemotongan daun (Lukito A. Marianto, 2004).

Tanaman tersebut telah banyak dibudidayakan di Indonesia dengan nama daerah/lokal adalah "*Bintang Air*", sehingga dengan mudah dapat dijumpai di pekarangan penduduk maupun di toko pertanian/bunga.

Kemampuan tanaman *Cyperus* untuk menyerap nitrogen (N) dan fosfor (P) dibanding tanaman lain yang digunakan dalam sistem Lahan Basah

Buatan relatif masih cukup baik. Pada tabel berikut ini dapat dilihat perbandingan kemampuan penyerapan N & P untuk beberapa jenis tanaman.

Tabel 2.7. Kemampuan Tanaman air menyerap N & P

Jenis Tanaman	Kemampuan Penyerapan (Kg/ha/th)	
	N	P
<i>Cyperus</i>	1.100	50
<i>Typha latifolia</i>	1.000	180
<i>Eichornia crassipes</i>	2.400	350
<i>Pistia stratoites</i>	900	40
<i>Potamogeton pectinatus</i>	500	40
<i>Ceratophyllum demersum</i>	100	10

Sumber : Brix (1994) dalam Khiatuddin (2003)

3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang dalam media *SSF-Wetlands* tersebut adalah jenis heterotropik aerobik, karena pengolahan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik (Vymazal dalam Tangahu & Warmadewanthi, 2001). Untuk menjamin kehidupan mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dengan baik, maka tranfer oksigen dari akar tanaman harus dapat mencukupi kebutuhan

untuk kehidupan mikroorganisme. Kandungan oksigen dalam media akan disuplai oleh akar tanaman, yang merupakan hasil samping dari proses fotosintesis tanaman dengan bantuan sinar matahari. Dengan demikian, maka pada siang hari akan lebih banyak terjadi pelepasan oksigen.

Kondisi aerob pada daerah sistem perakaran (*Rhizosphere*) dan ketergantungan mikroorganisme aerob terhadap pasokan oksigen dari sistem perakaran tanaman yang ada dalam *SSF-Wetlands*, akan menyebabkan jenis – jenis mikroorganisme yang dapat hidup pada *Rhizosphere* tersebut hanya jenis tertentu dan spesifik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bagwell C.E., et al (1998) terhadap mikroorganisme *rhizosphere* pada akar rumput-rumputan yang terdapat pada daerah rawa (*Wetland*) ditemukan 339 strains, yang termasuk dalam familia *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae*, *Azotobacteraceae*, *Spirillaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Rhizobiaceae*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Grieve, C. M., et al (2003), menyebutkan bahwa komposisi mikrobial yang terdapat dalam efluent *Wetland Constructed* dengan analisis DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) didominasi oleh jenis *Bacillus*, *Clostridium*, *Mycoplasma*, *Eubacterium*, *Nitrobacter* dan *Nitrosospira*.

Berdasarkan klasifikasi prokariotik yang bertumpu pada 19 Kelompok dari BERGEY'S Manual of Determinative Bacteriology, jenis *Bacillus* dan

Clostridium merupakan bakteri kelompok 15 yang berwujud batang dan termasuk bakteri Gram-positif. *Bacillus* merupakan bakteri aerob, sedangkan *Clostridium* merupakan bakteri anaerob. *Mycoplasma* termasuk bakteri kelompok 19 yang merupakan bakteri berkoloni (kelompok) yang tidak mempunyai dinding sel. Jenis *Eubacterium* termasuk bakteri kelompok 17, merupakan bakteri Gram-positif, berbentuk batang dan bersifat aerob. Untuk jenis *Nitrobacter* dan *Nitrosospira* termasuk bakteri kelompok 12 yang merupakan bakteri khemolitotrof, bersifat Gram-negatif dan merupakan bakteri aerob (Schlegel, 1994).

4. Temperatur

Temperatur / suhu air limbah akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tanaman, sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke bak/cell *SSF-Wetlands* yang akan digunakan. Menurut Suriawiria, U., (1993) menyebutkan bahwa temperatur / suhu akan dapat mempengaruhi reaksi, dimana setiap kenaikan suhu 10°C akan meningkatkan reaksi 2 – 3 kali lebih cepat. Disamping itu, suhu juga merupakan salah satu faktor pembatas bagi kehidupan mikroorganisme. Walaupun batas kematian mikroorganisme pada daerah suhu yang cukup luas (0 °C – 90 °C), namun kehidupan optimal untuk tiap – tiap jenisnya mempunyai kisaran tertentu. Berdasarkan hal tersebut, maka ada 3 (tiga) kelompok mikroorganisme, yaitu :

- Mikroorganisme *Psikrofil* (Pertumbuhan optimal pada suhu 15 °C)
- Mikroorganisme *Mesofil* (pertumbuhan optimal pada suhu 25 °C – 37 °C).
- Mikroorganisme *Termofil* (pertumbuhan optimal pada suhu 55°C – 60°C).

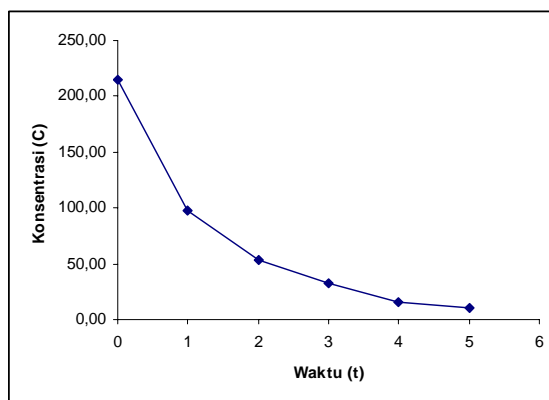
Mengingat kondisi iklim di Indonesia secara umum memiliki iklim tropis dengan kisaran perbedaan suhu (amplitudo) harian yang relatif kecil, maka suhu bukan merupakan faktor pembatas lagi, sehingga kehidupan mikrobial dapat optimal sepanjang tahun. Dengan demikian, maka kinerja pengolahan limbah dengan sistem *SSF-Wetlands* di Indonesia, dapat berjalan secara optimal untuk sepanjang tahun.

2.3.3. Permodelan SSF-Wetland

Permodelan merupakan representasi dari suatu sistem dalam bentuk yang dapat diterima untuk menggambarkan bagaimana karakteristik dari suatu sistem, dimana permodelan sangat diperlukan dalam rekayasa proses dan penerapannya dalam bidang lingkungan untuk menggambarkan dan menjelaskan permasalahan yang dihadapi yang memerlukan penanganan dengan pendekatan rekayasa (Purwanto, 2005).

1. Model Reaktor

Berdasarkan tipe aliran, maka model reaktor yang terdapat pada *SSF-Wetland* merupakan reaktor aliran sumbat (*plug-flow reactor*). Dimana ciri pada reaktor tersebut, aliran bergerak seperti sumbat didalam suatu pipa, dengan perubahan hanya ke arah poros (aksial) saja tanpa adanya pencampuran didalam reaktor dan konsentrasi reaktan akan berkurang dengan bertambahnya jarak (Purwanto, 2005). Mengingat porositas media pada *SSF-Wetland* yang relatif kecil, maka akan membutuhkan lahan yang cukup luas guna memperoleh variasi debit yang diinginkan, sehingga untuk kepentingan penelitian ini reaktor akan digunakan dalam kondisi curah (*batch*). Dengan pola aliran curah (*batch*), maka konsentrasi reaktan / polutan akan berkurang tidak terhadap fungsi jarak, namun akan digantikan oleh fungsi waktu. Adapun profil penurunan konsentrasi polutan pada reaktor *batch*, adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10. *Profil degradasi polutan pada reaktor batch*

Berdasarkan Purwanto (2005), persamaan model pada reaktor curah dinyatakan dengan :

Akumulasi = Input – Output – Transpormasi

$$\frac{d(VC)}{dt} = 0 - 0 - rV$$

$$- \frac{d(VC)}{dt} = rV \dots\dots\dots (1)$$

Pada umumnya, untuk sistem cair dengan volume konstan, persamaan dinyatakan dengan bentuk integral :

$$t = - \frac{C - C_0}{r} \int \dots\dots\dots (2)$$

Laju transformasi, ditandai positif (+) bila terjadi timbulan senyawa dan nilai negatif (-) bila terjadi pengurangan atau degradasi menjadi bahan lain.

Pengurangan konsentrasi A sebagai fungsi waktu dinyatakan sebagai :

$$V \frac{d C_A}{dt} = - r_A V$$

$$\frac{d C_A}{dt} = - k C_A \dots\dots\dots (3)$$

integrasi persamaan (3) dengan harga batas $t = 0, C_A = C_{A0}$ dan $t = t ; C_A = C_A$, maka diperoleh C_A sebagai fungsi waktu :

$$C_A = C_{A0} e^{-kt} \dots\dots\dots (4)$$

Aplikasi persamaan (4) untuk pengolahan limbah domestik yang mengandung BOD, maka degradasi BOD pada sistem curah dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{d [\text{BOD}]}{dt} = -k [\text{BOD}]$$

$$\text{BOD}_t = \text{BOD}_0 e^{-kt}$$

Demikian juga untuk parameter polutan lain yang terdapat dalam limbah domestik tersebut, seperti untuk TSS dan COD.

2. *Penyelesaian Model*

Penyelesaian model dalam penelitian ini, dapat diartikan sebagai pencarian harga konstanta pada model reaktor yang akan diterapkan berdasarkan data percobaan. Penyelesaian model yang akan digunakan merupakan persamaan model matematik dengan metode penyelesaian regresi, dimana metode penyelesaian tersebut dilakukan berdasarkan grafik yang dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak (software) pengolah data komputer. Berdasarkan grafik yang terbentuk akan diperoleh bentuk persamaan garis sesuai dengan model yang digunakan dan regresi dihitung berdasar kuadrat terkecil (*least square*). Untuk menguji apakah hubungan antar variabel y dan x tersebut kuat atau malah tidak ada korelasi, dapat dilakukan dengan perhitungan koefisien regresi atau koefisien korelasi yaitu (R^2). R^2 merupakan perbandingan antara varian y terhadap varian x.

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \dots\dots\dots (6)$$

Bila harga R^2 mendekati angka 1, terdapat hubungan yang sangat kuat antara y dengan x. Hubungan kategori sedang bila nilai R^2 antara 0,4 s/d 0,6,

sedangkan bila harga $R^2 < 0,4$ hubungan antara y dengan x sangat lemah (Purwanto, 2003).

3. Validasi Model

Pengujian / validasi model akan dilakukan dengan membandingkan secara statistik hasil simulasi himpunan data perhitungan model dengan data hasil penelitian (uji laboratorium).

Langkah pengujian dengan menentukan H_0 (Hipotesa Nol) dan H_a (Hipotesa Tandingan), dimana :

1. H_0 merupakan ketentuan ada kesesuaian antara data model perhitungan dengan data pengujian/pengukuran.
2. H_a merupakan ketentuan tidak kesesuaian antara data model perhitungan dengan data pengujian/pengukuran.

Analisis statistik yang digunakan untuk validasi model adalah Pengujian tentang kebaikan-suai (*test of goodness of fit*) dari distribusi Khai-kwadrat, menurut Anto Dajan (1996) dapat diperhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\chi^2 = \sum_{r=1}^n \frac{(\text{Nilai Penelitian} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}}$$

Dengan pengujian pada daerah kritis sebesar α , maka :

- Hipotesa Nol (H_0) dapat diterima dan Hipotesis tandingan (H_a) ditolak, apabila : $\chi^2_{\text{hitung}} < (\chi^2)_{\text{tabel}}$
- Hipotesa Tandingan (H_a) akan diterima dan Hipotesis Nol (H_0) ditolak apabila : $\chi^2_{\text{hitung}} > (\chi^2)_{\text{tabel}}$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan / Materi Penelitian

- a. 2 buah bak *Wetland* terbuat dari rangka kayu, dinding triplek dan dilapisi plastik.
- b. Media jenis pasir dengan ukuran 1 mm s/d 5 mm
- c. Tanaman *rumpun hias (Cyperus alterifolius)* dengan tinggi rata-rata 30 Cm.
- d. Contoh air limbah domestik dari Kawasan Real-estate (Komplek Perumahan Puri Anjasmoro)
- e. Bahan kimia untuk analisa parameter TSS (*Total Suspended Solid*), BOD (*Biological Oxigen Demand*) & COD (*Chemistry Oxigen Demand*).
- f. Media agar, untuk penghitungan jumlah bakteri.

3.2. Peralatan

- | | |
|---|---|
| a. 2 buah bak berlapis plastik | f. pH Meter merk SCHOTT |
| b. 2 buah ember plastik ukuran 1 M ³ . | g. Drum Plastik |
| c. Selang plastik diameter 0,5 dm. | h. Pompa Air SZ-208B |
| d. Saringan Pasir ukuran 1 mm & 5 mm | i. Gayung Air & Corong |
| e. Botol Plastik ukuran 500 ml & 1000 ml. | j. Larutan H ₂ SO ₄ (90%) |

3.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

- a. Pada penelitian ini, air limbah domestik diwakili oleh air limbah dari real-estate, yaitu air limbah yang berasal dari saluran kolektor pada Komplek Real-estate Puri Anjasmoro – Semarang.
- b. Air limbah diambil pada pagi hari sekitar jam 7.30 WIB dan sore hari sekitar jam 17.30 WIB.
- c. Kinerja reaktor hanya berdasarkan kajian terhadap penurunan parameter BOD, COD & TSS.

3.4. Variabel :

3.4.1. Kondisi penelitian :

- Kondisi Musim Saat Penelitian : Musim Kemarau
- Lahan Penelitian:
 - Ruang terbuka tanpa penutup
 - Cuaca cerah dan tidak terjadi hujan selama penelitian

3.4.2. Ukuran masing – masing bak SSF-Wetland :

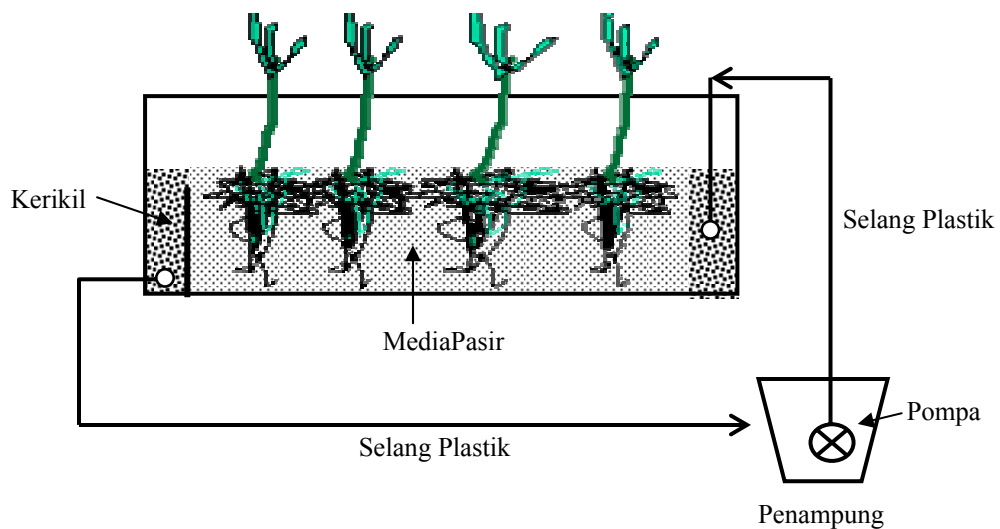
1. Panjang = 200 cm
2. Lebar = 50 cm
3. Kedalaman = 50 cm

3.5. Cara Penelitian

3.5.1. Persiapan :

A. Pemeliharaan Tanaman Percobaan

- Menyiapkan media dengan menyaring pasir menggunakan saringan pasir ukuran 5 mm. Pasir yang keluar dari saringan tersebut, disaring ulang dengan saringan pasir ukuran 1 mm. Pasir yang tertinggal pada saringan dimasukkan dalam bak reaktor.
- Pengisian media pasir pada masing – masing bak reaktor, dilakukan sampai mencapai ketinggian 25 cm dari dari bak reaktor tersebut.
- Menyiapkan dan memilih tanaman wetland (*C. Alterifolius*) yang memiliki ketinggian rumpun rata-rata 30 Cm, dengan jumlah batang tiap – tiap rumpun relatif sama (± 10 batang/rumpun).
- Rumput hias (*C. Alterifolius*) yang telah dipilih di tanam didalam bak dengan jarak tanam masing – masing rumpun adalah 50 Cm.
- Merangkai peralatan penelitian sehingga aliran dapat disirkulasi, seperti pada gambar diagram berikut ini :



Gambar 3.1. *Diagram Rangkaian Alat Percobaan*

- Mengisi bak reaktor dengan air sampai batas ketinggian media.
- Pemeliharaan tanaman ini dilakukan selama 70 hari, dimana jumlah batang/rumpun hampir mencapai 2x lipat dan ketinggian tanaman rata – rata 50 Cm.

B. Aklimatisasi Tanaman Percobaan

- Setelah melakukan pemeliharaan tanaman selama 70 hari, dilakukan aklimatisasi tanaman dengan cara memberikan air limbah yang berasal dari kompleks perumahan Puri Anjasmoro – Semarang, dengan konsentrasi 50% selama 3 hari.
- Setelah itu, dilakukan aklimatisasi ulang dengan air limbah rumah tangga yang sama dengan konsentrasi 100 %.
- Setelah 3 hari, air limbah dibuang dan dialiri dengan air sumur selama 1 (satu) jam, kemudian dilakukan prosedur penelitian.

3.5.2. Prosedur penelitian :

- Air limbah rumah tangga yang diambil dari kompleks perumahan Puri Anjasmoro, Semarang pada saat pagi (sekitar jam 7.30 WIB) dan sore (sekitar jam 17.30 WIB) dialirkan ke dalam masing – masing bak reaktor yang tersedia (2 bak).
- Pengisian air limbah sampai batas ketinggian media, setelah itu air limbah dialirkan dan ditampung ke dalam ember. Dari ember penampung air limbah dialirkan kembali ke dalam bak reaktor dengan menggunakan pompa air tipe SZ-208B. Untuk menghindari meluapnya air limbah pada ember penampung, debit air limbah yang dipompa diatur sehingga seimbang dengan debit air limbah yang keluar dari bak reaktor.
- Dilakukan pengukuran suhu dan pH air limbah dengan menggunakan alat pH-meter merk SCHOTT dan hasil catat.
- Pengambilan sampel air limbah dan ditempatkan dalam botol plastik, sebanyak 500 ml untuk pengujian parameter COD & TSS dan botol sampel COD ditambahkan larutan H₂SO₄ konsentrasi 90 %, sebanyak 1 ml untuk pengawetan (fiksasi).
- Untuk pengujian BOD, pengambilan sampel menggunakan botol plastik ukuran 1000 ml.
- Pengukuran suhu dan pH air limbah serta pengambilan sampel, dilakukan pada saat pengisian bak (t=0) dan dilakukan pengukuran maupun pengambilan sampel ulang setiap hari selama penelitian pada jam yang sama dengan pengambilan pertama (t=0).

- Dilakukan analisis laboratorium terhadap parameter air limbah sesuai dengan standard, yaitu :
 - Untuk BOD sesuai dengan SNI 06-2503-1991
 - Untuk COD sesuai dengan SNI 19-4243-1989
 - Untuk TSS sesuai dengan SNI 06-2413-1991

Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Limbah, Balai Riset dan Standardisasi Industri dan Perdagangan, Jl. Ki Mangunsarkoro No. 6 Semarang.

3.6. Analisis Data

3.6.1. Penyelesaian Model

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap model Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) tersebut, akan didapatkan beberapa data primer dari beberapa variabel penelitian. Dari data penelitian untuk air limbah yang diambil pagi hari, akan dilakukan analisis dan plotting grafik menggunakan perangkat lunak (software) EXCEL, sehingga akan didapatkan persamaan trend grafik maupun konstanta model dari persamaan yang dihasilkan.

Berdasarkan model tersebut, maka dilakukan simulasi model menggunakan data penelitian untuk air limbah yang diambil sore hari, sehingga didapatkan data hasil perhitungan model.

3.6.2. Pengujian / Validasi Model :

Validasi model akan dilakukan dengan Pengujian tentang kebaikan-suai (*test of goodness of fit*) dari distribusi Khai-kwadrat, dengan cara membandingkan secara statistik hasil simulasi himpunan data perhitungan model dengan data hasil percobaan untuk air limbah yang diambil pada sore hari.

Langkah pengujian dengan menentukan H_0 (Hipotesa Nol) dan H_a (Hipotesa Tandingan), dimana :

3. H_0 merupakan ketentuan ada kesesuaian/keterkaitan antara data model dengan data pengujian/pengukuran.
4. H_a merupakan ketentuan tidak ada kesesuaian antara data model dengan data pengujian/pengukuran.
5. Kriteria kinerja model merupakan hasil rata-rata kwadrat simpangan dari perbandingan antara data hasil perhitungan dan data hasil penelitian terhadap model.

Pengujian tentang kebaikan-suai (*test of goodness of fit*) melalui persamaan sebagai berikut :

$$\chi^2 = \sum_{r=1}^n \frac{(\text{Nilai Penelitian} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}}$$

Dengan pengujian pada daerah kritis sebesar $\alpha = 0,05$ maka :

- **H_0** dapat diterima dan **H_a** ditolak, apabila : $\chi^2_{\text{hitung}} < (\chi^2)_{\text{tabel}}$

➤ **H_a** diterima dan **H₀** ditolak apabila : $\chi^2_{\text{hitung}} > (\chi^2)_{\text{tabel}}$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Umum Kualitas Air Limbah

Keberadaan bahan organik dalam air limbah, dapat diekspresikan dengan besarnya konsentrasi BOD & COD dalam air limbah. Kandungan bahan organik yang terdapat pada air limbah Puri Anjasmoro dengan konsentrasi awal tertinggi untuk BOD₅ sebesar 279,51 mg/L dan COD sebesar 405 mg/L, menurut Rump dan Krist dalam Effiendi, H. (2003) merupakan air limbah dengan tingkat pencemaran sedang. Tidak begitu besarnya kandungan BOD dalam air limbah tersebut dapat dimengerti, mengingat bahwa limbah domestik tersebut hanya berasal dari kegiatan domestik (penghuni perumahan), dalam pengertian bahwa dari lokasi tersebut tidak terdapat berbagai aktivitas usaha yang potensial menimbulkan polutan bahan organik dalam jumlah yang besar dan atau dengan konsentrasi yang cukup tinggi, seperti : pasar, pusat pertokoan / mall ataupun rumah makan (*restaurant*). Disamping itu, umumnya yang dibuang ke perairan umum, menurut Veenstra (1995) merupakan limbah yang termasuk kategori *gray water*, yaitu air limbah berasal dari buangan dapur dan kamar mandi, yang pada umumnya tidak mengandung polutan (terutama bahan organik) dengan konsentrasi yang cukup tinggi.

Sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, telah mempersyaratkan bahwa kandungan

BOD dalam air limbah domestik yang boleh dibuang ke perairan umum adalah 100 mg/L. Berdasarkan hal tersebut, maka air limbah dari Perumahan Puri Anjasmoro tersebut, masih perlu dilakukan pengolahan sehingga kualitas air limbah yang akan dibuang ke perairan umum dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Dengan polutan sebagian besar berupa bahan organik, dengan tingkat pencemaran yang relatif sedang dan debit limbah yang relatif sedikit dan tidak tetap / fluktuatif, maka sistem pengolahan limbah dapat menggunakan sistem yang sederhana, namun dapat mengakomodasi variasi debit limbah yang ada. Disamping itu, agar sistem pengolahan limbah tersebut dapat terpelihara dengan baik, maka diperlukan sistem pengolahan limbah yang mudah dan murah operasionalnya. Salah satu alternatif sistem tersebut adalah sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*). Sistem pengolahan limbah *SSF-Wetlands* ini hanya membutuhkan bak-bak (kolam) sederhana, sehingga tidak membutuhkan biaya besar untuk membuat Instalasi bangunannya. Pengolahan limbah mengandalkan kinerja tanaman dan mikrobia yang bekerja secara alamiah, sehingga tidak membutuhkan sistem pengoperasian yang rumit dan dapat menekan biaya operasionalnya. Keunggulan lain dari sistem ini adalah relatif tahan dengan debit limbah yang bervariasi, sehingga cocok digunakan untuk pengolahan air limbah permukiman / kompleks perumahan.

Pengolahan limbah domestik dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) sangat mengandalkan kemampuan bakteri dan tanaman air dalam mengolah limbah (Suriawiria, U., 1993), sehingga kinerja sistem pengolahan limbah ini akan sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan pH larutan

limbah, karena kedua parameter tersebut merupakan faktor pembatas kehidupan mikroorganisme air. Dari hasil penelitian menunjukkan, bahwa suhu air limbah pada saat awal penelitian sebesar 29,6 °C untuk air limbah pagi hari dan 29,5 °C untuk air limbah sore hari, dengan pH limbah = 7,12 (air limbah pagi hari) dan pH = 7,50 (air limbah sore hari). Dengan kondisi pH limbah yang relatif netral, maka sangat menunjang untuk proses pengolahan dengan mikroorganisme, karena tidak perlu melakukan proses netralisasi guna memperoleh kondisi pH ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme, sehingga dapat menekan biaya pengolahan air limbah tersebut.

Kondisi suhu air limbah tersebut relatif lebih tinggi dari rata-rata suhu air diperairan tropis (25 °C), lebih disebabkan karena lokasi penelitian di Semarang yang merupakan kota pesisir pantai utara dengan udara yang cukup panas. Faktor lokasi dan kondisi saluran, juga dapat mempengaruhi suhu perairan tersebut, dimana lokasi perumahan Puri Anjasmoro yang berada di tengah kota dan relatif dekat dengan pantai serta kondisi saluran dari semen dengan kedalaman perairan yang hanya 15 Cm, tentu akan semakin meningkatkan suhu perairan tersebut. Walaupun suhu perairan relatif lebih tinggi dari rata – rata, namun kondisi suhu tersebut justru merupakan kondisi yang cukup ideal untuk pertumbuhan bakteri mesofil. Menurut Suriawiria, U. (1993), bahwa, dimana mikroorganisme mesofil akan tumbuh optimum pada suhu antara 25 °C – 37 °C dan minimum pada suhu 15 °C.

Kondisi air limbah yang optimal untuk pertumbuhan bakteri dan pasokan bahan organik dalam air limbah yang cukup, akan meningkatkan populasi bakteri pada jumlah yang optimal untuk melaksanakan pengolahan air limbah. Menurut

Hindarko (2003), menyatakan bahwa dalam berperan menguraikan zat organik dalam air limbah, jumlah mikroorganisme dapat mencapai 500.000/ml sampai dengan 5.000.000/ml air limbah. Dari hasil perhitungan jumlah bakteri pada air limbah yang digunakan untuk penelitian ini didapatkan bahwa pada awal penelitian (hari ke-0), jumlah mikroorganisme yang terdapat pada effluent reaktor telah mencapai 1.600.000/ml.

4.2. Data Parameter Uji

Proses pengolahan dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) terhadap air limbah rumah-tangga yang berasal dari Komplek Perumahan Puri Anjasmoro. Air limbah yang digunakan untuk penelitian ini, merupakan air limbah dari komplek perumahan tersebut, yang diambil pada pagi hari (jam 7.30 WIB) dan pada saat sore hari (jam 17.30 WIB) yang ditempatkan pada masing-masing bak reaktor secara terpisah. Sistem pengoperasian pengolahan menggunakan bak reaktor sistem curah (*batch*), yang dilengkapi dengan sistem sirkulasi tertutup.

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap parameter uji (BOD, COD dan TSS) setiap hari selama 5 hari, maka terjadi penurunan konsentrasi parameter uji dengan rincian untuk masing – masing parameter uji sebagaimana tersaji pada tabel 4.1. berikut ini :

Tabel 4.1. *Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS*

berdasarkan waktu tinggal dalam reaktor (t)

No.	Waktu tinggal (hari)	BOD (mg/l)		COD (mg/l)		TSS (mg/l)	
		<i>Pagi*</i>	<i>Sore**</i>	<i>Pagi*</i>	<i>Sore**</i>	<i>Pagi*</i>	<i>Sore**</i>
1.	0	279,51	161,76	405,00	318,06	280,00	215,00
2.	1	91,91	74,67	142,44	151,36	120,00	98,00
3.	2	52,63	42,22	85,72	68,74	84,00	53,00
4.	3	26,25	24,19	41,12	38,74	56,00	32,00
5.	4	14,34	16,14	31,68	20,20	36,00	16,00
6.	5	14,18	10,08	24,62	12,12	24,00	7,00

Keterangan :

*) Air limbah diambil pada pagi hari (jam 7.30 WIB)

**) Air limbah diambil pada sore hari (jam 17.30 WIB)

Tabel 4.2. *Data Pendukung*

(Pengukuran Suhu dan pH Air Limbah Selama waktu Penelitian)

No.	Waktu tinggal (hari)	Suhu (°C)		pH	
		Pagi*	Sore**	Pagi*	Sore**
1.	0	29,6	29,5	7,12	7,50
2.	1	29,5	29,5	7,27	7,44
3.	2	30,1	30,1	7,38	7,24
4.	3	30,2	30,2	6,92	6,83
5.	4	30,9	30,6	6,82	6,83
6.	5	31,2	31,2	6,85	6,91

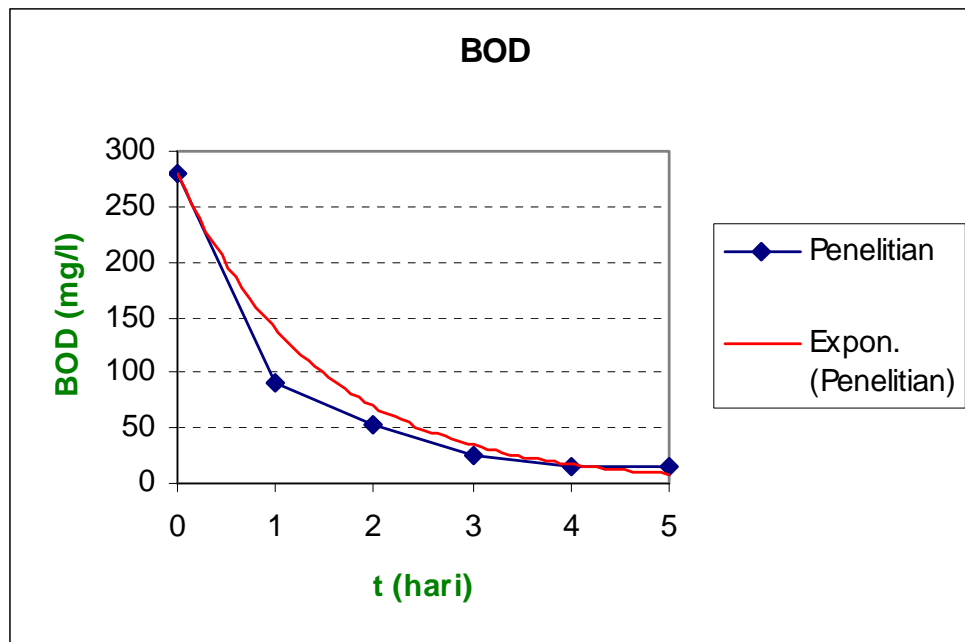
4.3. Penurunan BOD

Berdasarkan data hasil penelitian sebagaimana tersaji pada tabel 4.1. diatas, terdapat perbedaan konsentrasi parameter BOD antara kualitas air limbah pagi hari dan sore hari. Untuk mendapatkan model melalui analisis regresi, maka akan diambil salah satu hasil penelitian, yaitu air limbah pagi hari.

Tabel 4.3. BOD Air Limbah Pagi Hari

t (hari)	0	1	2	3	4	5
BOD (mg/L)	279,51	91,91	52,63	26,25	14,34	14,18

Dengan plotting grafik antara parameter uji sebagai Y (ordinat) dan waktu tinggal sebagai X (axis) didapatkan grafik sebagai berikut ini :



Gambar 4.1. Grafik BOD terhadap waktu tinggal

Berdasarkan hasil Analisis regresi menggunakan program EXCEL terhadap grafik yang diperoleh dari data air limbah pagi hari, didapatkan persamaan (model) sebagai berikut :

- $Y = 279,51 e^{-0,697x} \Rightarrow (BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{-0,697 t} \dots\dots (4.1)$

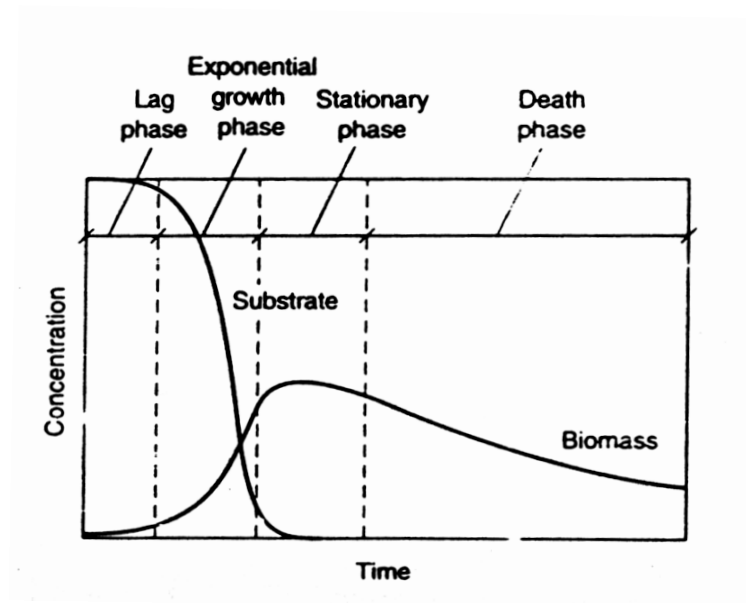
- Koefisien Regresi (R^2) = 0,9102

Dari proses validasi model menunjukkan bahwa hasil percobaan mempunyai hubungan yang erat dengan persamaan model. Nilai X^2_{hitung} yang terletak pada daerah penerimaan dengan taraf nyata sebesar $\alpha = 5\%$ menunjukkan bahwa penurunan BOD berkaitan sangat erat dengan waktu tinggal air limbah dalam reaktor (t), sehingga persamaan 4.1. dapat digunakan sebagai model untuk menggambarkan penurunan BOD dalam sistem *SSF-Wetland* tersebut.

Beberapa hal yang dapat menjelaskan terjadinya penurunan bahan organik dalam *SSF-Wetland* tersebut, menurut Wood *dalam* Tangahu & Warmadewanthi (2001) bahwa penurunan konsentrasi bahan organik dalam sistem *wetlands* terjadi karena adanya mekanisme aktivitas mikroorganisme dan tanaman, melalui proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh disekitar rhizosphere tanaman maupun kehadiran bakteri heterotrof didalam air limbah. Menurut Handayanto, E dan Hairiah, K. (2007), menyebutkan bahwa kondisi tanah di rizosfer sangat berbeda dengan kondisi tanah diluar rizosfer (non-rizosfer). Akar tanaman tidak saja berperan dalam penyerapan hara (baik melalui aliran massa, kontak langsung maupun difusi), tetapi juga sangat besar pengaruhnya terhadap perubahan kondisi rizosfer. mikroorganisme tanah, seperti bakteri, jamur dan aktinomisetes lebih banyak dijumpai di daerah rizosfer daripada non-rizosfer. Dari ketiga jenis mikroorganisme tersebut, maka pengaruh rizosfer lebih besar pada bakteri, dengan nisbah populasi antara daerah rizosfer dibanding daerah non rizosfer (R/N) berkisar antara 10 – 20 atau lebih.

Menurut Haberl dan Langergraber (2002), bahwa proses fotosintetis pada tanaman air (*hydrophyta*), memungkinkan adanya pelepasan oksigen pada daerah sekitar perakaran (zona *rhizosphere*). Dengan kondisi zona *rhizosphere* yang kaya akan oksigen, menyebabkan perkembangan bakteri aerob di zona tersebut.

Menurut Metcalf & Eddy (2003) karakteristik pertumbuhan bakteri dalam reaktor sistem *Batch*, berdasarkan waktu ada 4 tahapan/fase pertumbuhan sebagaimana tersaji dalam gambar berikut ini :



Gambar 4.2. Fase pertumbuhan Bakteri dalam reaktor *Batch*

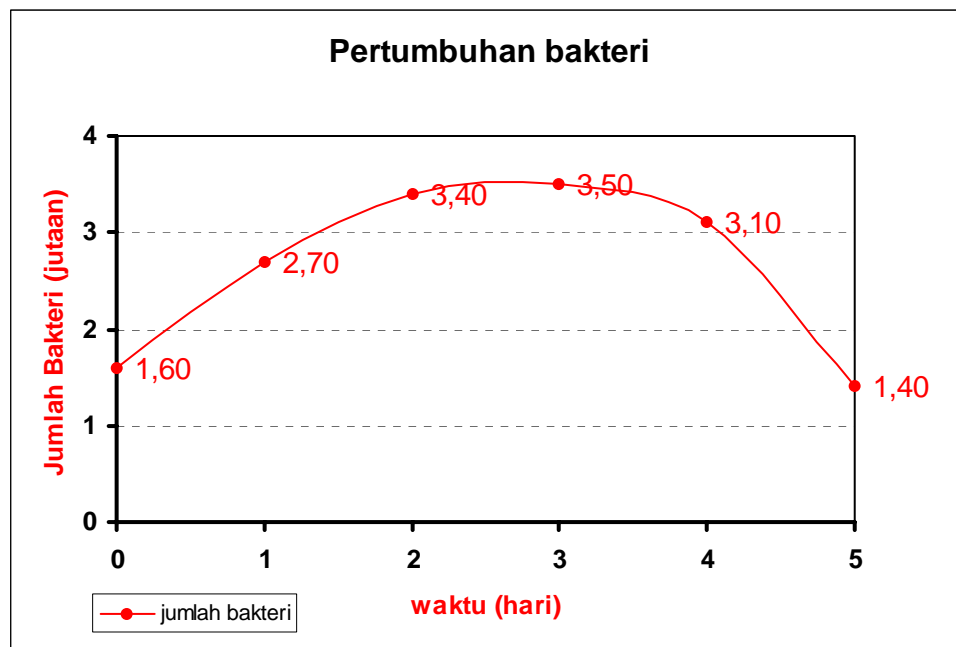
Berdasarkan hal tersebut diatas, maka peran utama mikroorganismenya dalam mendegradasi bahan organik dalam sistem *Wetlands* tersebut, akan dapat menjelaskan

trend/kecenderungan penurunan bahan organik dari hasil percobaan. Adanya proses aklimatisasi tanaman pada awal percobaan, akan memberikan kesempatan pada bakteri yang terdapat rhizosphere untuk tumbuh dan beradaptasi, sehingga *lag-phase* akan terjadi saat proses aklimatisasi tersebut. Dengan demikian maka pada awal penelitian, pertumbuhan bakteri telah mencapai fase pertumbuhan eksponensial (*Exponential growth phase*). Kondisi tersebut yang dapat menjelaskan bahwa penurunan BOD pada awal penelitian telah terjadi penurunan yang tajam dan grafik penurunan BOD membentuk model eksponensial.

Dari grafik pada gambar 4.1. menunjukkan bahwa laju penurunan BOD pada hari pertama cukup besar, sedangkan pada akhir waktu percobaan (hari ke-5) penurunan BOD relatif kecil. Terjadinya penurunan tajam pada waktu awal percobaan diduga dipengaruhi oleh kandungan nutrient yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme cukup melimpah, sehingga akan terjadi fase pertumbuhan dipercepat (*Exponential growth phase*). Mengingat percobaan dilakukan dengan sistem curah (*batch*), maka dalam bak reaktor tidak ada penambahan nutrient baru yang dapat mendukung kehidupan mikroorganisme, sehingga pada pertengahan waktu penelitian (hari ke-3) pertumbuhan mikroorganisme telah mencapai titik optimal terhadap ketersediaan nutrient. Kondisi ini menyebabkan terjadi keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian mikroorganisme / bakteri atau sering disebut sebagai *Stationary Phase*.

Dari hasil perhitungan jumlah bakteri pada air limbah, yang ditunjukkan pada gambar 4.3. terlihat bahwa pada awal penelitian sampai dengan hari ke-2,

pertumbuhan bakteri cukup pesat, kemudian pada hari ke-3 pertumbuhan bakteri mulai melambat. Penurunan jumlah bakteri terjadi pada hari ke-4, walaupun relatif masih sedikit. Namun pada hari ke-5 penurunan jumlah bakteri relatif banyak, bahkan jumlah jumlah bakteri dalam reaktor lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi awal penelitian.



Gambar 4.3. Grafik Pertumbuhan Bakteri

4.4. Penurunan COD

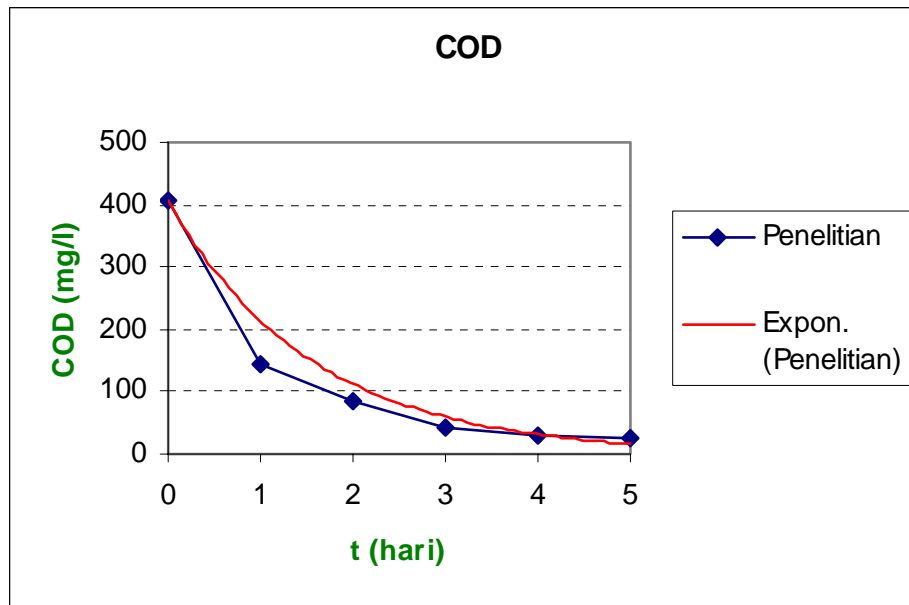
Berdasarkan data hasil penelitian sebagaimana tersaji pada tabel 4.1. diatas, maka untuk mendapatkan model melalui analisis regresi digunakan salah satu hasil

penelitian, yaitu air limbah pagi hari. Adapun hasil analisis regresi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. COD Air Limbah Pagi Hari

t (hari)	0	1	2	3	4	5
COD (mg/L)	405	142,44	85,72	41,12	31,68	24,62

Dengan plotting grafik antara parameter uji sebagai Y (ordinat) dan waktu tinggal sebagai X (axis) didapatkan grafik sebagai berikut ini :



Gambar 4.4. Grafik COD terhadap waktu tinggal

- Analisis regresi terhadap grafik diperoleh model sebagai berikut :

$$\blacksquare Y = 405 e^{-0,6401x} \Rightarrow \text{COD}_t = \text{COD}_0 e^{-0,6401 t} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\blacksquare \text{Koefisien Regresi } (R^2) = 0,9050$$

Dari proses validasi model menunjukkan bahwa hasil percobaan mempunyai hubungan yang erat dengan persamaan model. Nilai X^2_{hitung} yang terletak pada daerah penerimaan dengan taraf nyata sebesar $\alpha = 0,05$, dapat disimpulkan bahwa penurunan COD berkaitan sangat erat dengan waktu tinggal air limbah dalam reaktor (t).

Berdasarkan hal tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa persamaan 4.2. dapat digunakan sebagai model untuk menggambarkan penurunan COD dalam sistem *SSF-Wetland* tersebut.

Nilai COD dalam air limbah menunjukkan besarnya kebutuhan oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam air limbah secara kimia. Dengan demikian, zat – zat organik yang teroksidasi tidak hanya yang bersifat biogradable, namun juga yang bersifat non biodegradable (tidak terurai secara biologis).

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kecenderungan penurunan konsentrasi COD yang sejalan dengan penurunan konsentrasi BOD mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah sebagian besar merupakan bahan organik yang bersifat *biodegradable* (dapat terdegradasi secara biologis). Hal senada juga dinyatakan oleh Tebbut dalam Effendi, H. (2003), bahwa komposisi

padatan yang terdapat dalam limbah domestik, 70% merupakan bahan organik.

Perbandingan antara konsentrasi BOD/COD untuk air limbah pagi hari sebesar 69% dan air limbah sore hari sebesar 51% memperkuat dugaan tingginya bahan organik yang mudah terdegradasi secara biologis di dalam air limbah tersebut.

Adanya aktivitas mikroorganisme dalam reaktor yang mendegradasi sebagian besar bahan organik dalam air limbah, tentu akan mempengaruhi konsentrasi BOD maupun COD pada awal penelitian. Kondisi tersebut yang dapat menjelaskan tentang penurunan COD hampir 65 % pada hari pertama penelitian. Disamping itu proses pengolahan secara fisik (filtrasi dan sedimentasi) yang terjadi di dalam media reaktor, yang ditandai dengan penurunan konsentrasi TSS yang cukup besar di hari ke-1, juga turut mempengaruhi penurunan konsentrasi COD pada effluent air limbah.

Sedangkan penurunan konsentrasi COD yang relatif kecil pada penelitian hari ke-3 sampai dengan hari ke-5, diduga disebabkan oleh penurunan kinerja reaktor akibat berkurangnya jumlah bakteri. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada Gambar 4.3., bahwa penurunan jumlah bakteri pada hari ke-3 sampai dengan hari ke-5, sangat dimungkinkan terjadi pula penurunan kinerja reaktor dalam mendegradasi bahan organik.

4.5. Penurunan TSS

Total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter $>1\mu\text{m}$) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori $0,45\mu\text{m}$. TSS terdiri atas

lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang terlarut dalam air, mineral dan garam-garamnya. Penyebab utama terjadinya TSS adalah bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan. Sebagai contoh air buangan sering mengandung molekul sabun, deterjen dan surfaktan yang larut air, misalnya pada air buangan rumah tangga (Sugiharto, 1987).

Hasil permodelan untuk penurunan TSS berdasarkan hasil penelitian pada air limbah pagi hari adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. TSS Air Limbah Pagi Hari

t (hari)	0	1	2	3	4	5
TSS (mg/L)	280	120	84	56	36	24

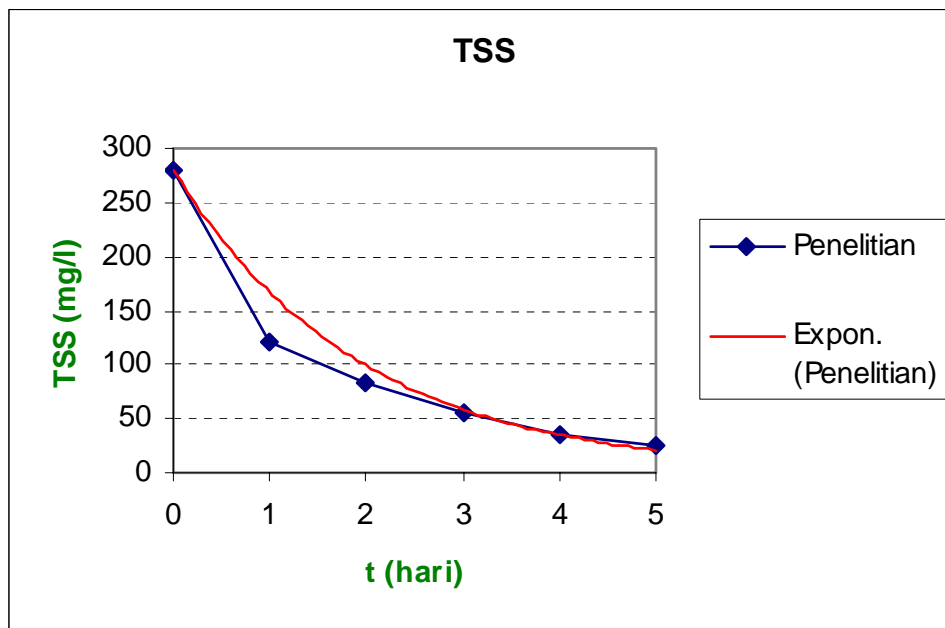
Berdasarkan hasil analisis persamaan model yang diperoleh berdasarkan analisis regresi dengan beberapa tipe yang memungkinkan dapat dianalisis (tipe *linier*, *polynomial* dan *eksponensial*), maka didapatkan bahwa nilai *Koeffisien Regresi* (R^2) untuk masing – masing tipe regresi adalah sebagai berikut:

- Linier = 0,574

- Polynomial = 0,934
- Eksponensial = 0,959

Dari hasil analisis regresi tersebut, maka nilai *Koeffisien Regresi* (R^2) yang mendekati angka 1 adalah tipe Eksponensial, dengan pengertian bahwa garis yang dihasilkan dari model dan dari hasil penelitian mempunyai tingkat signifikansi yang cukup baik, dibandingkan dengan tipe – tipe lainnya.

Dengan plotting grafik antara parameter uji sebagai Y (ordinat) dan waktu tinggal sebagai X (axis) didapatkan grafik dan garis eksponensial sebagai berikut :



Gambar 4.5. Grafik TSS terhadap waktu tinggal

Berdasarkan hasil analisis persamaan model yang diperoleh berdasarkan analisis regresi tipe eksponensial, maka diperoleh persamaan berikut ini :

$$\blacksquare Y = 280 e^{-0,5195x} \Rightarrow TSS_t = TSS_0 e^{-0,5195 t} \dots\dots\dots (4.3)$$

Walaupun dari hasil analisis regresi didapatkan bahwa nilai *Koeffisien Regresi* (R^2) untuk penurunan TSS sebesar 0,9593 atau mendekati angka 1, namun dari hasil validasi model menunjukkan bahwa hasil percobaan tidak ada kesesuaian dengan persamaan model. Nilai X^2_{hitung} yang terletak pada daerah penolakan dengan taraf nyata sebesar $\alpha = 5 \%$, menunjukkan bahwa persamaan model 4.3. tidak berlaku sama pada tiap-tiap reaktor.

Dari uraian tersebut, maka dapat dijelaskan bahwa ketidak-sesuaian model di tiap-tiap reaktor sangat dimungkinkan oleh 2 faktor utama, yaitu (1) perbedaan ketelitian hasil penelitian dan perhitungan model, dan (2) perbedaan sistem perakaran tanaman pada masing-masing media.

Perbedaan ketelitian tersebut, disebabkan karena analisis laboratorium terhadap TSS menggunakan timbangan analit yang memiliki nilai ketelitian 1 mg. Mengingat satuan untuk parameter TSS adalah mg/l, maka nilai TSS penelitian akan dihasilkan dalam bentuk angka bulat. Sedangkan hasil perhitungan menggunakan persamaan model akan memiliki ketelitian yang lebih baik, karena satuan bisa 0,01 mg. Dengan perbedaan ketelitian tersebut, maka sangat dimungkinkan terjadi deviasi yang cukup besar antara hasil penelitian dan perhitungan model.

Perbedaan laju penurunan TSS pada tiap-tiap reaktor bisa saja terjadi, akibat perbedaan porositas media yang dibentuk oleh sistem perakaran tanaman dalam reaktor. Telah diuraikan pada bab 2, bahwa proses pengolahan air limbah dalam sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan tidak hanya terjadi proses biologis, namun juga terjadi proses secara fisik, baik itu melalui proses filtrasi maupun sedimentasi. Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001) mekanisme

filtrasi dan sedimentasi juga terjadi dalam sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) tersebut. Proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tanaman yang terdapat dalam reaktor, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat dalam air limbah.

Menurut Crites & Tchobanoglous (1998), media pasir yang digunakan pada reaktor *SSF-Wetland* akan dapat menurunkan kecepatan aliran air limbah yang masuk dalam reaktor. Penurunan debit air limbah ini akan memudahkan terjadinya proses sedimentasi partikel-partikel solid dalam air limbah. Namun demikian, sistem perakaran tanaman yang terbentuk dalam reaktor tidak tumbuh secara merata pada masing-masing reaktor, sehingga pola aliran air limbah tidak membentuk aliran sumbat yang sama untuk masing-masing reaktor. Mengingat kondisi tersebut, maka debit maupun pola aliran air limbah pada tiap reaktor akan dapat berbeda-beda, tergantung keseragaman ukuran media maupun sistem perakaran tanaman yang terbentuk. Dengan demikian, maka kecenderungan penurunan TSS pada masing-masing reaktor tidak dapat dibandingkan, sehingga hasil analisis regresi terhadap penurunan TSS pada kedua reaktor tidak signifikan.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka persamaan model tersebut tidak dapat digunakan untuk menggambarkan bahwa penurunan TSS terhadap waktu tinggal dalam sistem *SSF-Wetland* secara umum, sehingga validasi model tidak mendapatkan hasil yang signifikan.

Dari data hasil percobaan menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi TSS yang cukup besar pada hari pertama, memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan penurunan BOD maupun COD. Berdasarkan kondisi tersebut, maka dapat diduga bahwa partikel – partikel solid yang terdapat dalam air limbah sebagian besar terbentuk dari bahan organik. Bahan organik yang berbentuk padatan akan tertahan dalam media *SSF Wetland* melalui mekanisme filtrasi dan sedimentasi. Padatan yang tertahan dalam media, kemudian oleh bakteri akan didegradasi menjadi unsur yang

lebih sederhana dan terlarut dalam air limbah. Penurunan bahan organik solid yang cukup besar akan berpengaruh terhadap konsentrasi TSS dalam air limbah. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dimengerti bahwa hasil analisis regresi terhadap kecenderungan (trend) penurunan konsentrasi TSS lebih kearah eksponensial, karena sangat terkait dengan kinerja dan pertumbuhan mikrobial yang ada dalam reaktor.

Hal tersebut sependapat dengan pernyataan Wood *dalam* Tangahu & Warmadewanthi (2001), bahwa dengan adanya proses secara fisik akan dapat mengurangi konsentrasi COD & BOD yang berbentuk solid, sedangkan COD & BOD terlarut dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas mikroorganisme maupun tanaman.

4.6. Waktu Tinggal Optimal

Berdasarkan hasil validasi model, maka melalui persamaan 4.3. tidak dapat digunakan sebagai model penurunan TSS dalam SSF-Wetland. Dengan demikian, model tersebut tidak dapat digunakan untuk menentukan waktu tinggal minimal yang dibutuhkan untuk menurunkan TSS dalam air limbah yang akan dibuang (*Effluent*) agar sesuai dengan baku mutu air limbah domestik (TSS = 100 mg/L, berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003).

Apabila didasarkan atas hasil percobaan menunjukkan bahwa konsentrasi TSS dalam air limbah domestik tersebut dapat mencapai standard baku mutu pada air limbah pagi hari antara hari ke-1 dan ke-2, sedangkan air limbah sore hari dapat tercapai sebelum hari pertama.

Dengan pertimbangan hal tersebut diatas dan atas dasar standard baku mutu air limbah domestik berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003, maka dalam rangka penentuan waktu tinggal optimal melalui

perhitungan model hanya dapat menggunakan model penurunan BOD. Berdasarkan baku mutu BOD = 100 mg/L, maka perhitungan waktu tinggal minimal adalah sebagai berikut :

- $(BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{-0,697 t}$
- $100 \text{ mg/L} = 279,51 \text{ mg/L} e^{-0,697 t}$
- $t = (\ln 279,51 - \ln 100) / 0,697$
- $t = 1,73 \text{ hari}$

Mengacu dari hasil perhitungan tersebut, maka waktu tinggal optimal untuk proses pengolahan air limbah rumah tangga dari kompleks perumahan Puri Anjasmoro dengan sistem *SSF-wetlands* harus lebih dari 1,73 hari atau dapat disetarakan dengan **2 hari**.

Berdasarkan waktu tinggal optimal tersebut, maka penggunaan tanaman hias jenis "Bintang Air" (*Cyperus alternifolius*) memiliki efektivitas / kinerja yang tidak jauh berbeda dengan jenis tanaman yang telah umum digunakan dalam *SSF-Wetlands*, seperti jenis *Cattail* (*Typha angustifolia*), sehingga tanaman hias jenis "Bintang Air" (*Cyperus alternifolius*) cukup baik apabila digunakan pengolahan air limbah rumah tangga sistem *SSF-Wetlands*.

Hal tersebut didasarkan atas perbandingan hasil penelitian yang dilakukan oleh Tangahu dan Warmadewanthi (2001) yang melakukan penelitian sejenis di Surabaya dengan menggunakan tanaman *Cattail* (*Typha angustifolia*), diperoleh hasil penelitian bahwa waktu tinggal optimal adalah **3 hari**.

Sedangkan untuk mengetahui nilai beban area (*The areal Loading Rate /ALR*), maka harus memperhitungkan dimensi reaktor / bak Lahan Basah Buatan (*SSF-*

Wetland). Berdasarkan dimensi bak SSF-Wetlands yang digunakan untuk penelitian (kedalaman 0,5m dan luas 1 m²) dan rata-rata laju beban hidrolis untuk SSF-Wetlands sebesar 20 cm/hari (Standard WPCF *dalam* Halverson, 2004), maka debit limbah dalam bak SSF-Wetlands sebesar :

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot q \\ &= 1 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m/hari} \\ &= 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Dengan asumsi bahwa kedalaman bak tetap (0,5 m), maka melalui persamaan 4.1. maka dapat diketahui nilai beban area (*The areal Loading Rate / ALR*) untuk parameter BOD adalah sebagai berikut :

$$Y = 279,51 e^{-0,697t}$$

$$\text{BOD}_5 = 81,19 \text{ mg/L} = 81,19 \text{ g/m}^3$$

$$\text{ALR} = Q \cdot C / A$$

$$= (0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 81,19 \text{ g/m}^3) / 1 \text{ m}^2 = 16,24 \text{ g/m}^2/\text{hari}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius* memiliki kinerja yang cukup baik dalam pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem Lahan basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*).
2. Laju penurunan BOD dapat diekspresikan melalui persamaan model $(BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{-0,697 t}$; dan laju penurunan COD dapat diekspresikan melalui persamaan model $COD_t = COD_0 e^{-0,6401 t}$.
3. Laju penurunan TSS lebih disebabkan adanya proses fisik (filtrasi dan sedimentasi) yang sangat dipengaruhi oleh porositas media dan sistem perakaran tanaman yang terbentuk, sehingga akan tercipta kondisi yang berbeda di setiap reaktornya. Dengan kondisi tersebut, maka hasil analisis

regresi maupun validasi model tidak menunjukkan hasil yang cukup signifikan.

4. Berdasarkan standard baku mutu limbah domestik maupun melalui perhitungan model penurunan BOD, maka waktu tinggal optimal yang dibutuhkan untuk pengolahan air limbah menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) adalah 2 hari, dengan beban BOD/area sebesar 16,24 g/m²/hari.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian ini ada beberapa hal yang dapat direkomendasikan dan dikembangkan antara lain :

1. Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetland*) mampu digunakan untuk pengolahan air limbah domestik.
2. Untuk mendapatkan kualitas air limbah rumah tangga yang sesuai dengan standard baku mutu, maka dibutuhkan waktu tinggal optimal selama 2 hari.

3. Mengingat luasnya kebutuhan lahan untuk sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetland*) tersebut, maka perlu penataan lahan dan penggunaan Tanaman hias, seperti jenis *Cyperus alternifolius*, sehingga sistem pengolahan air limbah tersebut dapat dimanfaatkan pula sebagai taman dalam suatu kawasan perumahan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 1997, Ringkasan Agenda 21 Indonesia, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup dan United Nations Development Programme, Jakarta.
2. Anonim, 1998, Design Manual : Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment, Office of Research and Development, U.S. EPA, Cincinnati, OH, USA.
3. Anonim, 2000, Chapter 69 : On Site Wastewater Treatment and Disposal Systems, Wastewater Treatment and Disposal Regulations, USA.
4. Anonim, 2001, Pedoman Penulisan Usulan Penelitian Untuk Tesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
5. Anto Dajan, 1996, Pengantar Metode Statistik, Jilid II, Pustaka LP3ES Indonesia, Jakarta.
6. Bagwell, E. C., Yvette M. Piceno, Amy Ashburn-Lucas and Charles R. Lovell, 1998, Physiological of Rhizosphere Diazotroph Assemblages of Selected Salt Marsh Grasses. Applied and Environmental Microbiology Journal, Vol. 64, No.11, p. 4276-4282.
7. Crites, R. and George Tchobanoglous, 1998, Small and Decentralized Wastewater Management Systems : Wetlands and Aquatic Treatment Systems, Mc Graw-Hill, Singapore.
8. Effendi, H., 2003, Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

9. Environmental Protection Agency, U.S. 1993, Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, A Technology Assesment, Office of Water – Environmental Protection Agency (EPA), USA.
10. Fakhrizal, 2004, Mewaspada Bahaya Limbah Domestik di Kali Mas, Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah, Download internet : www.terranet.or.id.
11. Ferro, AM., Julie P Rieder, Jean Kennedy and Roger Kjelgren, 1997, Phytoremediation of Groundwater Using Poplar Trees, Phytokinetics, Inc., Logan, Utah, USA.
12. Grieve, C. M., 2003, Characterization of Microbial Communities and Composition in Constructed Dairy Wetland Wastewater Effluent, Applied and Environmental Microbiology Journal, Vol 69, No. 9, p. 5060-5069.
13. Haberl, R., and Langergraber, H., 2002, Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. Wat. Sci. Technol. 40:11–17.
14. Halverson, Nancy V., 2004, Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands, U.S. Department of Energy, Springfield, USA.
15. Hammer, M.J., 1986, Water and Wastewater Technology SI Version, John Wiley & Sons, Singapore.
16. Hindarko, S., 2003, Mengolah Air Limbah : Supaya Tidak Mencemari Orang Lain, Penerbit ESHA, Jakarta.
17. Khiatuddin, M., 2003, Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
18. Kurniadhie, D., 1999, Pengolahan Air Limbah Dengan Menggunakan Tumbuhan Air, Download internet : www.bio.uni-giessen.de.
19. Leady, B., 1997, Constructed Subsurface Flow Wetlands For Wastewater Treatment, Purdue University.

20. Lemke, C., 1999, Plant of the Week ; *Cyperus alternifolius* Umbrella Plant, _Download internet : www.ou.edu.com.
21. Lukito A. Marianto, 2004, Merawat dan Menata Tanaman Air, Penerbit Agro Media Pustaka, Jakarta.
22. Mark Ibekwe, A., Catherine M. Grive and Stephen R. Lyon, 2003, Characterization of Microbial Communities and Composition in Constructed Dairy Wetland Wastewater Effluent, Applied and Environmental Microbiology Journal, Vol 69, No. 9, p. 5060-5069.
23. Metcalf & Eddy, 1993, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill Comp
24. Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, Fourth Edition, International Edition, McGraw-Hill, New York.
25. Purwanto, 2005, Permodelan Rekayasa Proses dan Lingkungan, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
26. Schlegel, G.H., 1994, Mikrobiologi Umum, Gajah Mada Press, Yogyakarta.
27. Schultz, M., 2000, Rootzone Soil Filters, Australian Wetlands, Australia.
28. Sugiharto, 1987, Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah, UI-PRESS, Jakarta.
29. Suriawiria, U., 1993, Mikrobiologi Air, Penerbit Alumni, Bandung.
30. Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A., 2001, Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland, Purifikasi, Volume 2 Nomor 3, ITS – Surabaya.
31. Veenstra, 1995, Wastewater Treatment, IHE Delf.

CARA PELAKSANAAN PENGUJIAN BOD

1. Peralatan dan Bahan Penunjang Uji

1.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) lemari pendingin KOB dengan kisaran suhu -10 hingga 50°C dan telah distabilkan pada suhu 20°C pada saat pengujian;
- 2) botol KOB 300 mL;
- 3) aerator;
- 4) gelas ukur 1000 ml;
- 5) gelas piala 2000 mL;
- 6) peralatan untuk pengujian oksigen terlarut sesuai dengan SK SNI M-10-1990-F

1.2. Bahan Penunjang Uji

Bahan kimia yang berkualitas p.a. dan bahan lain yang digunakan dalam pengujian ini terdiri atas:

- 1) larutan pengencer ;
- 2) larutan natrium hidroksida., NaOH, 0,1 N;
- 3) larutan asam sulfat, H₂SO₄, 0,1N;
- 4) larutan natrium sulfit, Na₂S₀₃, 0,025N.

2. *Persiapan Benda Uji*

Siapkan benda uji dengan tahapan sebagai berikut :

- 1) sediakan contoh uji yang telah diambil sesuai dengan Metode Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air, SNI 06-2412-1991
- 2) ukur 1000 mL contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 2000 mL;
- 3) apabila contoh uji bersifat asam atau basa, netralkan dengan NaOH 0,1N atau H₂SO₄ 0,1N sampai antara pH 6,5-7,5;
- 4) apabila contoh uji mengandung sisa klor, Cl₂, tambahkan larutan Na₂SO₃ 0,025N sampai semua Cl₂ hilang;
- 5) apabila contoh uji tidak mengandung mikro organisms pengurai tambahkan 1000 mL larutan pengencer sehingga pengenceran 2 kali;
- 6) apabila contoh uji diperkirakan mempunyai kadar KOB lebih dari 6 mg/L, encerkan contoh uji dengan larutan pengencer sehingga kadar KOB antara 3-6 mg/L
- 7) aerasi dengan aerator selama 10 menit sampai oksigen terlarut 7-8 mg/L;
- 8) masukkan ke dalam 2 buah botol KOB 300 mL sampai meluap;
- 9) kemudian tutup botol KOB, hindarkan terjadi turbulensi dengan gelembung udara selama pengisian,
- 10) benda uji siap diuji.

3. Persiapan Pengujian

Siapkan peralatan dan bahan pendukung uji untuk pengujian oksigen terlarut sesuai dengan SNI 06 - 2424 -1991

4. Cara Uji

Uji kadar KOB dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) periksa kadar oksigen terlarut (OT) nol hari dari salah satu botol KOB yang berisi benda uji sesuai dengan Metode Pengujian Oksigen Terlarut dalam Air, SNI 06-2424-1991.
- 2) masukkan botol KOB yang berisi benda uji ke dalam lemari pendingin bersuhu 20 °C;
- 3) eramkan selama lima hari;
- 4) periksa kadar oksigen terlarut (OT) lima hari sesuai dengan Metode Pengujian Oksigen Terlarut dalam Air, SNI 06 - 2424 - 1991.
- 5) apabila contoh uji diencerkan, kerjakan tahap 1) sampai dengan 4) terhadap larutan pengencer untuk pengerjaan blanko.

5. Perhitungan

Hitung kadar KOB dengan menggunakan rumus berikut:

- 1) contoh uji tanpa diencerkan

$$KOB = C_0 - C_5$$

2) contoh uji yang diencerkan

$$KOB = f (C_0 - C_5) - k (AP_0 - AP_5) \} \times p$$

Dengan penjelasan:

C_0 = kadar OT mg/L nol hari benda uji,

C_5 = kadar OT mg/L lima hari benda uji;

AP_0 = kadar OT mg/L nol hari larutan pengencer;

AP_5 = kadar OT mg/L lima hari larutan pengencer;

k = koreksi sebesar $(p - 1)/p$;

p = faktor pengenceran.

Selisih kadar KOB maksimum yang diperbolehkan antara dua pengujian duplo adalah 10%, dan rata-ratakan hasilnya.

**METODE PENGUJIAN
KADAR KEBUTUHAN OKSIGEN KIMIAWI DALAM AIR
DENGAN ALAT REFLUKS TERTUTUP**

CARA PELAKSANAAN

1. Peralatan dan Bahan Penunjang Uji

1.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

1. oven 220 °C yang dilengkapi dengan pengatur suhu. dan telah dipanaskan pada 150 °C pada saat digunakan;
2. tabung KOK yang mempunyai tinggi 150 mm dan garis tengah 25 mm, terbuat dari gelas boro-silikat, mempunyai tutup asah dan unit pengaman tutup:
3. buret otomatis dengan ketelitian $\pm 0,05$ mL atau. buret 25 mL;
4. labu ukur 100 dan 1000 mL;
5. gelas ukur 100 mL;
6. pipet seukuran 10 mL
7. labu erlenmeyer 100 mL;
8. gelas piala 100 mL

1.2. Bahan Penunjang Uji

Bahan kimia yang berkualitas p.a dan bahan lain yang digunakan dalam pengujian ini terdiri atas:

1. larutan campuran kalium dikromat-merkuri sulfat, $K_2Cr_2O_7-HgSO_4$;
2. larutan campuran asam sulfat-perak sulfat, $H_2SO_4-Ag_2SO_4$
3. larutan indikator feroin;
4. serbuk fero amonium sulfat, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$;
5. larutan baku kalium dikromat, $K_2Cr_2O_7$, 0,025 N;
6. asam sulfat pekat, H_2SO_4 ;
7. air suling atau air demineralisasi yang mempunyai DHL 0,5-2 $\mu mhos/cm$;
8. serbuk asam sulfamat, NH_2SO_3H .

1.3. Persiapan Benda Uji

Siapkan benda uji dengan tahapan sebagai berikut :

1. sediakan contoh uji yang telah diambil sesuai dengan Metode Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air; SNI 06-2412-1991
2. kocok contoh uji dan ukur 100 ml, secara duplo, masukkan ke dalam gelas piala 100 mL;
3. apabila contoh uji mengandung ion nitrit, lakukan langkah sebagai berikut
 - a. tambahkan 10 mg asam sulfamat untuk setiap 1 mg NO_2 ;
 - b. kocok campuran selama 1 menit;
4. pipet 10 mL dan masukkan ke dalam tabung KOK,
5. benda uji siap diuji.

1.3. Persiapan Pengujian

1.3.1. Pembuatan Larutan Baku Fero Amonium Sulfat

Buat larutan baku fero amonium sulfat, kira-kira 0,025N dengan tahapan sebagai berikut

1. timbang 9,8 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
2. larutkan dengan 500 mL air suling di dalam labu ukur 1000 mL;
3. tambahkan 20 mL asam sulfat pekat;
4. tambahkan air suling sampai tepat pada tanda tera.

1.3.2. Penetapan Kenormalan Larutan Baku Fero Amonium Sulfat

Tetapkan kenormalan larutan baku fero amonium sulfat dengan tahapan sebagai berikut :

1. pipet 25 mL larutan baku kalium dikromat 0,025 N dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 mL;
2. tambahkan 3 mL asam sulfat pekat;.
3. tambahkan 3 tetes larutan indikator ferroin;
4. titrasi dengan larutan fero amonium sulfat yang akan ditetapkan kenormalannya;
5. catat mL pemakaian larutan baku fero amonium sulfat;
6. apabila perbedaan pemakaian larutan baku hero amonium sulfat secara duplo lebih dari 0,10 mL ulangi penetapan, apabila kurang atau sama dengan 0,10 mL rata-ratakan hasilnya untuk perbitungan kenormalan larutan baku fero amonium sulfat;
7. hitung kenormalan larutan baku fero amonium sulfat dengan

menggunakan rumus:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

dengan penjelasan :

V_1 = mL larutan baku kalium dikromat;

V_2 = mL, larutan baku ferro amonium sulfat;

N_1 = kenormalan larutan baku kalium dikromat;

N_2 = kenormalan larutan baku ferro amonium sulfat yang ditetapkan.

1.4. Cara Uji

Uji kadar KOK dengan tahapan sebagai berikut :

1. pipet 5 mL larutan campuran kalium dikromat-merkuri sulfat dan masukkan kedalam benda uji;
2. tambahkan 10 mL larutan campuran asam sulfat-perak sulfat;
3. aduk campuran di dalam tabung KOK kemudian tutup;
4. ulangi tahap 1. s/d 3. terhadap 10 mL air suling untuk blanko;
5. pasang unit pengaman tutup pada masing-masing tabung;
6. masukkan ke dalam oven pada suhu 150 °C selama 2 jam;
7. keluarkan tabung KOK dari dalam oven dan biarkan hingga dingin;
8. pindahkan campuran dari tabung KOK ke dalam labu erlenmeyer 100 ml, dan bilas dengan 10 mL air suling;
9. tambahkan 2 mL asam sulfat pekat;
10. tambahkan 3 tetes larutan indikator ferroin;
11. titrasi dengan larutan baku ferro amonium sulfat 0,025 N yang telah dibakukan sampai terjadi perubahan warna dari hijau menjadi merah

coklat;

12. catat mL pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat;

13. apabila perbedaan pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat secara duplo lebih dari 0,10 mL ulangi penetapan, apabila kurang atau sama dengan 0,10 mL rata-ratakan hasilnya untuk perhitungan kadar KOK.

1.5. *perhitungan,*

Hitung kadar KOK dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$\text{KOK} = \{(A-B) \times N \times 800\} \times p$$

dengan penjelasan:

A = mL pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat untuk titrasi blanko;

B = mL pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat untuk titrasi benda uji;

N = kenormalan larutan baku ferro amonium sulfat;

p = besar pengenceran contoh uji.

Bila hasil perhitungan lebih besar dari 50 mg/L, ulangi pengujian dengan cara mengencerkan benda uji.

PENGUJIAN RESIDU TERSUSPENSI (TSS)

A. Peralatan

Peralatan yang digunakan ialah

- 1) cawan Goch atau alat penyaring lain yang dilengkapi pengisap atau penekan;
- 2) kertas saring yang berpori 0,45 pm misalnya Gelman tipe A/E atau Whatman tipe 934 AH atau Millipore tipe AP40 atau yang sejenis;
- 3) tempat khusus untuk menaruh kertas saring yang terbuat dari baja nir karat atau aluminium;
- 4) oven untuk pemanasan pada suhu 103-105 °C
- 5) desikator,
- 6) neraca analitik dengan kapasitas 200 gram dan ketelitian 0,1 mg,
- 7) penjepit.

B. Cara Kerja

Tahapan cara kerja adalah sebagai berikut :

1. Penimbangan kertas saring kosong dilakukan dengan urutan

- (1) taruh kertas saringan ke dalam alat penyaring;
- (2) bilas kertas saring dengan air suling sebanyak 20 mL dan operasikan alat

penyaring;

- (3) ulangi pembilasan hingga bersih dari partikel-partikel halus pada kertas saring;
- (4) ambil kertas saring dan taruh di atas tempat khusus kertas saring;
- (5) keringkan kertas saring tersebut di dalam oven pada temperatur 103 - 105 °C selama 1 jam;
- (6) dinginkan dalam desikator selama 10 menit,
- (7) timbang dengan neraca analitik;
- (8) ulangi langkah (5) sampai (7) hingga diperoleh berat tetap (kehilangan berat <4 %) misalnya B mg;
- (9) taruh kertas saring tersebut di dalam desikator,

2. Penyaringan contoh dan penimbangan residu tersuspensi dilakukan dengan

urutan sebagai berikut :

- (1) Siapkan kertas saring yang telah diketahui beratnya pada alat penyaring;
- (2) Contoh dikocok hingga merata dan masukkan ke dalam alat penyaring; banyaknya contoh yang diambil disesuaikan dengan kadar residu tersuspensi sehingga berat residu tersuspensi antara 2,5 mg sampai 200 mg;
- (3) saring contoh, kemudian residu tersuspensi dibilas dengan air suling sebanyak 10 mL dan dilakukan 3 kali pembilasan;
- (4) ambil kertas saring dan taruh di atas tempat khusus;

- (5) keringkan di dalam alat pengering pada suhu 103-105 °C selama 1 jam;
- (6) dinginkan di dalam desikator selama 10 menit;
- (7) timbang dengan neraca analitik;
- (8) ulangi langkah (5),(6) dan (7) hingga diperoleh berat tetap (kehilangan berat <4%) misalnya A mg;
- (9) hasil tersebut dapat dilanjutkan untuk penetapan residu tersuspensi terurai;
- (10) air saringan yang diperoleh dapat digunakan untuk penetapan residu terlarut.

3. Perhitungan :

Rumus yang digunakan dalam perhitungan ialah

$$\text{mg/L residu tersuspensi} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{mL contoh}}$$

dengan penjelasan :

A= Berat kertas saring berisi residu tersuspensi, dalam mg

B= Berat kertas saring kosong, dalam mg

VALIDASI MODEL untuk BOD₅

Berdasarkan model (persamaan 4.1.) yang diperoleh dari analisis regresi data hasil percobaan air limbah pagi hari, maka validasi model menggunakan data percobaan air limbah sore hari diperoleh hasil sebagai berikut :

Data Percobaan Air Limbah Sore Hari

Hari ke	0	1	2	3	4	5
BOD ₅ (mg/L)	161,76	74,67	42,22	24,19	16,14	10,18

Perhitungan menggunakan model (persamaan 4.1.), yaitu

$$(BOD_5)_t = (BOD_5)_0 e^{-0,697 t}$$

diperoleh hasil sebagai berikut :

- Hari ke 0 → $(BOD_5)_0 = 161,76 e^{-0,697 \times 0}$
= 161,76 mg/L
- Hari ke 1 → $(BOD_5)_1 = 161,76 e^{-0,697 \times 1}$
= 80,57 mg/L
- Hari ke 2 → $(BOD_5)_2 = 161,76 e^{-0,697 \times 2}$
= 40,13 mg/L

- Hari ke 3 \longrightarrow $(BOD_5)_3 = 161,76 e^{-0,697 \times 3}$
 $= 19,99 \text{ mg/L}$
- Hari ke 4 \longrightarrow $(BOD_5)_4 = 161,76 e^{-0,697 \times 4}$
 $= 9,96 \text{ mg/L}$
- Hari ke 5 \longrightarrow $(BOD_5)_5 = 161,76 e^{-0,697 \times 5}$
 $= 4,96 \text{ mg/L}$

Validasi model menggunakan analisis statistik Khai-kwadrat diperoleh hasil sebagai berikut :

- $n = 6$ d.f. = $6-1 = 5$
- Daerah penolakan dengan $\alpha = 0,05$, menjadi :

$$(\chi^2)_{\text{tabel}} = 11,07 \longrightarrow \chi^2 > 11,07$$

dimana,

$$\chi^2 = \sum_{r=1}^n \frac{(\text{Nilai Penelitian} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}}$$

Analisis statistik kai kuadrat

t (hari)	BOD ₅ (mg/L)		Analisis Statistik		
	Penelitian (P _i)	Model (O _i)	(P _i - O _i)	(P _i - O _i) ²	χ^2
0	161,76	161,76	0,00	0,00	0,00
1	74,67	80,57	-5,90	34,80	0,43

2	42,22	40,13	2,09	4,37	0,11
3	24,19	19,99	4,20	17,68	0,88
4	16,14	9,96	6,18	38,25	3,84
5	10,08	4,96	5,12	26,23	5,29
Jumlah					10,56

- Berdasarkan hasil analisis $(\chi^2)_{hitung} < (\chi^2)_{tabel}$, sehingga hipotesis (H_0) **dapat diterima.**
- Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa ada kesamaan antara hasil percobaan dengan hasil simulasi model.

1	151,36	167,69	-16,33	266,79	1,59
2	68,74	88,41	-19,67	387,10	4,38
3	38,74	46,62	-7,88	62,03	1,33
4	20,20	24,58	-4,38	19,16	0,78
5	12,12	12,96	-0,84	0,70	0,05
Jumlah					8,13

- Berdasarkan hasil analisis $(\chi^2)_{hitung} < (\chi^2)_{tabel}$, sehingga hipotesis (H_0) **dapat diterima**.
- Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa ada kesamaan antara hasil percobaan dengan hasil simulasi model.

1	98,00	127,89	-29,89	893,41	6,99
2	53,00	76,07	-23,07	532,22	7,00
3	32,00	45,25	-13,25	175,56	3,88
4	16,00	26,91	-10,91	119,03	4,42
5	7,00	16,01	-9,01	81,18	5,07
Jumlah					27,36

- Berdasarkan hasil analisis $(\chi^2)_{hitung} > (\chi^2)_{tabel}$, sehingga hipotesis (H_0) **ditolak**.
- Berdasarkan hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil percobaan dengan hasil simulasi model.